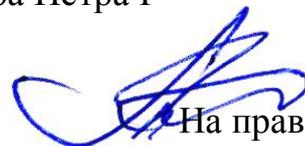


Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
Воронежский государственный аграрный  
университет имени императора Петра I



На правах рукописи

**ТАРАБРИН ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ  
ЗЕРНОВОГО ВОРОХА НА ДВУХАСПИРАЦИОННЫХ  
ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ**

05. 20. 01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель –  
доктор технических наук

**А.М. Гиевский**

Воронеж - 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 АНАЛИЗ ПНЕВМОСИСТЕМ СОВРЕМЕННЫХ ВОЗДУШНО-РЕШЕТНЫХ СЕПАРАТОРОВ И ТЕНДЕНЦИИ ИХ РАЗВИТИЯ .....	9
1.1 Анализ современных технологий послеуборочной обработки зерна и машин для их реализации .....	9
1.2 Анализ пневмосистем двухаспирационных зерноочистительных машин....	20
1.3 Тенденции совершенствования послерешетной воздушной очистки современных зерноочистительных машин .....	32
1.4 Выводы. ....	46
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОСЛЕРЕШЕТНОЙ АСПИРАЦИИ ДВУХАСПИРАЦИОННОЙ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ.....	48
2.1 Возможность повышения эффективности послерешетной пневмосепарации за счет совершенствования способа ввода зернового вороха в вертикальный пневмосепарирующий канал.....	48
2.2 Теоретические предпосылки повышения равномерности распределения зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала послерешетной очистки .....	56
2.3 Выводы. ....	69
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	70
3.1 Программа экспериментальных исследований .....	70
3.2 Экспериментальные установки, приборы и оборудование.....	70
3.3 Методика проведения исследований и обработки экспериментальных данных .....	78
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОСЛЕРЕШЕТНОЙ ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ ДВУХАСПИРАЦИОННОЙ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ.....	85
4.1 Характеристика вороха озимой пшеницы, используемого в экспериментальных исследованиях .....	85
4.2 Распределение скорости воздушного потока по сечению вертикального пневмосепарирующего канала .....	91

4.3	Обоснование рациональных параметров питающего устройства .....	96
4.4	Распределение зернового вороха по сечению вертикального канала пневмосистемы и оценка результатов моделирования .....	103
4.5	Влияние подачи зернового вороха на сопротивление пневмосистемы .....	109
4.6	Влияние интенсивности подачи вороха на равномерность его распределения в пневмосепарирующем канале .....	110
4.7	Влияние предлагаемой конструкции питателя послерешетной очистки на качество работы машины .....	114
4.8	Выводы .....	117
5	ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБА ЗАГРУЗКИ ПОСЛЕРЕШЕТНОЙ ВОЗДУШНОЙ ОЧИСТКИ .....	119
	В ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ .....	119
5.1	Реализация результатов исследований и их экономическая эффективность.....	119
5.2	Общие положения методики расчета экономической эффективности .....	119
5.3	Расчет экономической эффективности предложенного технического решения .....	122
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	126
	СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	128
	ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	143
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	145
	ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	146
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	147
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	149
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е .....	151
	ПРИЛОЖЕНИЕ Ж .....	152
	ПРИЛОЖЕНИЕ И .....	155
	ПРИЛОЖЕНИЕ К .....	158

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Главной задачей АПК, на сегодняшний день, является наращивание производства зерна. Основным условием получения высокого валового сбора урожая является своевременная и качественная послеуборочная обработка зерна.

В настоящее время основу послеуборочной обработки зерна составляют двухаспирационные воздушно-решетные зерноочистительные машины. Данные машины получили широкое распространение в нашей стране из-за своей универсальности. Такие сепараторы могут применяться как для предварительной очистки зерна, так и для основной. На них успешно подготавливается как товарное зерно, так и семенной материал при определенных условиях.

Современные воздушно-решетные сепараторы имеют две аспирации. Первая аспирация осуществляет предварительную очистку вороха от наиболее легких примесей (шелуха, листья, измельченная солома и т.п.), облегчая дальнейшую работу решетного стана и второй аспирации.

Обработка зернового вороха в канале второй аспирации является конечной операцией, после которой зерно должно отвечать требованиям к качеству товарного зерна. Повысить эффективность работы второй аспирации можно путем более равномерного распределения очищаемого материала по площади сечения аспирационного канала, чем в существующих зерноочистительных машинах. В связи с этим, теоретическое обоснование и практическая разработка способа ввода сыпучей смеси в аспирационный канал является актуальной задачей совершенствования зерноочистительных машин.

Тема разработана в рамках научно-исследовательской работы агроинженерного факультета Воронежского ГАУ «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», утвержденной ученым советом ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (номер государственной регистрации 01.200.1-003986).

**Степень разработанности темы.** Огромный вклад в развитие и совершенствование технологий и технических средств очистки зерна внесли Н.Н. Ульрих,

В.В. Гортинский, А.Б. Демский, Н.П. Сычугов, В.М. Дринча, В.Л. Злочевский, А.И. Бурков, Н.И. Косилов, А.П. Тарасенко, А.Н. Зюлин, Ю.И. Ермольев, Ю.В. Сычугов, В.Е. Саитов, А.Г. Чумаков, В.И. Орбинский, А.М. Гиевский, а также другие отечественные и зарубежные ученые. Однако, производительность универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин остается относительно низкой, что не позволяет в полной мере реализовать поточную фракционную технологию первичной очистки.

**Цель исследования:** повысить эффективность работы воздушной очистки двухаспирационных зерноочистительных машин за счет более равномерной загрузки канала послерешетной аспирации.

**Задачи исследования:**

- Выявить пути улучшения равномерности загрузки вертикального пневмосепарирующего канала при подаче зернового вороха колеблющейся поверхностью;
- Теоретически и экспериментально определить рациональные параметры процесса ввода зернового вороха в канал послерешетной аспирации;
- Разработать устройство для ввода вороха в канал, обеспечивающее высокую степень равномерности распределения материала по сечению канала и обосновать его рациональные параметры и режим работы;
- Исследовать влияние разработанного устройства на качественные показатели работы пневмосистемы двухаспирационной воздушно-решетной зерноочистительной машины.

**Научная новизна:**

- аналитическая зависимость движения зернового вороха за период колебания подающей поверхности, отличающаяся возможностью определения скоростей, координат и положения частиц относительно уступа в зависимости от режима колебаний поверхности, свойств компонентов вороха и параметров ступени;
- аналитическая зависимость движения частиц в пневмосепарирующем канале, отличающаяся учетом отражения компонентов зернового вороха достигших противоположной стенки пневмоканала;

- устройство подачи вороха в вертикальный пневмосепарирующий канал, отличающееся ступенчатой формой поверхности, обеспечивающей равномерное распределение зернового вороха в зоне сепарации;

- закономерности изменения показателей работы пневмосепарирующего канала послерешетной аспирации, отличающиеся учетом использования предлагаемого технического решения.

**Теоретическую значимость** имеют:

- аналитическая зависимость распределения компонентов зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала от формы поверхности и режима работы питающего лотка;

- аналитически и экспериментально доказанная возможность улучшения равномерности распределения частиц в пневмосепарирующем канале при подаче зернового вороха ступенчатым лотком;

- экспериментально доказанные положения о возможности использования моделирования для оценки распределения зернового вороха по сечению пневмосепарирующего канала.

**Практическую значимость** составляют:

- принцип подачи вороха в пневмосепарирующий канал послерешетной очистки ступенчатым лотком, закрепленным на решетном стане;

- устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха, позволяющее повысить полноту выделения, снизить сопротивление канала послерешетной аспирации и увеличить производительность воздушно-решетной машины;

- практические рекомендации по выбору рациональных параметров подачи вороха в вертикальный канал послерешетной очистки и режима его работы.

**Объекты исследования:** Процесс пневмосепарации зернового вороха в вертикальном пневмоканале послерешетной аспирации.

**Предмет исследования:** Закономерности работы канала второй аспирации воздушно-решетной зерноочистительной машины при использовании питающего лотка со ступенчатой поверхностью.

**Методология и методы исследования.** Решение проблемы реализовано с применением методов теоретических и экспериментальных исследований. При проведении лабораторных исследований использованы классические и частные методики с применением математического моделирования и математической статистики, а также современных приборов и вычислительной техники.

Полученные результаты подвергались статистической и математической обработке в программах STATISTICA 10, Microsoft Excel 2010, Mathcad 14 и других, и представлены в виде таблиц, диаграмм и графиков.

**Положения, выносимые на защиту:**

- аналитическая зависимость движения частиц по колеблющейся ступенчатой поверхности питателя, позволяющая установить возможность увеличения диапазона скоростей компонентов зернового вороха, подаваемых в канал послерешетной очистки;

- аналитическая зависимость движения частиц в пневмосепарирующем канале, позволяющая определить характер распределения вороха по его глубине в зависимости от свойств вороха, режима работы канала и кинематических параметров работы лотка;

- устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха по патенту РФ № 166514, рациональные параметры и режим работы предлагаемого питающего устройства;

- качественные показатели работы двухаспирационной зерноочистительной машины с учетом подачи зернового вороха в канал послерешетной аспирации разработанным техническим решением.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Закономерности, полученные в ходе математического моделирования, подтверждены результатами экспериментальных исследований. Необходимая глубина анализа и достоверность выводов достигается применением общенаучных методов и приемов. Эмпирическая база исследования включает обработанные данные, полученные в результате проведения лабораторных экспериментов и опытно-производственных испытаний.

Расхождения между расчетными и экспериментальными данными в пределах 7...10% позволяют говорить о правильности и адекватности выбранных моделей и не противоречат фактам, известным из специальной литературы.

Основные положения диссертационной работы были изложены на научных конференциях: 65-й студенческой научной конференции: «Молодежный вектор развития аграрной науки» (Воронеж 2014); международной заочной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов на иностранных языках: «Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования» (Воронеж 2015); международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежского ГАУ им. Петра I : «Агропромышленный комплекс на рубеже веков» (Воронеж 2015); международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежского ГАУ им. Петра I: «Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства» (Воронеж 2015); научно-практической конференции «НАУКА ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА» (Воронеж 2016); научной и учебно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ «Теория и практика инновационных технологий в АПК» (Воронеж 2017).

Результаты исследований приняты к внедрению в ООО «Агроимпульс СПС» г. Воронеж. Переданные материалы исследований используются при модернизации зерноочистительных машин в хозяйствах региона.

**Публикации:** по материалам диссертации опубликованы 10 научных статей, из которых три – в рецензируемых научных изданиях. По результатам диссертационной работы получен патент на полезную модель № 166514..

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы, включающего 136 наименований, восьми приложений. Объем диссертации составляет 159 страниц машинописного текста, включая 65 рисунков и 15 таблиц.

# **1 АНАЛИЗ ПНЕВМОСИСТЕМ СОВРЕМЕННЫХ ВОЗДУШНО-РЕШЕТНЫХ СЕПАРАТОРОВ И ТЕНДЕНЦИИ ИХ РАЗВИТИЯ**

## **1.1 Анализ современных технологий послеуборочной обработки зерна и машин для их реализации**

В сложившейся ситуации на мировом рынке зерна, когда наша страна заняла лидирующую позицию по экспорту пшеницы, остро стоит вопрос об интенсификации производства зерна в аграрных предприятиях [126].

Основная задача при производстве зерна – это собрать и сохранить максимальное количество продукции. При возделывании зерновых культур, чтобы уберечь собранный урожай, его необходимо сразу направлять на послеуборочную обработку. Такой подход обуславливается тем, что зерновая смесь, поступающая от комбайнов, зачастую включает в себя такие компоненты как полноценные, поврежденные и дробленые зерна, мелкие и крупные примеси, которые могут быть как минерального, так и растительного происхождения. Содержание в комбайновом ворохе растительных остатков сорняков, поврежденных зерновок и различных органических засорителей обязательно приведет к самосогреванию вороха и впоследствии к порче зерна [4, 7, 92].

Для обеспечения своевременной обработки зерна сейчас в России применяют двухэтапную, периодическую, поточную и фракционную технологии послеуборочной обработки зерна [41, 51, 63].

Двухэтапная технология состоит из таких этапов, как предварительная обработка зерна в уборочный период и окончательная обработка, с доведением до базисных кондиций. Использование данной технологии позволяет снизить потребность в рабочей силе и оборудовании в пиковые периоды производства, используя технику меньшей производительности. Недостатком этой технологии являются потребность в дополнительных зернохранилищах и многократное воздействие рабочих органов машин на зерно [5].

Для реализации периодической технологии необходимо наличие в хозяйствах открытых, закрытых площадок или складских помещений. При такой тех-

нологии используются самопередвижные или стационарные машины, что приводит к дополнительным затратам ручного труда, потерям зерна и снижению его качества.

При поточной технологии обработки зерновой ворох пропускается через линию последовательно установленных машин различного назначения. При прохождении зернового вороха через каждую машину из него выделяется часть сорных примесей и фуражной фракции. Обработанный материал выделяется на последней машине зерноочистительной линии [128].

Поточная технология заняла лидирующую позицию у сельхозпроизводителей. При современном уровне техники зерновой ворох с комбайнов в ряде случаев поступает на послеуборочную обработку очищенный от большинства крупных и мелких примесей. Такой материал можно довести до кондиционных значений, пропустив через минимальное количество машин. Зачастую поточные линии не позволяют направить обрабатываемый ворох из завальной ямы напрямую в сепаратор конечной очистки, прогоняя его через несколько машин. Излишние воздействия рабочих органов на зерно приводят к снижению товарных и посевных качеств конечного продукта [65, 70, 74].

Современные технологии послеуборочной обработки зерновых культур направлены на минимизацию затрат и повышение качества конечного материала. В связи с этим, все больше патентуются зерноочистительные агрегаты, которые содержат минимальный набор машин и устройств, необходимых для обработки зернового вороха. Уменьшением количества машин в агрегате можно достичь увеличения урожайности за счет снижения механического воздействия на семена, которое приводит к травмированию жизненно важных частей зерновки [73].

Возможность своевременной послеуборочной обработки поступающего материала может обеспечить фракционная технология. Она позволяет сразу проводить первичную обработку всего материала, поступающего с полей, сохраняя собранный урожай. Смысл этой технологии заключается в разделении поступающего вороха зерна по одному или нескольким значимым признакам на фракции, которые в зависимости от назначения направляют либо на последующую обработку,

либо на хранение. Использование нескольких физико-механических признаков для фракционирования обуславливается составом исходного материала. При содержании в нем трудно выделяемых примесей недостаточно применение одного признака для обеспечения фракционирования. Но, несмотря на это, производить фракционирование более чем по двум признакам достаточно затруднительно, так как такое решение приведет к необоснованному усложнению конструкции зерноочистительных машин [25, 39, 42].

Для обеспечения фракционирования в настоящее время широко применяют двухаспирационные воздушно-решетные зерноочистительные машины, которые разделяют зерновой ворох по двум основным признакам – ширине зерновки и скорости витания [78, 79].

Выделение легковесных примесей воздушным потоком из зернового вороха, возможно, является одним из самых древних способов послеуборочной обработки злаков. Еще до научно-технической революции крестьяне веяли вымолоченное зерно на ветру, который подхватывал и уносил в сторону обмолоченную оболочку зерновок, частицы разбитого колоса и другие примеси [16].

Можно предположить, что пневмосепарация появилась приблизительно тогда, когда человечество начало возделывать злаковые культуры, так как этот способ отделения примесей самый простой и не требовал особого оборудования и навыков.

Постоянное увеличение численности населения в странах заставляло людей все больше и больше возделывать сельскохозяйственные культуры, в том числе и зерно. Для производства сельхозпродукции задействовали огромное количество человек. Но с приходом механизации людям стало проще обрабатывать производимую продукцию.

Примером механизации послеуборочной обработки злаковых культур может служить веялка первой половины XX века, которая является экспонатом в одном из музеев Санкт-Петербурга (рисунок 1.1) [72].

Представленная на рисунке ручная веялка является примером одной из первых зерноочистительных машин и представляет собой пневмосепаратор с гори-

зонтальным воздушным потоком. Основным рабочим органом в данной машине является вентилятор, который имеет ручной привод. Описанный пневмосепаратор применялся для отделения зерен риса от шелухи.

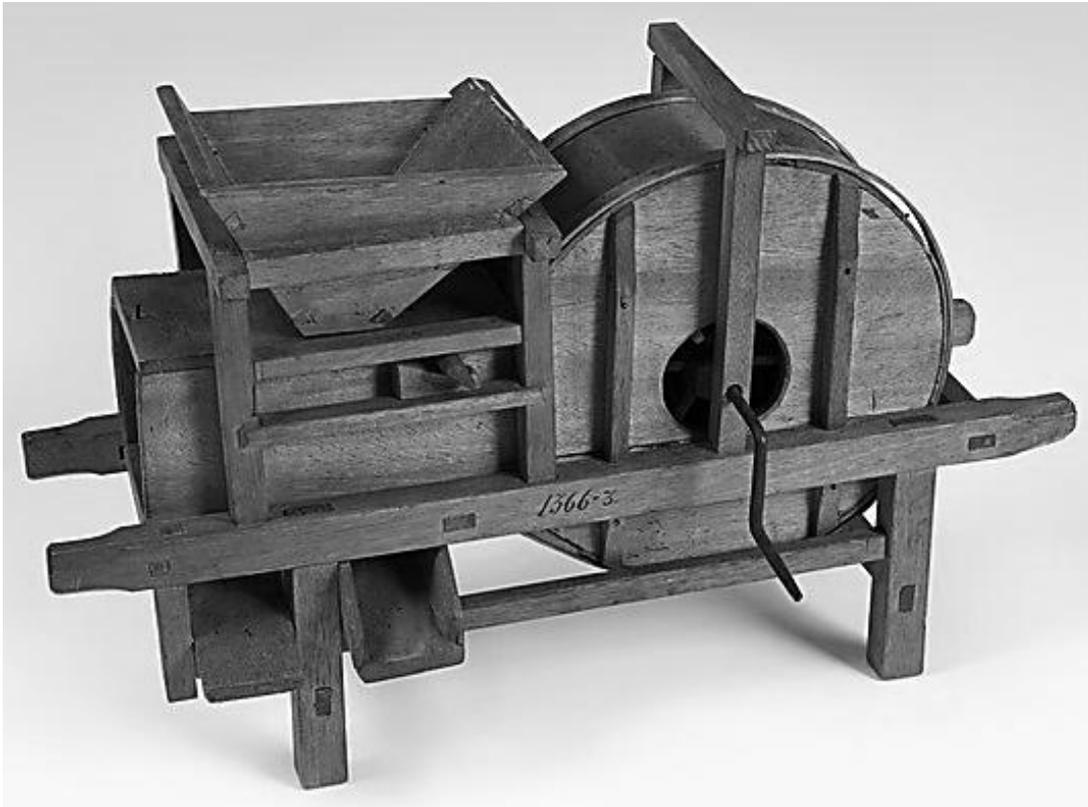


Рисунок 1.1 – Ручная веялка первой половины XX века

В настоящее время пневмосистемы зерноочистительных машин куда более сложные, чем сто лет назад. При послеуборочной обработке зернового вороха современные пневмосепараторы применяются как самостоятельные аспираторы, такие как БДЗ [66] или воздушные сепараторы со вспомогательными узлами как МПО-50 [23], так и в составе более сложных зерноочистительных машин [3, 5, 9].

Можно с точностью отметить то, что нет технологии послеуборочной обработки вороха злаковых культур, в которой не использовалось бы разделение компонентов зернового вороха воздушным потоком [30, 33, 38, 51, 73].

Пневмосепарирующие системы зерноочистительных машин в абсолютном большинстве своем состоят из пневмосепарирующих каналов, питающих устройств, осадочных камер, вентиляторов и систем очистки воздуха [10, 19, 22].

Зерноочистительные машины, которые применяются в современных агрегатах для послеуборочной обработки зернового вороха, отличаются

компановкой и составом систем воздушной очистки. Пневмосистемы современных зерноочистительных машин можно классифицировать по нескольким признакам [8, 13, 24, 125].

Явным отличительным признаком является способ движения воздушного потока, который может быть замкнутым, разомкнутым и замкнуто-разомкнутым (комбинированным) [27, 43, 46, 47].

В замкнутых пневмосистемах воздух, циркулируя, многократно используется для выделения примесей из зерновой смеси. Такой способ движения рабочего тела обуславливает экономию затрат энергии на создание движущихся воздушных масс, но тем не менее применение замкнутых аспирационных систем имеет свои недостатки [55, 62, 69, 70].

Одним из таких недостатков является то, что в воздухе, неоднократно контактирующем с биологической средой зернового вороха, накапливаются микроорганизмы, от которых невозможно освободить воздух в механических очистительных устройствах. Такие микробы могут перенестись с зараженного зерна на следующие здоровые зерна, тем самым снизив товарные и посевные качества материала [78, 106]. Так же для обеспечения работоспособности пневмосепарирующей системы такого типа необходимым условием является наличие системы очистки засоренного воздуха и герметизирующие затворы на вводе и выводе обрабатываемого материала. Это в свою очередь в целом усложняет конструкцию и приводит к завышенной стоимости сепаратора [118, 119, 121]. Аспирационная система замкнутого типа используется в машинах, которые входят в состав перерабатывающих комплексов (ЗАВ, КЗС) [4, 30, 33].

В аспирационных системах с разомкнутым типом движения рабочего тела воздух однократно воздействует на сыпучий материал, после чего выбрасывается в атмосферу [12, 50, 54]. Для работы таких пневмосистем нет необходимости герметизировать вывод материала. В данных устройствах процесс выделения примесей осуществляется лучше, чем в устройствах замкнутого типа за счет использования чистого воздуха из атмосферы [70, 76].

К недостаткам пневмосистем разомкнутого типа можно отнести то, что при работе такие устройства создают ощутимый воздухообмен, что в свою очередь требует наличия приточной вентиляции в помещении [38, 41, 46]. Еще одним недостатком является то, что после обработки зерна загрязненный воздух выбрасывается в окружающую среду, и для обеспечения экологической безопасности необходимо применять очистительные устройства [77, 103, 128].

Воздушную систему разомкнутого типа имеют большинство машин, как российского производства, так и импортные сепараторы [4, 5, 7].

Самые перспективные системы из этой классификации – комбинированные или замкнуто-разомкнутые. Такие устройства обладают преимуществами замкнутых и разомкнутых систем, но они не получили широкого распространения ввиду высокой металлоемкости и сложности изготовления [63, 64].

Немаловажным параметром в работе пневмосистемы является способ организации перемещения воздушных масс в пневмоканалах. По способу организации движения воздуха в аспирационных системах зерноочистительных машин они классифицируются на всасывающие, нагнетательные и совмещенные.

Наибольшее распространение во множестве воздушных очисток получили пневмосистемы с всасывающим воздушным потоком, такие как МПУ - 70, ОЗФ-50/80 и множество других [19, 22]. Широкое применение такого рода систем обусловлено более высокой четкостью сепарирования за счет более равномерного по структуре воздушного потока по сравнению с другими [78].

Системы с нагнетательным воздушным потоком нашли меньшее применение в зерноочистке [21]. Недостатком таких устройств является создание избыточного давления в пневмосистеме сепаратора, что приводит к выбросу пыли и засорителей в окружающую среду. При работе нагнетательного воздушного потока так же характерна неравномерность скоростей воздушных масс в канале, это обуславливает потери качественных зерен обрабатываемого материала в фураж [38].

Для создания воздушного потока в пневмосистемах зерноочистительных машин, а также централизованных воздухораспределительных системах приме-

няются вентиляторы различных типов. По конструкции они делятся на центробежные [15, 17], диаметральный и осевые вентиляторы [18, 49]. Наиболее широкое применение в зерноочистительных машинах получили устройства центробежного и диаметрального типов, в отличие от осевых вентиляторов [106, 110].

Основным недостатком вентиляторов осевого типа является сход воздуха в параллельном направлении оси лопатки, из-за чего воздушный поток не имеет основного направления. К тому же, давление, созданное такими вентиляторами не достаточно высокое для обеспечения качественной пневмосепарации. Но стоит отметить, что устройства такого типа имеют высокую производительность, за счет чего нашли широкое применение в вентиляционных системах [123].

Диаметральные вентиляторы активно применяются на зерноочистительных машинах отечественного и зарубежного производства для разделения сыпучего материала воздушным потоком. Несмотря на то, что такие вентиляторы обеспечивают равномерный поток воздуха по всей ширине вентилятора, применение их для создания всасывающего потока в пневмосепарирующих каналах воздушно-решетных машин с большой производительностью не рационально. В Воронежском ГАУ при изучении пневмосистем универсальных зерноочистительных машин пришли к выводу, что при изменении сопротивления пневмосистемы точно установить скорость воздушного потока в пневмоканалах достаточно сложно. Это делает невозможным обеспечение эффективности пневмосепарации [120].

В пневмосистемах воздушно-решетных машин большой производительности зарубежного производства, активно используются центробежные вентиляторы ввиду достаточно высокого коэффициента полезного действия, что немаловажно для процесса пневмосепарации. Радиальные вентиляторы, несмотря на более высокие энергозатраты в сравнении с диаметральными, отличаются лучшей приспособленностью к частотному регулированию и возможностью создания более высокого напора всасывания [116].

Аспирационные системы зерноочистительных машин также можно классифицировать по количеству пневмосепарирующих каналов в аспирационной си-

стеме. Они делятся на пневмосистемы с одним, двумя и более пневмоканалами [113].

Воздушно-решетные зерноочистительные машины с одним пневмосепарирующим каналом в основном используют для предварительной и первичной очистки комбайнового зернового вороха. Большинство сепараторов, применяемых при первичной очистке, часто имеют наклонные пневмосепарирующие каналы, реже вертикальные. К примеру, зерноочистительные машины СВТ-40/30, ЗВС-20А и МОЗ-50 [1, 20].

Два и более аспирационных канала имеют пневмосистемы воздушно-решетных зерноочистительных машин, которые применяют для вторичной и конечной обработки зернового вороха [25]. Наличие двух воздушных очисток – дорешетной и послерешетной позволяет обеспечить необходимое качество конечного продукта. Система послерешетной аспирации позволяет довыделить легковесные примеси из обрабатываемого вороха, которые не выделились в дорешетной пневмоочистке, а также отделять часть фуражной фракции, которая не отсортировалась на решетных станах [29].

В большинстве двухаспирационных зерноочистительных машин вторая аспирация выполнена в виде вертикального пневмосепарирующего канала. Зерно, прошедшее очистку на решетных станах машины, собирается в один поток и подается в канал послерешетной пневмосепарации самотеком под действием силы тяжести. Восходящий воздушный поток, проходя через зерновую массу, выносит из нее легковесные примеси. По такому принципу вторая аспирация выполнена в широко распространенных в РФ зерноочистительных машинах серии МВУ-1500 [69]. Эти сепараторы применяют для конечной обработки различных культур. Исходный материал должен пройти первичную очистку перед подачей на этот сепаратор. Машину устанавливают в различных поточных семяочистительных линиях.

В МВУ-1500 аспирационная система включает в себя пневмосепарирующие каналы дорешетной и послерешетной воздушных очисток. Машины серии

МВР имеют два аспирационных канала и две осадочные камеры, для первой и второй аспирации отдельно [120].

Первая аспирация в данной машине (рисунок 1.2) представляет собой наклонный пневмоканал, загрузка которого осуществляется с помощью питающего валика.

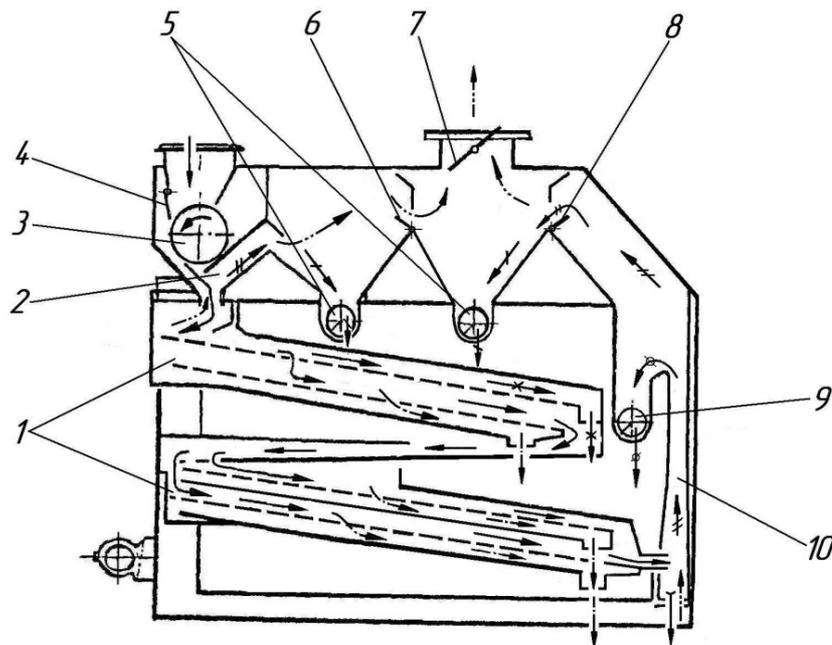


Рисунок. 1.2 – Технологическая схема машины МВУ-1500: 1 – решетчатые станы; 2 – пневмоканал первой аспирации; 3 – питающий валик; 4 – клапан; 5 – шнек отвода легких примесей; 6, 8 – клапаны точной регулировки подачи воздуха; 7 – клапан грубой регулировки подачи воздуха; 9 – шнек вывода фуражной фракции; 10 – пневмоканал второй аспирации

Осадочные камеры зерноочистительной машины оснащены шнеками для отвода вынесенных примесей и имеют общую стенку, в которой расположен клапан регулировки скорости воздушного потока в канале дорешетной воздушной очистки. В верхней части осадочной камеры послерешетной пневмосепарации установлен клапан для регулировки скорости воздушного потока во всей аспирационной системе.

Система послерешетной аспирации на машинах серии МВР – 1500 выполнена в виде вертикального пневмоканала прямоугольной формы. В верхней части пневмоканал второй аспирации имеет расширение для выделения фуражных при-

месей, которые впоследствии выводятся шнеком. На вводе в осадочную камеру в пневмоканале послерешетной очистки установлен регулировочный клапан, который служит для точной корректировки скорости воздуха в канале [120].

Подлежащий обработке семенной материал подают в приемную камеру, где он равномерно распределяется по ширине и просыпается в зазор между клапаном 4 и питающим валиком 3 и далее по наклонным скатным поверхностям направляется на решетный стан. По пути следования в канале 2 (рисунок 1.2) первой аспирации семенной материал продувается воздушным потоком, где отделяются легкие примеси, такие как полова, части листьев, оболочки семян, пыль. Эти примеси оседают в первой осадочной камере и шнеком 5 выводятся из машины. Воздух, содержащий пыль, через вытяжной патрубок машины направляется в аспирационную систему поточной линии для дальнейшей очистки.

Пройдя очистку на решетном стане, семена направляются через регулируемую щель в канал второй аспирации по наклонной плоскости, где восходящим воздушным потоком выделяются биологически неполноценное зерно и оставшиеся легкие примеси. В верхней расширительной части канала зерно осаждается и шнеком выводится в фураж, а легкие примеси выносятся в осадочную камеру, откуда также выводятся шнеком.

Двухаспирационные зерноочистительные машины также могут применяться для первичной очистки зернового вороха. Например, машины серии МПУ (МПУ-70, МПУ-20, МПУ-15) [97] предназначены для качественной доработки поступающего с комбайнов зернового вороха перед сушкой, временным хранением и конечной обработкой с выделением крупных, легких и мелких засорителей воздушным потоком и на решетках. Такие воздушно-решетные сепараторы входят в состав различных зерноочистительных агрегатов и линий [120].

Аспирационная система машины МПУ-70 (рисунок 1.3) включает в себя пневмосепарирующие каналы дорешетной и послерешетной очисток и осадочную камеру. Первая аспирация образована наклонными перегородками в нижней части приемной камеры и служит для очистки зернового вороха от легких примесей [10, 127].

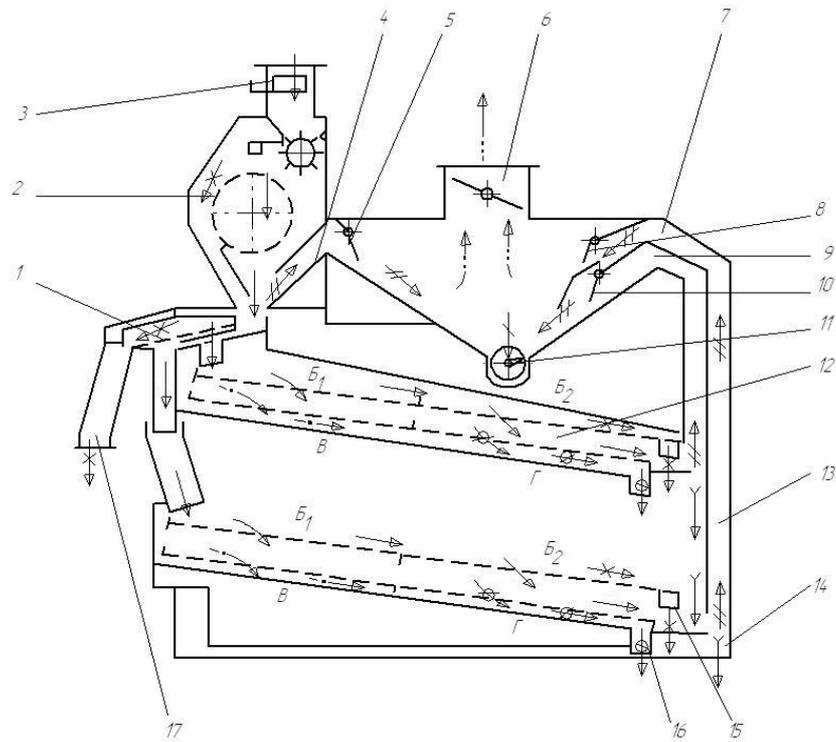


Рисунок. 1.3 – Технологическая схема машины МПУ-70: 1 – решето для удаления крупных примесей; 2 – скальператор; 3 – приемная камера; 4, 7, 9 – каналы соответственно первой и второй аспираций; 5, 8, 10 – заслонки для регулирования скорости воздушного потока в каналах соответственно первой и второй аспираций; 6 – устройство регулирования скорости воздушного потока; 11 – шнек вывода легких примесей; 12, 13 – верхний и нижний решетные станы; 14 – выход очищенного зерна; 15, 18 – лотки вывода крупных примесей; 16 – лоток для схода основной фракции; 17 – лоток вывода мелких примесей

Осадочная камера образована металлическим корпусом рамы, в верхней части которой размещено устройство регулирования скорости воздушного потока. Внутри осадочной камеры со стороны приемной камеры установлена перегородка с заслонкой для регулирования скорости воздушного потока в пневмоканале первой аспирации. С противоположной стороны камеры также установлены перегородки, образующие пневмоканалы второй аспирации. Нижняя часть камеры заканчивается в виде пирамиды с прямоугольным отверстием и фланцем для подсоединения шнека вывода отходов.

Каналы второй аспирации на МПУ располагаются вертикально и на вводе в осадочную камеру имеют регулировочные заслонки для возможности изменения скорости воздушного потока в них. Послерешетная воздушная очистка предна-

значена для довыделения легковесных примесей, которые не были удалены в первой аспирации, и для удаления части неполноценных зерновок.

Анализ технологий послеуборочной обработки зерна и зерноочистительных машин заставляет отметить, что тенденция развития зерноочистки сводится к снижению механических воздействий на материал и уменьшению затрат на производство конечного материала. Все это приводит к необходимости сокращения количества машин в линии послеуборочной обработки зернового вороха.

Снижение количества механических воздействий при обработке поступающего материала обеспечивает фракционная технология послеуборочной обработки зерна.

В связи с уменьшением количества зерноочистительных машин в агрегате важная роль отводится универсальным воздушно-решетным зерноочистительным машинам, так как основное отделение зернового материала от возможных засорителей, как растительных, так и минеральных осуществляется именно на таких сепараторах [92, 93, 116].

## **1.2 Анализ пневмосистем двухаспирационных зерноочистительных машин**

Неотъемлемой частью современных зерноочистительных агрегатов и поточных линий для послеуборочной обработки зерна являются универсальные воздушно-решетные зерноочистительные машины. Широкое применение нашли универсальные сепараторы, пневмосистемы которых имеют как дорешетную, так и послерешетную аспирации. Такие сепараторы часто применяются как для предварительной и первичной, так и для вторичной или конечной обработок зернового вороха. Использование универсальных очистителей делает возможным сокращение количества машин в линии послеуборочной обработки зерна, следовательно и материальных затрат на его производство. Универсальные воздушно-решетные зерноочистительные машины могут применяться для подготовки товарного зерна и семенного материала при соответствующих режимах работы [114].

Примером универсальных воздушно-решетных сепараторов отечественного производства могут послужить фракционные очистители зерна серии ОЗФ (ОЗФ-

80/40/20, ОЗФ-50/25/10) [74, 92], которые разработаны сотрудниками кафедры «Сельскохозяйственных машин» Воронежского ГАУ.

Воздушно-решетные зерноочистительные машины серии ОЗФ зачастую устанавливают в зерноочистительные агрегаты ЗАВ и другие зерноочистительные линии.

Машина ОЗФ-80/40/20 имеет двухаспирационную пневмосистему разомкнутого типа (рисунок 1.4).

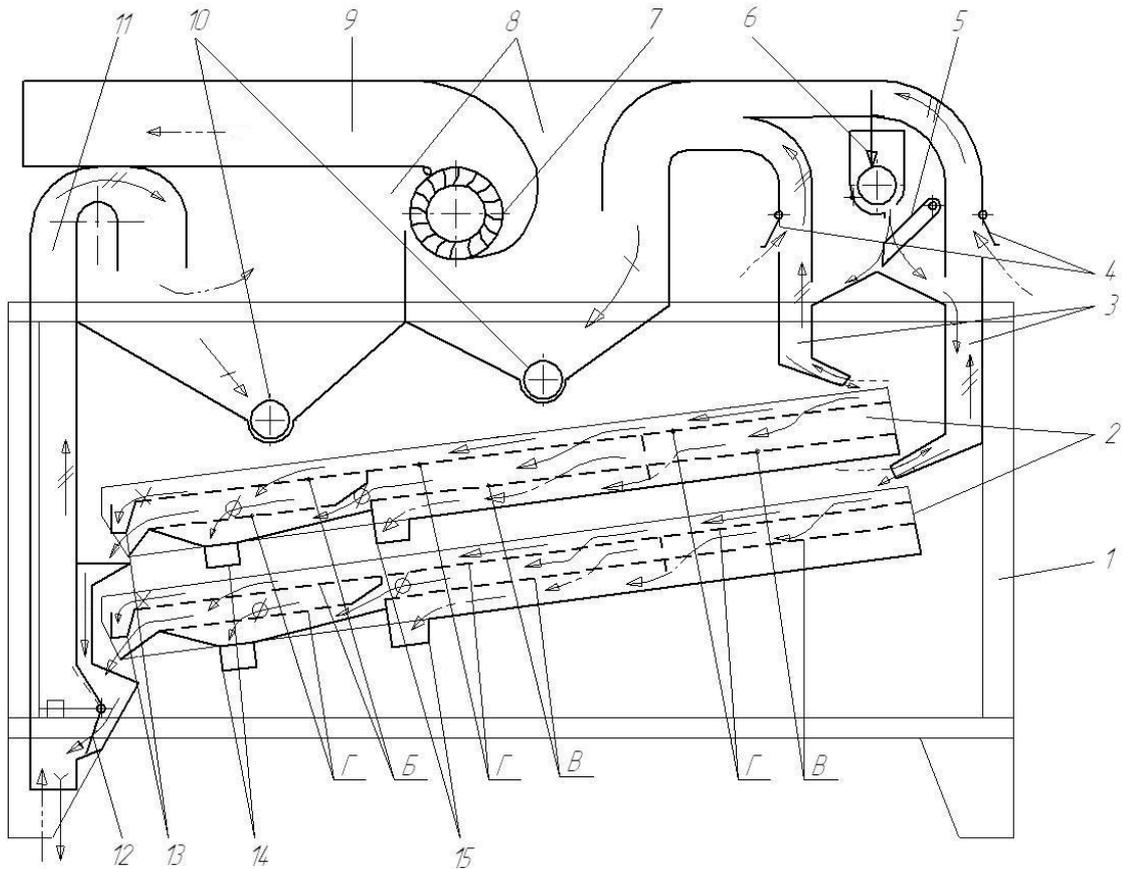


Рисунок. 1.4 – Технологическая схема фракционного очистителя зерна ОЗФ : 1 – рама; 2 – решетные станы; 3 и 11 – пневмосепарирующие каналы первой и второй аспираций; 4 – воздухозаборные клапаны; 5 – делитель; 6 – питающее устройство; 7 – диаметральный вентилятор; 8 – осадочные камеры; 9 – воздухоотводящий патрубок; 10 – шнеки; 12 – герметизирующий клапан; 13 и 15 – лотки вывода крупных и мелких примесей; 14 – лоток вывода фуражной фракции

Пневмосепарирующие каналы дорешетной и послерешетной очисток имеют вертикальное расположение [122]. Всасывающий воздушный поток обеспечивает

ся одним диаметральной вентилятором, который расположен в верхней части машины между осадочными камерами первой и второй аспираций.

Зерно, поступающее на обработку, делится на два равных потока и следует в каналы дорешетной аспирации, где из него отделяются легковесные примеси, которые осаждаются в осадочной камере первой аспирации. Скорость воздушного потока в каналах первой аспирации регулируется открытием воздухозаборных клапанов. Далее два потока зернового вороха проходят параллельную очистку на решетных станах. Пройдя сортировку на решетках, оба потока снова объединяются в один и через герметизирующий клапан подаются в пневмоканал послерешетной аспирации, где из зерновой смеси восходящим воздушным потоком выделяются щуплые и некондиционные зерна и выносятся в осадочную камеру послерешетной аспирации. Для обеспечения необходимой скорости воздушного потока в пневмоканале послерешетной очистки устанавливают герметизирующий клапан в плавающее положение.

Пневмосистема универсальных зерноочистительных машин серии ОЗФ - 80 имеет ряд недостатков [26, 93]. Например, для обеспечения качественной сепарации зернового вороха на решетках дорешетная пневмосепарация должна выделять большую часть соломистых и легковесных примесей. Для обеспечения необходимого качества сепарации в вертикальных пневмоканалах дорешетной очистки, скорость воздуха в них должна поддерживаться на уровне 6...7 м/с. При высоких сопротивлениях системы используемый вентилятор практически не способен поддерживать необходимые скорости воздушных потоков в обеих аспирациях. В связи с этим, основным недостатком пневмосистем таких зерноочистительных машин является применение одного диаметрального вентилятора для обеспечения всасывающего воздушного потока обеих аспираций.

Применение одного диаметрального вентилятора для обеспечения работы двухаспирационной пневмосистемы в основном используют в машинах, произведенных на просторах бывшего СССР, таких как МВО-8Д, МВО-7С, МЗУ-20Д, МПО-25Ф [94, 95, 96, 104, 108, 105, 117, 120].

Для обеспечения необходимого напора в каналах дорешетной и послерешетной очисток в машинах СВУ-60 (рисунок 1.5) для каждой аспирации установлен свой диаметральный вентилятор [98, 99]. Такое техническое решение позволяет снизить зависимость скоростей воздушного потока в пневмоканалах от их загрузки.

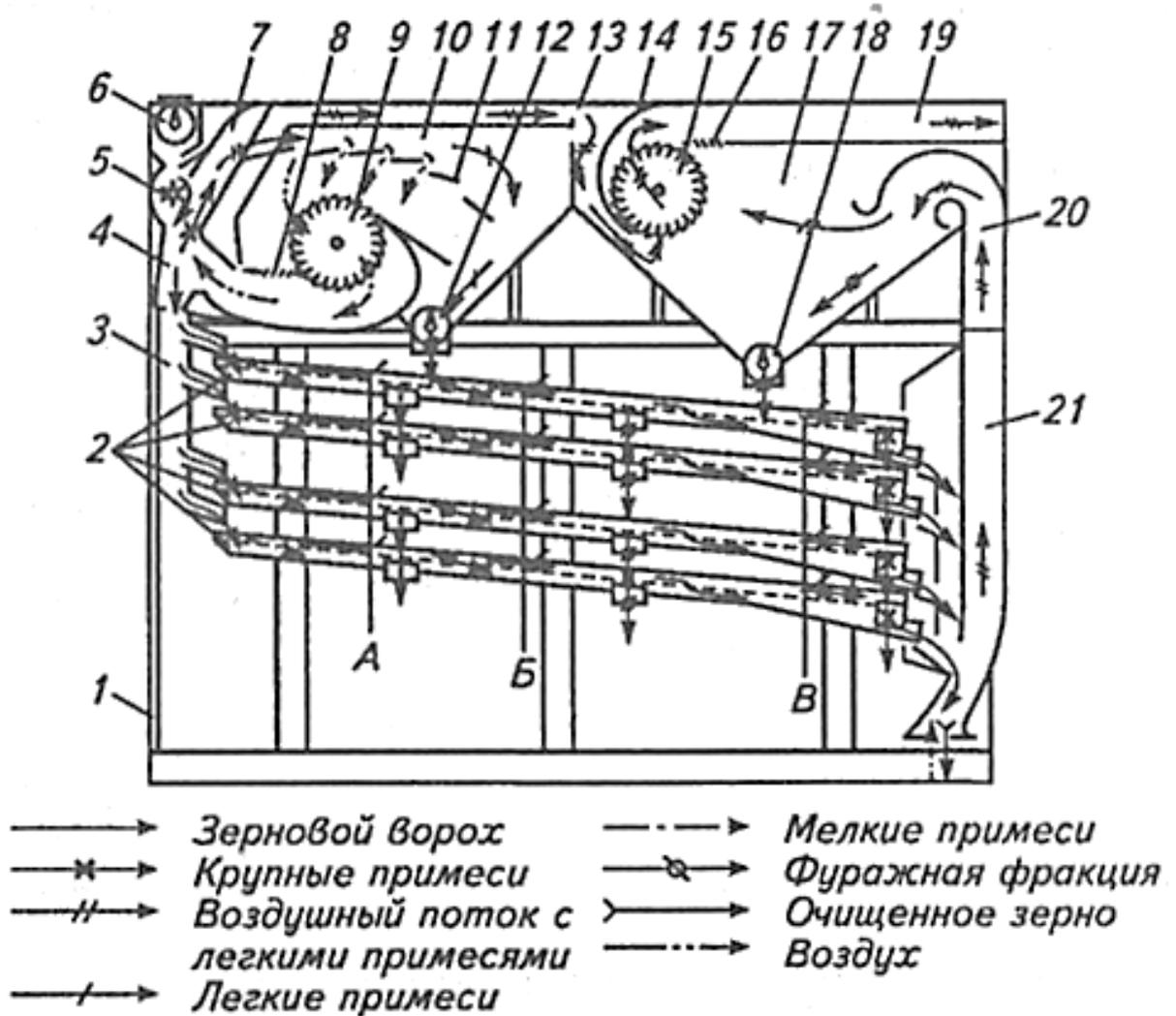


Рисунок 1.5 – Технологическая схема универсального сепаратора вороха СВУ-60: 1 – рама; 2 – решетные станы; 3 – делительное устройство; 4, 14– аспирационные системы; 5 – вбрасывающий битер; 6 – распределительный шнек; 7, 20 – пневмосепарирующие каналы; 8, 16 – жалюзийные заслонки; 9, 15 – диаметральные вентиляторы; 10, 17 – осадочные камеры; 11 – направляющие щитки; 12, 18 – шнеки; 13 – канал, принимающий излишки воздуха из первой аспирационной системы; 19 – выходной патрубок; 21 – пневмоколонка

Аспирационная система имеет съемный поддон для удобства очистки от пыли и легких примесей. Жалюзийную заслонку 8 и внутреннюю полость аспирационной камеры очищают через окна.

Система второй аспирации 14 разомкнутого типа, благодаря чему запыленный воздух удаляется из машины. Эта система включает в себя канал 13, принимающий излишки воздуха с первой аспирационной системы, диаметральный вентилятор 15, жалюзийную заслонку 16, осадочную камеру 17 со шнеком 18, выходной патрубком 19, пневмосепарирующий канал 20 с направляющим щитком. Со второй аспирационной системой соединена пневмоколонка 21, которая состоит из двух частей. В пневмоколонке размещены лотки для объединения зерновых потоков с четырех решетчатых станков и подачи в пневмосепарирующий канал 20. Пневмоколонка предназначена для интенсивной сепарации зернового вороха с целью дополнительного выделения легких примесей, щуплого и дробленого зерна.

В отличие от фракционного сепаратора ОЗФ, в дорешетной пневмосепарации СВУ для отделения легковесных примесей используется пневмоканал с наклонным воздушным потоком. Наклонные каналы уступают в четкости сепарирования вертикальным пневмоканалам. При скорости воздуха близкой к скорости витания зерна, наклонным воздушным потоком выносятся больше кондиционных зерен в фураж по сравнению с вертикальным. В первой воздушной очистке двухаспирационных зерноочистительных машин скорость воздушного потока ниже скорости витания качественного зерна, в связи с этим фактом наклонные пневмоканалы допустимо применять в дорешетной пневмосепарации на таких машинах [102].

Проведенные в Воронежском ГАУ исследования показали, что сопротивление пневмосистемы превышает сопротивления зернового вороха [79, 93]. В связи с этим дублирование элементов пневмосистемы для каждой аспирации не рационально. Кроме всего этого, добавление вентиляторов и электродвигателей понижает надежность пневмосистемы в целом и приводит к увеличенной металлоемкости конструкции, хотя такое техническое решение позволяет сделать регулировку скоростей воздушного потока в каналах полностью независимой [78].

Для обеспечения оптимальной работы универсальных зерноочистительных машин с большой производительностью, особенно при работе их с воздухоочищающими устройствами, необходимо использовать центробежные вентиляторы. Уменьшения энергозатрат в таком случае можно добиться усовершенствованием конструкции аспирационной системы. Вопреки известным преимуществам применения диаметральных вентиляторов в аспирационных системах [11, 14], множество воздушно-решетных машин с высокой производительностью импортного происхождения имеют аспирационные системы разомкнутого типа, оборудованные вентиляторами радиальной конструкции [130, 135]. Использование таких вентиляторов даёт возможность произвести более высокий напор всасывания по сравнению с вентиляторами диаметральной конструкции.

В большинстве зарубежных двухаспирационных сепараторов работу каналов дорешетной и послерешетной аспирации обеспечивает один радиальный вентилятор. Часто вентиляторы устанавливают сверху пневмосистемы, такую компоновку имеют сепараторы фирмы Cimbria Heid [131], машины серии NSD произведенные организацией Denis [132], зерноочистители производства Westrup [136] и сепараторы ИНТЕХ К150 [20].

Особого внимания заслуживают универсальные зерноочистительные машины DELTA 140 серии (рисунок 1.6). Такие сепараторы могут быть использованы и для предварительной подготовки, и для первичной и вторичной очисток. Характерной машиной производства этой фирмы может послужить универсальный воздушно-решетный сепаратор DELTA 146 Combi. Эта двухаспирационная зерноочистительная машина предназначена для подготовки товарного зерна, но при определенных компоновке и настройках может успешно справляться с подготовкой семенного материала.

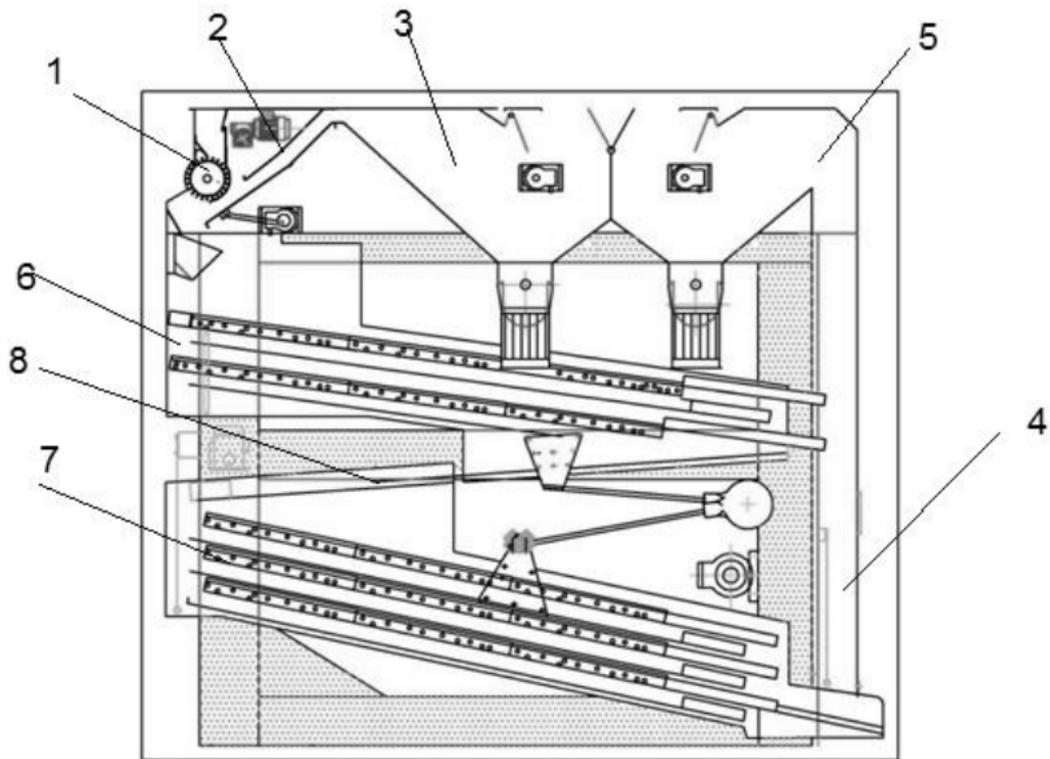


Рисунок 1.6 – Схема машины DELTA 146 Combi фирмы Cimbria Heid: 1 – питающий валик; 2 – канал дорешетной аспирации; 3 – осадочная камера канала дорешетной аспирации; 4 – канал послерешетной аспирации; 5 – осадочная камера канала послерешетной аспирации; 6 – верхний решетный стан; 7 – нижний решетный стан; 8 – скатная поверхность

Одним из наиболее известных производителей зерноочистительной техники и семяочистительных линий в мире является фирма PETKUS Technologies GmbH [133]. Руководством этой компании вкладываются значительные средства в исследования и совершенствование современных технологий и машин, используемых при послеуборочной обработке сельскохозяйственных культур.

Коллектив организации ROEBER Institut GmbH [134], которая является подразделением фирмы PETKUS Technologies, занимается совершенствованием технических средств и разработкой новых технических решений.

PETKUS Technologies выпускает универсальные двухаспирационные зерноочистительные машины, для предварительной и первичной обработок зерна серии V, воздушно-решетные сепараторы серий A и U, а также универсальные сепараторы серии M, которые в основном применяются для вторичной очистки зернового вороха. Один из универсальных воздушно-решетных сепараторов фирмы PETKUS представлен на рисунке 1. 7

Стоит отметить, что в сепараторах серии U12/U15 фирмы PETKUS Technologies GmbH вторая аспирация имеет конструкцию сдвоенного пневмоканала с возможностью регулирования впускной заслонки. Для изменения скоростей воздушного потока в каналах изменяют сечение канала первой аспирации с помощью заслонки, а также изменением положения заслонок в осадочных камерах, через которые осуществляется дополнительный забор воздуха из окружающей среды.

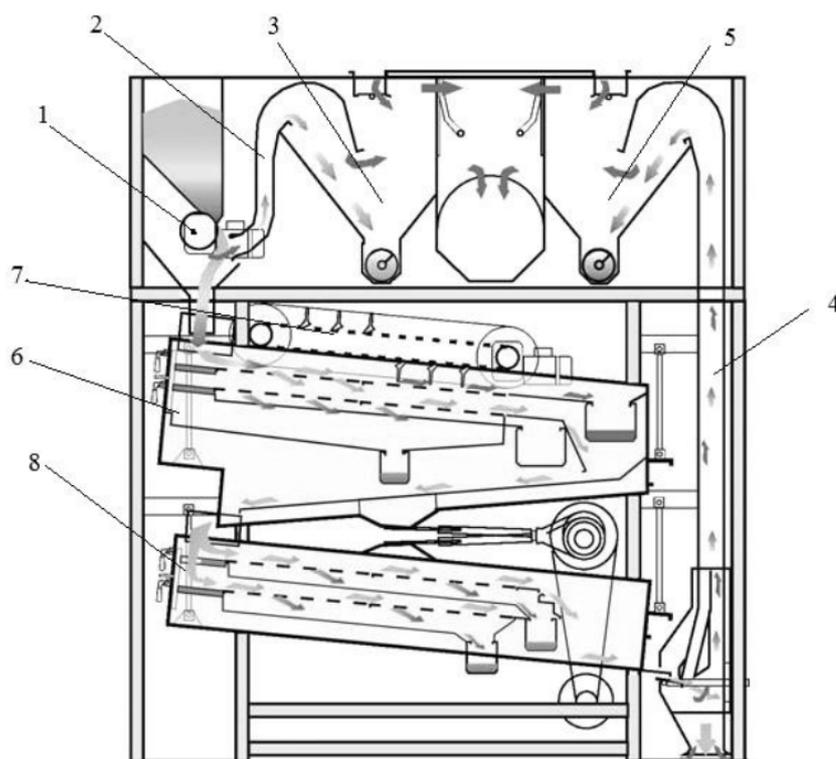


Рисунок 1.7 – Схема машин PETKUS U12/U15: 1 – питающий валик; 2 – пневмосепарирующий канал дорешетной очистки; 3 – осадочная камера пневмоканала дорешетной очистки; 4 – пневмоканал послерешетной очистки; 5 – осадочная камера пневмоканала послерешетной очистки; 6 – верхний решетный стан; 7 – транспортер колосового решета для выделения крупных примесей; 8 – нижний решетный стан

Совместно с PETKUS Technologies в Белоруссии производятся универсальные сепараторы МЗУ-40 и МЗУ-60, разработанные на базе машин U 40-4G и U 60-6G [101]. В России совместное производство фирмой PETKUS выпускает воздушно-решетные зерноочистительные машины РВС-20/40/60, сконструированные аналогично сепараторам Петкус-Гигант.

Из машин импортного производства следует отметить воздушно-решетные зерноочистительные машины производства Schmidt Seeger серии TAS (рисунок 1.8), которые, как и множество современных машин, являются универсальными сепараторами.

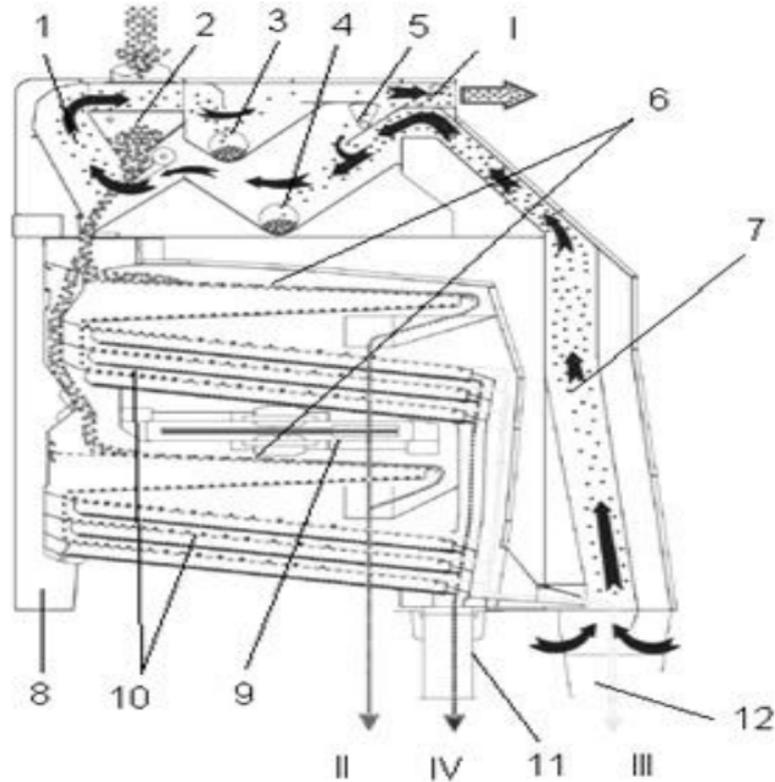


Рисунок 1.8 – Технологическая схема работы машины TAS-206A-2-6: 1 – пневмосепарирующий канал дорешетной очистки; 2 – загрузочное устройство с качающимся распределителем; 3 – осадочная камера пневмоканала дорешетной очистки; 4 – осадочная камера пневмоканала послерешетной очистки; 5 – клапан регулировки скорости воздуха в пневмосепарирующем канале дорешетной очистки; 6 – решетка для выделения крупных примесей (крупного зерна 1 сорта); 7 – пневмосепарирующий канал послерешетной очистки; 8 – рама машины; 9 – привод решетного стана с круговыми колебаниями; 10 – сортировальные решета для выделения основной фракции (2 сорт); 11 – лоток вывода мелкого зерна и примесей; 12 – лоток вывода основной фракции; I – запыленный воздух к фильтру и вытяжному вентилятору; II – выход крупных примесей (крупного зерна 1 сорт); III – выход основной фракции 2 сорт); IV – выход мелкого зерна, мелких и легковесных примесей

Особой отличительной чертой пневмосистем этих машин от конкурентов является использование одного воздушного потока сначала для обработки вороха в канале послерешетной воздушной очистки, а потом и дорешетной. Забор возду-

ха в пневмосистему осуществляется через канал второй аспирации, после чего он выносит неполноценные зерновки и оставшиеся легковесные примеси в осадочную камеру. Далее воздушная масса перемещается в канал дорешетной воздушной очистки, где обрабатывает зерновой ворох, загружаемый в машину, после чего воздух выносит легковесные примеси и пыль в осадочную камеру первой аспирации и выбрасывается в окружающую среду.

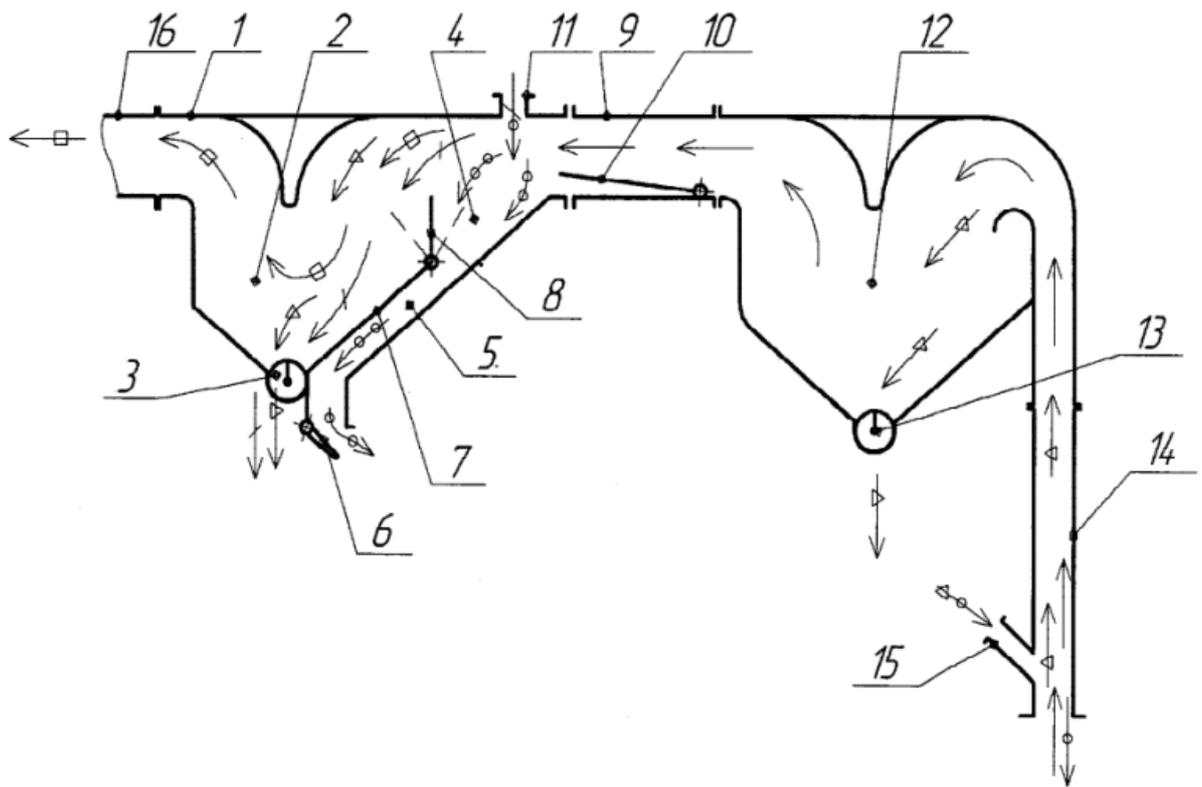
При подготовке пшеницы на товарные цели машины этой серии имеют производительность от 60 до 250 т/ч. При использовании для первичной очистки производительность составляет 150 т/ч, а для вторичной – 45 т/ч.

Schmidt Seeger также выпускает специальные сепараторы для обработки зерна на семенные цели, такие как машины TAS 210А-1 и TAS 200А-III. Пневмосистемы этих машин аналогичны с пневмосистемами других машин этой серии.

На основании исследований пневмосистем универсальных сепараторов сотрудниками кафедры «Сельскохозяйственных машин» Воронежского ГАУ была разработана и запатентована двухаспирационная пневмосистема универсальной воздушно-решетной зерноочистительной машины (Рисунок 1.9.) [87].

При разработке данной аспирационной системы за основу была принята двухаспирационная пневмосистема предыдущего воздушно-решетного сепаратора в виду её компоновки, позволяющей снизить затраты энергии на пневмосепарацию.

Данная пневмосистема работает следующим образом. Установленный за пределами аспирационной системы вентилятор (не показан), создаёт всасывающий напор и забирает через воздухопровод 16 загрязненный воздух из осадочной камеры первой аспирации 1. Под воздействием всасывающего напора воздушный поток засасывается через канал послерешетной аспирации 14, далее он последовательно движется через осадочную камеру второй аспирации 14, канал дорешетной воздушной очистки 9 в осадочную камеру первой аспирации 1.



—→ - воздушный поток;    ↗→ - зерновой ворох;    ○→ - очищенное зерно;  
 ○→ - зерно очищенное в первой аспирации;    ↘→ - легковесные примеси;  
 △→ - биологически неполноценное зерно;    □→ - запыленный воздух с легковесными примесями;  
 △→ - зерно очищенное от мелких и крупных примесей на решетках.

Рисунок 1.9 – Технологическая схема работы двухаспирационной пневмосистемы: 1 – осадочная камера первой аспирации; 2 – секция сбора вынесенных компонентов; 3,13 – устройства для вывода фракций из осадочных камер; 4 – секция, улавливающая зерно, прошедшее очистку в первой аспирации; 5 – выводной канал; 6 – клапан гравитационный; 7 – стенка осадочной камеры; 8 – клапан регулировочный; 9 – канал первой аспирации; 10 – клапан регулировки скорости воздушного потока; 11 – окно загрузочное; 12 – осадочная камера второй аспирации; 14 – канал второй аспирации; 15 – окно загрузочное в канал второй аспирации; 16 – воздуховод

Питающее устройство через загрузочное окно 11 подаёт зерновой ворох в канал дорешетной аспирации 9 тонким слоем, там из него воздушным потоком выделяется пыль и часть легковесных примесей.

Далее регулировочным клапаном 8 улавливается ворох, обработанный в канале дорешетной аспирации, и направляется по выводному каналу 5 на решетный стан. При прохождении обработки материала на решетном стане из него вы-

деляются крупные и мелкие примеси, а также зерно сортируется на основную и фуражную фракции. Отсортированное зерно основной фракции после обработки на решетном стане направляется на дальнейшую обработку в канал послерешетной аспирации 14 через загрузочное окно 15. Там из него воздушным потоком выделяются оставшиеся легковесные примеси и биологически неполноценные зерновки, которые воздухом выносятся в осадочную камеру второй аспирации 12 и выводятся из машины устройством 13. Очищенное зерно выводится из канала послерешетной аспирации и направляется на дополнительную обработку или на хранение.

Данная аспирационная система имеет ряд определенных преимуществ перед другими:

- низкие затраты энергии на очистку зернового материала за счет использования одного воздушного потока, проходящего последовательно через пневмосепарирующий канал послерешетной очистки и его осадочную камеру и пневмосепарирующий канал дорешетной очистки и его осадочную камеру;

- высокая эффективность дорешетной пневмосепарации за счет горизонтального расположения пневмосепарирующего канала, что позволяет избежать поворотов пневмосистемы, которые создают завихрения воздушного потока, снижающие эффективность пневмосепарации; также горизонтальное расположение канала дорешетной пневмосепарации между двумя осадочными камерами позволяет избежать лишнего сопротивления пневмосистемы, что так же влияет на энергозатраты при пневмосепарации;

- простота конструкции, которая состоит из вертикального пневмосепарирующего канала послерешетной очистки, двух осадочных камер, соединенных между собой горизонтальным пневмосепарирующим каналом дорешетной очистки, и вентилятором, который находится вне конструкции, что значительно упрощает монтаж зерноочистительной машины в целом.

Исходя из произведённого анализа современных универсальных сепараторов, можно отметить, что преимущество имеют те машины, в пневмосистемах которых используются всасывающий воздушный поток, создаваемый радиаль-

ным вентилятором и последовательно проходящий через каналы воздушной очистки и их осадочные камеры. Такая организация движения воздушной массы в пневмосистеме позволяет достичь наименьших энергозатрат и высокой эффективности пневмосепарации во всех аспирационных каналах.

### **1.3 Тенденции совершенствования послерешетной воздушной очистки современных зерноочистительных машин**

Достаточно часто сепарация зернового вороха на воздушно-решетном сепараторе является последним этапом послеуборочной обработки, после которого готовый зерновой материал поступает на хранение или на реализацию [75]. Современные воздушно-решетные машины имеют две аспирации, первая осуществляет предварительную очистку вороха от наиболее легковесных и крупных примесей (шелуха, листья, солома и т.п.) при загрузке обрабатываемого материала в машину. Тем самым облегчая дальнейшую сепарацию зерновой смеси на решетных станах и в канале послерешетной пневмосепарации [100]. В свою очередь обработка зернового вороха в канале второй аспирации является конечной операцией обработки на воздушно-решетном сепараторе, после которой зерно должно отвечать требованиям, предъявляемым к зерну товарного назначения и направляемому на дальнейшее хранение.

Зерновой ворох при подаче в канал послерешетной аспирации уже равномерно распределен по ширине после обработки на решетном стане. Исходя из этого, устройства, питающие каналы второй аспирации, решают другие задачи. Одной из таких задач является герметизация загрузочных окон. Но более важно, чтобы устройство, подающее зерновой ворох на вторую аспирацию, могло обеспечить равномерность загрузки пневмоканала по глубине с учетом рабочих скоростей воздушного потока и сопротивления, создаваемого обрабатываемым материалом. Технические решения питающих устройств послерешетной аспирации не имеют общепринятой конструкции, в отличие от питателей каналов дорешетной аспирации [124].

На кафедре СХМ Воронежского ГАУ было разработано и запатентовано устройство для подачи зерновой смеси в вертикальный пневмоканал [88], которое изображено на рисунке 1.10.

Питающее устройство работает следующим образом. Зерновой ворох, сходя с сортировального решета и далее с загрузочного устройства 3, под собственным весом попадает на лоток 4 и перемещается по поверхности лотка к загрузочному окну 2 пневмосепарирующего канала 1. Там движущаяся масса зернового вороха отодвигает нижнюю лопасть 9, после чего она образуется зазор между поверхностью лотка и нижней лопастью. Проходя сквозь зазор, толщина слоя зернового вороха уменьшается, и материал веером подается в зону пневмосепарирования.

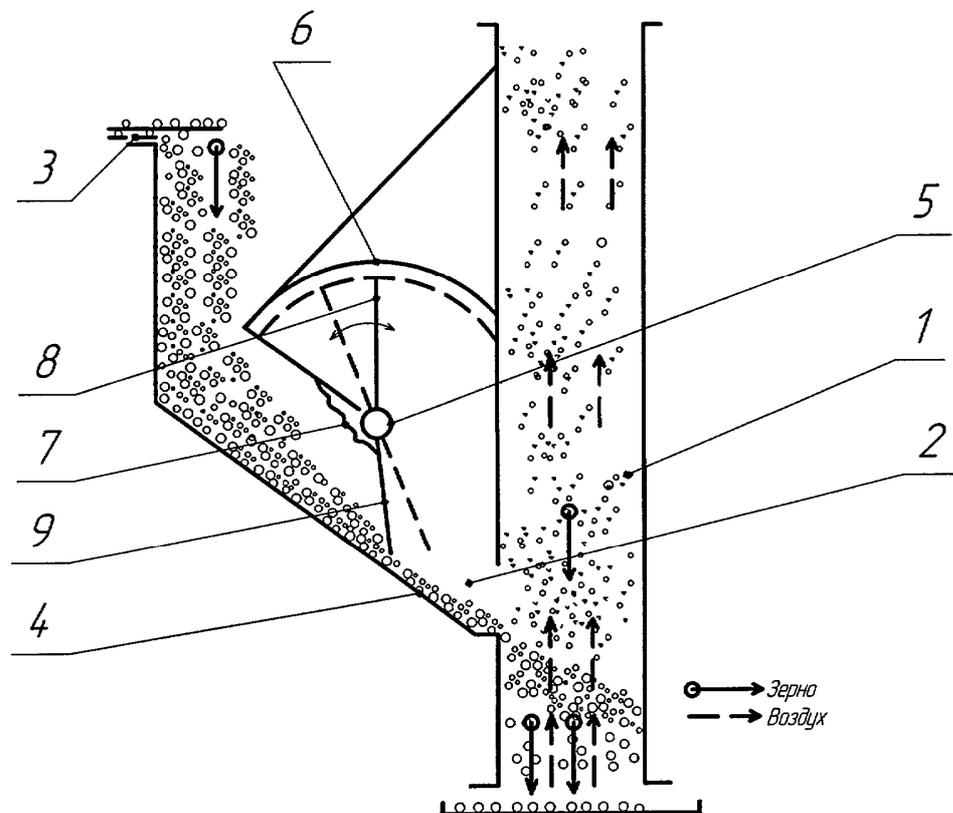


Рисунок 1.10 – Схема устройства для подачи зерновой смеси в пневмосепарирующий канал: 1 – вертикальный пневмоканал; 2 – поперечное окно; 3 – загрузочное устройство; 4 – скатный лоток; 5 – двухлопастной клапан; 6 – обечайка; 7 – воздухонепроницаемое полотно; 8 – верхняя поворотная лопасть клапана; 9 – нижняя лопасть клапана

В пневмосепарирующем канале восходящим потоком воздуха из зернового вороха выделяются легкие примеси. Они выносятся в осадочную камеру (не показано), а тяжелые опускаются в нижнюю часть канала и выводятся. Нижняя часть 9

двухлопостного клапана 5 приоткрывает щель величиной необходимой только для того, чтобы прошел зерновой ворох. Из-за перемещения воздушного потока по пневмосепарирующему каналу около клапана 5 создаётся разрежение, передаваемое на лопасти клапана. При условии их равенства клапан сохраняет равновесие. Для герметизации зазора между верхней лопастью 8 и обечайкой 6 на ней закреплен воздухонепроницаемый материал 7 [69].

Работа вышеописанного клапана позволяет исключить холостой подсос воздуха и обеспечить равномерную подачу зернового вороха в канал. Но при работе данного устройства с большой производительностью часть канала со стороны ввода будет сильно перегружена из-за невозможности равномерного распределения зернового вороха по глубине пневмоканала. В результате воздушный поток не сможет преодолеть плотный слой обрабатываемого материала и станет проходить через менее загруженную противоположную часть канала, вынося за собой лишь малую часть легковетесных примесей и неполноценных зерен. В результате такой перегрузки может наблюдаться снижение эффективности пневмосепарации зернового вороха на данном устройстве при увеличении подачи обрабатываемого материала.

При такой загрузке вертикального пневмосепарирующего канала второй аспирации зерно не может распределиться по всей площади канала равномерно, в результате основная часть воздушного потока будет проходить там, где концентрация очищаемого материала занижена. Ближе к входному окну концентрация зернового вороха завышена, сопротивление воздушному потоку увеличено, там воздух практически не проходит, а лишь создаёт завихрения из-за падения скорости. Это приводит к тому, что снижается качество сепарации зерновой смеси, вследствие этого энергозатраты на послерешетную пневмосепарацию увеличиваются.

Для повышения качества очистки зерна во второй аспирации в некоторых машинах стали использовать подканальные сетки. Такая конструкция способствует равномерному распределению зернового вороха в зоне пневмосепарации, а

также более равномерному распределению воздушного потока в канале, что способствует повышению качества очистки зерна.

Загрузку каналов послерешетной аспирации по подканальной сетке имеют сепараторы некоторых серий производства компаний Cimbrja Heid и Petkus [131, 133] (рисунок 1.11). Послерешетная аспирация этих зерноочистительных машин представляет собой сдвоенный пневмоканал, первая часть которого имеет расширение. Зерновой ворох со всех сортировальных решет сходит в общий поток на нижнем решете и перемещается по подканальной сетке, которая выполнена в продолжении нижнего сортировального или подсевного решета.

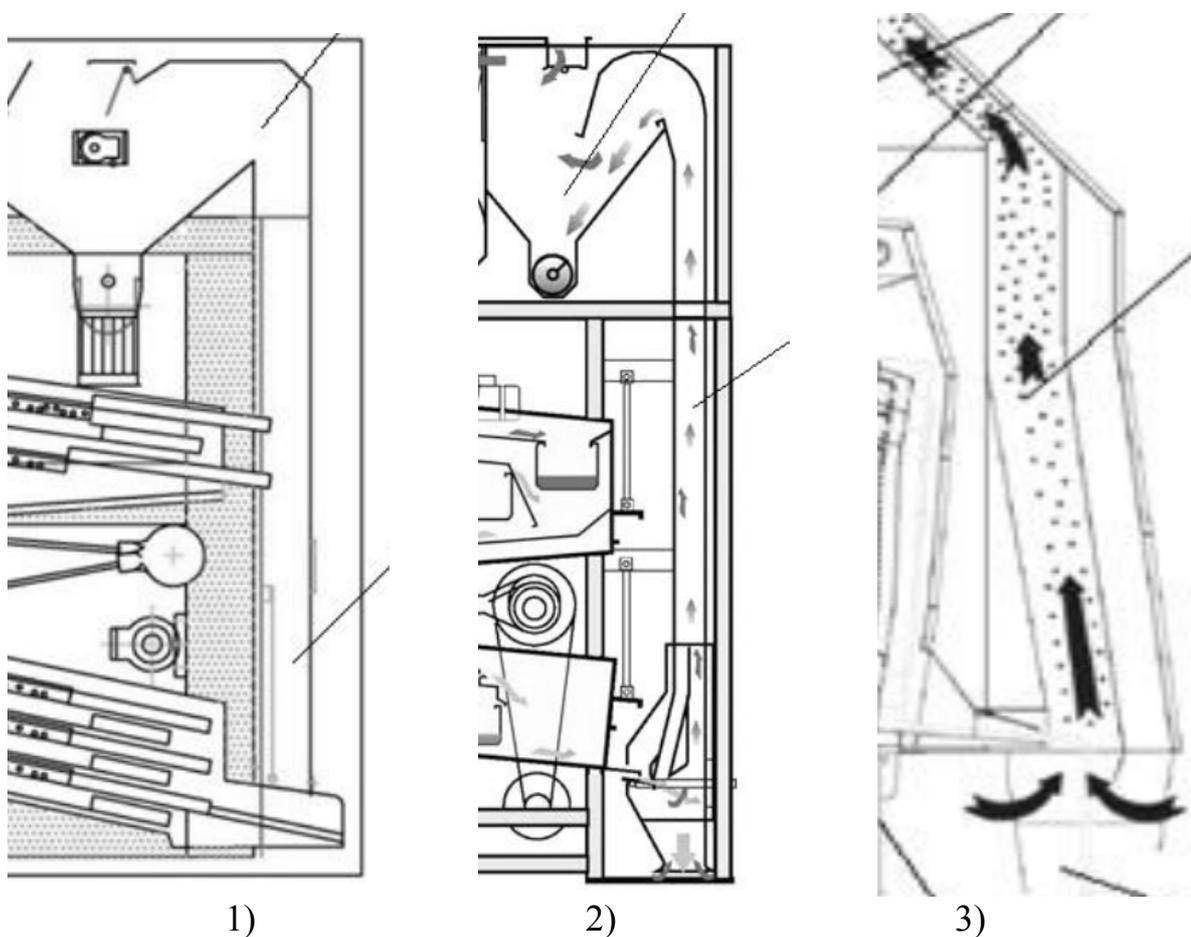


Рисунок 1.11 – системы послерешетной пневмосепарации: 1) машины DELTA 146; 2) машины PETKUS U12/U15 ; 3) машины TAS-206A-2-6

Подканальная поверхность представляет собой мелкую металлическую сетку, которая крепится в конце решетного стана и совершает поступательные колебания вместе с ним. При вводе в канал на его стенках установлены герметизирующие заслонки.

В зависимости от пожеланий заказчика производители могут устанавливать систему автоматического регулирования герметизирующих заслонок. В первой расширяющейся части пневмосепарирующего канала зерновой ворох продувается воздухом с небольшими скоростями, в результате чего движущийся слой приобретает псевдооживленное состояние, что способствует повышению эффективности пневмосепарации, которая происходит во второй части канала послерешетной аспирации.

В своё время на кафедре сельскохозяйственных машин Воронежского ГАУ было тоже разработано устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха (рисунок 1.12), в котором использовалась подканальная сетка для обеспечения равномерности загрузки и равномерности распределения зернового вороха по площади пневмоканала.

Указанное выше устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха отличается от подобных известных систем по нескольким признакам. Пневмосепарирующий канал разделен на две полости. Под каждой из них размещены подканальные сетки. Сетка второй полости выполнена регулируемой по высоте для возможности вывода биологически неполноценного зерна, которое сосредотачивается в нижнем слое первой полости. Оно выводится через разгрузочный канал в зону, расположенную перед входом во вторую полость [89].

Разделение пневмосепарирующего канала на две полости позволяет добиться более полного выделения, так как зерновая смесь после сепарации на решетных станах поступает сначала на подканальную сетку первой полости сепарирующего канала. В этой полости скорость воздушного потока невелика, она составляет всего 1,5 – 2,0 м/с, и этого хватает лишь для образования в зерновой смеси псевдооживленного состояния, которое обеспечивает более полную сепарацию компонентов при дальнейшем продвижении по подканальной поверхности второй полости [115].

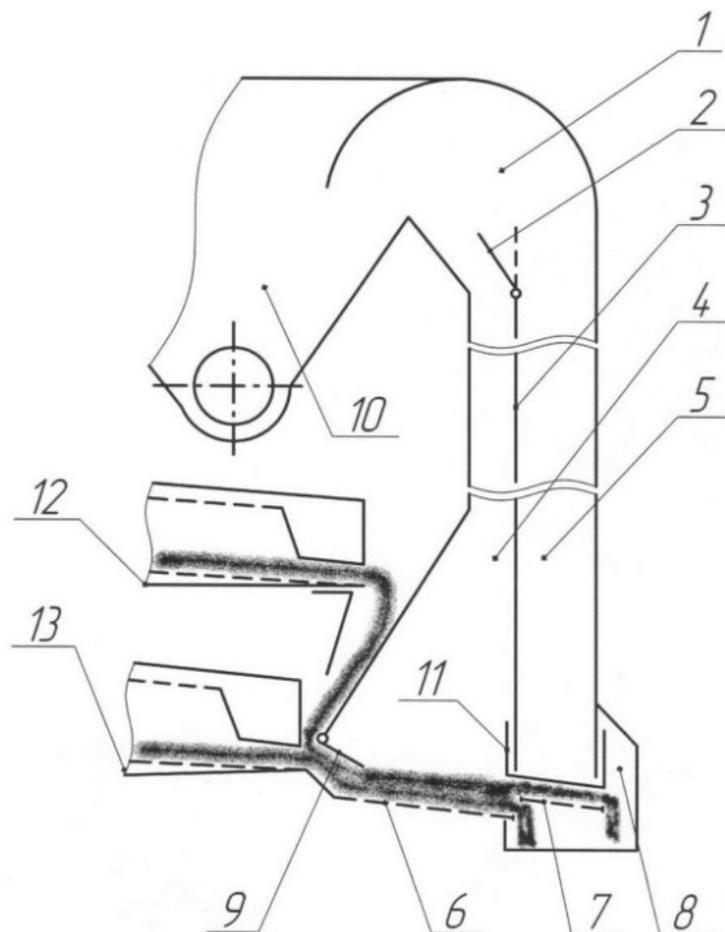


Рисунок 1.12 – Схема устройства для послерешетной пневмосепарации зернового вороха: 1 – общая полость пневмоканала; 2 – регулирующая заслонка; 3 – разделительная перегородка; 4 – первая полость пневмоканала; 5 – вторая полость пневмоканала; 6 – статичная подканальная сетка; 7 – регулируемая подканальная сетка; 8 – приёмный бункер; 9 – герметизирующая заслонка; 10 – осадочная камера; 11 – регулируемая часть канала; 12,13 – решетные станы

Под действием физических сил более плотные, зрелые зерновки опускаются в нижний слой вороха, а менее плотные, невыполненные зерновки и примеси выдавливаются на поверхность. Далее, рассортированный, псевдооживленный слой вороха, который уже имеет меньшую плотность, поступает по подканальной поверхности во вторую полость послерешетного пневмосепарирующего канала. Там воздушным потоком извлекаются из верхнего слоя обрабатываемого материала легковесные примеси и неполноценные зерновки. Благодаря эффекту псевдооживления в первой полости канала, во второй полости понижается сопротивление слоя воздушному потоку, что облегчает сепарацию зерновой смеси [89].

Возможность смещения подканальной поверхности второй полости канала вверх относительно такой же поверхности первой полости позволяет при большой загрузке машины снизить нагрузку на послерешетный пневмоканал тем, что после прохождения первой полости пневмоканала слой разделяется подканальной сеткой второй полости на две части, верхнюю и нижнюю. Нижняя часть, состоящая из плотных зерен, выводится в бункер с очищенным зерном, а верхний слой, содержащий легковесные примеси и неплотные зерновки проходит через пневмосепарацию во второй полости послерешетного пневмоканала, где из него выделяются все компоненты, скорость витания которых ниже, чем у кондиционного зерна.

Данное решение позволяет выделять большее количество примесей, но подканальная поверхность, выполняемая в основном из металлической сетки, создает сопротивление, которое при сохранении необходимой для сепарации скорости воздуха увеличивает энергозатраты. К недостаткам данного технического решения можно также отнести склонность к забиванию подканальной сетки, из-за чего снижается скорость воздушного потока в зоне сепарации пневмоканала, а это приведёт к снижению качества сепарации обрабатываемого вороха.

При разработке современных зерноочистительных машин предлагались различные конструкции пневмосепарирующего канала, разработанные Тарасенко А.П., Гиевским А.М., Сычуговым Н.П., Жолобовым Н.В., Блиновым Б.Ю., Сайтовым В.Е., Лямшиным И.Н. и другими учёными [81, 86, 85].

В работе Сычугова Н.П. [81] представлена конструкция пневмосепарирующего канала (рисунок 1.13), повышение эффективности очистки которого, обусловлено следующим.

В конфузорной зоне 7 канала воздушный поток имеет высокую равномерность и повышенную скорость, благодаря чему растет полнота выделения легких примесей [109]. Полноценные зерна, незначительная часть которых вынесена воздушным потоком вместе с легкими примесями, отделяются от легких примесей в зонах 6 и 8 при малой концентрации смеси в воздухе, благодаря чему идет более четкое разделение, и снижаются потери полноценного зерна в отходы с легкими примесями [111].

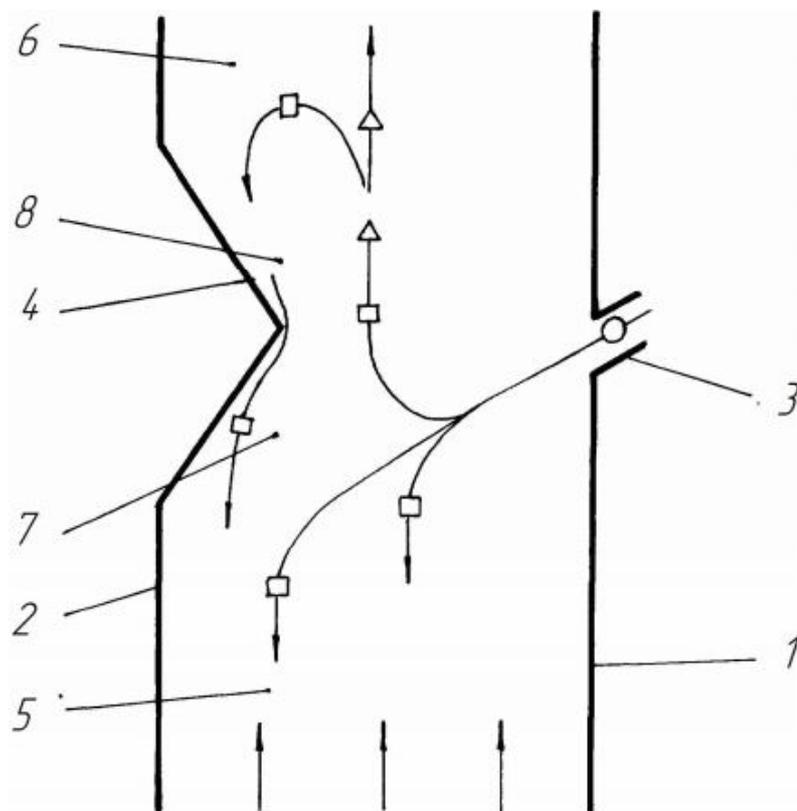


Рисунок 1.13 – Общий вид пневмосепарирующего канала: 1 – внутренняя стенка; 2 – наружная стенка; 3 – загрузочное приспособление; 4 – сужение рабочей зоны; 5,6,7,8 – плоскости поперечного сечения канала

В качестве недостатков данной конструкции можно отметить, что в зонах 7 и 8 скорость воздушного потока будет выше, чем в зонах 1 и 2. Оптимальная характеристика воздушного потока не обеспечит разделение сыпучего материала на всей длине канала, а зерновой материал будет дополнительно травмироваться.

На следующем рисунке представлена конструкция пневмосепарирующего канала [86], который работает следующим образом. Исходный зерновой материал через окно 2 подается в вертикальный пневмосепарирующий канал 1 питающим устройством 4, где восходящим воздушным потоком выделяются легкие примеси и удаляются в отходы.

Средняя фракция и часть полноценного зерна и легких примесей, движущихся по параболическим траекториям, близко расположенным к стенке, противоположной питателю 4, поступают в камеру 6 и по его скатной плоскости 8 направляются на повторную очистку в пневмосепарирующий канал 1. При этом не выделенная ранее часть легких примесей из потока зернового материала

ла удаляется также воздушным потоком в отходы. Очищенный материал от легких примесей под действием силы тяжести выводится через нижнее сечение пневмосепарирующего канала 1 наружу.

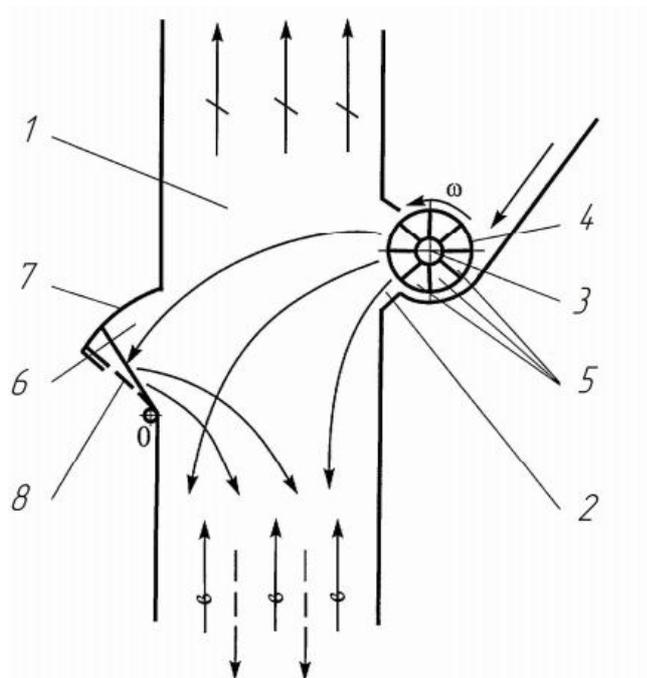


Рисунок 1.14 – Общий вид пневмосепарирующего канала: 1 – вертикальный пневмосепарирующий канал; 2 – поперечное окно; 3 – вал питателя; 4 – питатель; 5 – внешняя цилиндрическая поверхность; 6 – рабочая камера; 7 – верхняя стенка рабочей камеры; 8 – скатная поверхность

Преимуществами предлагаемого изобретения является повышение качества сортирования зернового вороха и снижение потерь полноценного зерна в отходы с легкими примесями. Однако, использование рабочей камеры данной формы при больших подачах приведёт к тому, что материал заполнит рабочую камеру 6, а затем будет двигаться по стенке пневмосепарирующего канала 1. Это может привести к дополнительным потерям зерна.

В работе Ю.И. Ермольева рассматривалась проблема сгруживания очищаемого материала на стенке пневмоканала, противоположной устройству пассивного ввода материала (самотёк). На участке сгруживания материала резко увеличивалась скорость воздушного потока за счёт снижения «рабочей» глубины пневмоканала и происходил отрыв свободного зерна в лёгкую фракцию. Это, в свою очередь, увеличивало потери зернового материала [44].

В 2012 году опубликован патент пневмосепаратора с вертикальным пневмоканалом № 120020 (рисунок 1.15), разработанный в Ростовском ДГТУ. В данном техническом решении была применена система с двумя зонами пневмосепарации в аспирационном канале [40, 84]. После ввода зерно попадает в зону пневмосепарации Б, где под действием воздушного потока, нагнетаемым вентилятором 13, выделяются легковесные примеси из зерновой смеси; после сепарации в зоне Б очищенный зерновой ворох выводится через клапан 12.

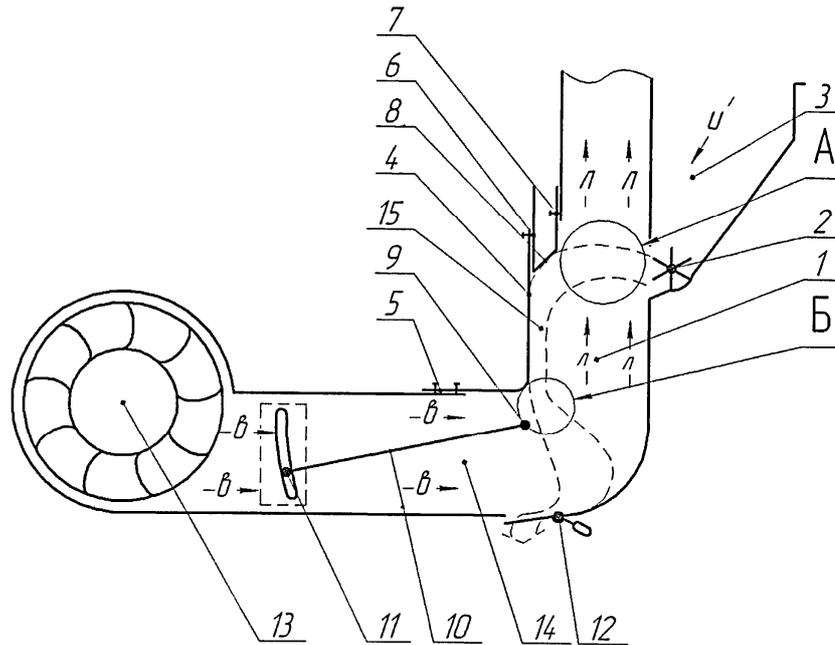


Рисунок 1.15 – Общий вид пневматического сепаратора для сыпучего материала: 1 – вертикальный пневмоканал, 2 – устройство ввода сыпучего материала, 3 – бункер, 4 – стенка кармана, 5,6,7 – фиксирующие устройства, 8 – сменная прокладка, 9 – шарнир; 10 – дефлектор, 11 – механизм регулировки положения дефлектора, 12 – клапан для вывода очищенного от примесей материала, 13 – вентилятор, 14 – нагнетательный патрубок, 15 – карман, А, Б – первый и второй участок пневмосепарации,  $v$  – воздушный поток,  $l$  – поток легких сорных примесей,  $u$  – поток очищаемого зернового материала,  $\Rightarrow$  – поток очищенного зернового материала

Данное техническое решение должно повысить качество пневмосепарации зернового вороха в вертикальном канале за счет увеличения времени обработки материала воздушным потоком. Зерновой ворох сначала обрабатывается восходящим воздушным потоком сразу после подачи в пневмоканал, потом ворох продувается воздухом на изгибе канала.

Увеличенное время обработки материала воздушным потоком, обеспеченное изогнутой формой пневмосепарирующего канала, конечно, может повысить эффективность пневмосепарации в вертикальном воздушном потоке, но обработка зернового вороха два раза последовательно в одном пневмосепарирующем канале повысит сопротивление всей пневмосистемы в целом, что может негативно отразиться на энергозатратах пневмосепарации зернового вороха. К тому же, воздушный поток, прошедший через массу обрабатываемого вороха в зоне пневмосепарации Б, захватывает и уносит с собой легковетесные примеси. Получившаяся воздушная смесь, преодолевая зерновой ворох повторно в зоне сепарации А, может оставить часть выделенных ранее примесей. К недостаткам вышеописанного изобретения можно также отнести сложность конструкции.

Один из интересных вариантов технического решения ввода зернового вороха в вертикальный пневмосепарирующий канал был запатентован в 2003 году сотрудниками Оренбургского государственного университета (рисунок 1.16) [82, 112].

Суть изобретения заключается в том, что перед подачей в пневмоканал, обрабатываемый ворох делится на несколько потоков в приемно-распределительном устройстве. После чего слои зерна вводятся по нескольким скатным поверхностям в вертикальный пневмоканал на различной высоте и с разной скоростью. Важно отметить, что для равномерного распределения зернового вороха по глубине зоны пневмосепарирования подающие поверхности необходимо устанавливать под разными углами.

В результате своих исследований автор отмечает, что испытания данной конструкции позволило достичь эффективности сепарации  $E=86,7...93,9\%$  и четкость сепарирования  $z=7,8...3,2\%$ .

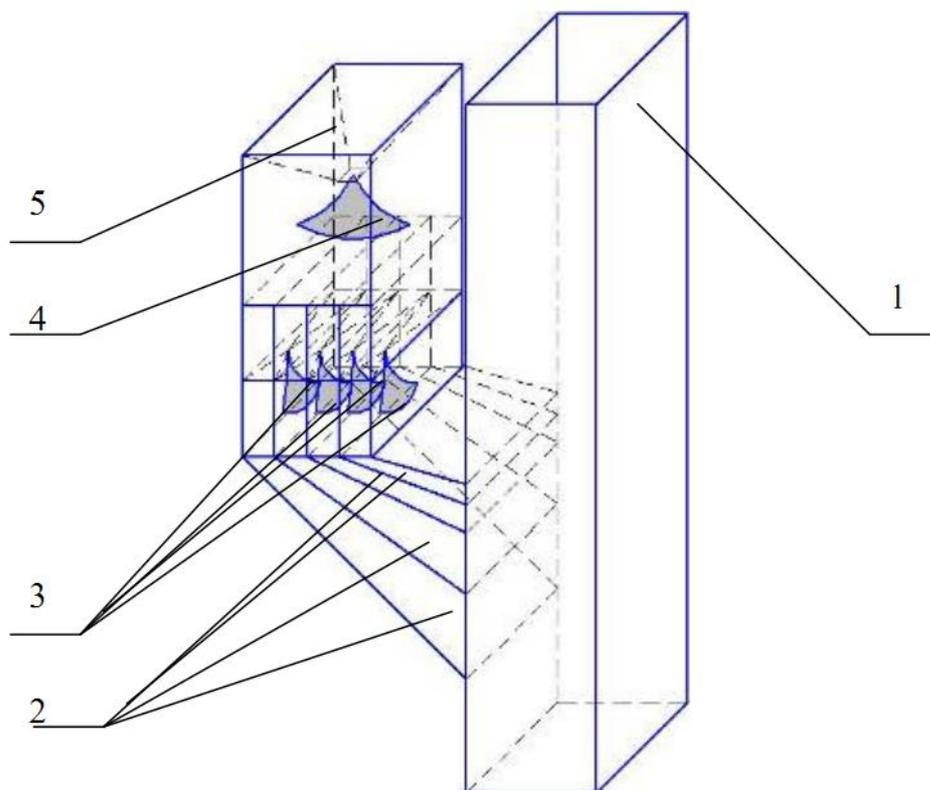


Рисунок 1.16 – Схема пневмосепаратора с предложенным питающим устройством: 1 – прямоугольный пневмосепарирующий канал; 2 – скатные лотки; 3, 4 – распределители вертикальных отсеков; 5 – бункер

Испытание описанного пневмосепаратора дали следующие результаты:

- эффективность очистки 86,7...93,9%;
- производительность пневмосепаратора разработанной конструкции увеличена на 15...25% в отличие от аналогов.

Основным недостатком вертикального пневмоканала такой конструкции являются его габариты, из-за которых применение такого устройства в качестве системы послерешетной пневмосепарации зернового вороха в универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машинах нецелесообразно.

Тавтилов И. Ш. [52] отметил, что применение питателей, обеспечивающих равномерную загрузку и распределение обрабатываемого материала в зоне сепарации, дает возможность повысить производительность вертикального пневмосепарирующего канала при сохранении необходимого качества пневмосепарации.

Таким образом, проведенный анализ работ по пневмосепарирующим системам указывает на то, что развитие вертикальных пневмоканалов сводится к со-

вершинствованию подающих устройств, которые обеспечат равномерное распределение зернового вороха в зоне пневмосепарации.

Применением питающего устройства, позволяющего равномерно распределить обрабатываемый материал по площади аспирационного канала, можно добиться повышения эффективности пневмосепарации на 12-20%.

Многие ученые уже десятилетия изучают процесс пневмосепарации в вертикальном воздушном потоке и ищут пути совершенствования конструкции такого типа каналов с целью повышения эффективности рабочего процесса.

По данным исследований некоторых ученых (П.Н. Платонов, А. И. Папченко, Б. И. Зюзьков, А. С. Матвеев, С. С. Шкляров), частицы, введенные в канал, имеют начальную скорость, близкую к нулю, а их траектории представляют собой прямые линии, направленные вверх или вниз из точки первоначального положения. Другие же ученые (А. Я. Малис, В. В. Гортинский, А. Б. Демский и др.) исследовали подачу зернового вороха в канал аспирации с питающих устройств. По их данным зерно, подаваемое в канал, имеет начальную скорость, характеризуемую величиной и направлением.

А.С. Матвеев [65] в своих трудах приводит значения скорости ( $V = 0,1 \dots 0,3$  м/с) и угла  $\alpha = 30 \dots 45^\circ$ , которые считает рациональными для подачи зернового вороха в вертикальный пневмоканал. К тому же, он систематизировал результаты изучения вертикальных пневмосепарирующих каналов, имеющих различные формы поперечного сечения. Им было отмечено, что восходящий поток воздуха эффективнее работает в канале с круглым поперечным сечением при зерновой нагрузке до  $3,5 \dots 4$  кг/(см<sup>2</sup>·ч), а когда удельная зерновая нагрузка превышает значение в  $4$  кг/(см<sup>2</sup>·ч), то воздушный поток более эффективно работает в пневмоканале прямоугольной формы.

Особый интерес представляют труды А.Я. Малиса [64], в них наиболее подробно описана теория процесса пневмосепарирования. В своих работах он описал взаимосвязи производительности, угла ввода, начальной скорости частиц зернового вороха, скорости воздушного потока, геометрических параметров пневмоканала и их влияние на эффективность сепарации зернового материала.

Сычугов Н.П., Бурков А.И. и Гортинский В.В [6, 33, 103] в своих работах отмечают, что при повышении продолжительности обработки материала воздушным потоком и значительном удалении частиц друг от друга повышается качество воздушной очистки. Увеличить продолжительность взаимодействия частиц сыпучего зернового материала с восходящим потоком воздуха возможно, совершенствуя конструкцию вертикального пневмоканала, а увеличение расстояний между частицами зернового вороха можно добиться применением различных питающих устройств.

В своих научных трудах А.Б. Демский и В.В. Гортинский [33] описывают определенные предложения по усовершенствованию вертикальных пневмоканалов. В работе отмечается, что совершенствование пневмосистем связано с разработкой новых типов приемно-распределительных устройств (вибротокков, аэрожелобов, питающих валиков и т.д.), обеспечивающих равномерное распределение зерновой смеси в зоне пневмосепарации и облегчающих сортирование вороха.

А.И.Бурков, Н.П.Сычугов [10], А.Б. Демский, В.Ф. Веденьев [39], В.Л. Злочевский, А.Х. Тегельбаум [48], Н.И. Косилов, С.А. Аристов [61], А. А. Панов [80], А.В. Пивень, А.В. Миронов [77, 91] и другие известные ученые отмечают в своих работах, что равномерность загрузки пневмосепарирующих каналов значительно влияет на эффективность работы воздушно-решетных сепараторов.

Несмотря на то, что различные исследователи имеют различные убеждения о преимуществе использования горизонтальных, наклонных или вертикальных пневмоканалов [4, 9, 58, 59, 60, 56, 57, 95, 107, 129] в качестве дорешетной аспирации, они сходятся во мнении о том, что в качестве аспирационных каналов послерешетной очистки необходимо использовать вертикальные пневмоканалы. Хотя такие каналы и имеют более высокую энергоемкость в сравнении с другими, они выигрывают за счет более высокой четкости сепарирования.

Исходя из вышесказанного, такие ученые как В.И. Анискин [2], А.И. Бурков, Н.П. Сычугов, Б.Г. Плехов [9, 10], В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин [33], В.М. Дринча, Л.М. Суконкин [41], Ю.В. Еров, Д.З. Салахиев, А.А. Железнов [45], И.Е. Кожуховский [53], А.Я. Малис, А.Р. Демидов [64] и многие

другие отдают предпочтение пневмосепарированию зернового вороха в аспирационном канале вертикальной конструкции.

#### **1.4 Выводы.**

Из проделанного анализа следует, что повышение эффективности работы системы послерешетной пневмосепарации двухаспирационной воздушно-решеной зерноочистительной машины является актуальным направлением совершенствования машин для послеуборочной обработки зерновых и зернобобовых культур.

Проведя анализ технологий послеуборочной обработки зерна, пневмосистем зерноочистительных машин и работ по пневмосепарации мы пришли к следующим выводам:

- наиболее перспективной технологией послеуборочной обработки зерна является фракционная технология, позволяющая минимизировать механические воздействия на зерновки;

- применение современных универсальных воздушно-решетных сепараторов позволяет снизить количество машин в зерноочистительной линии и вести подготовку как товарного, так и семенного зерна;

- послерешетная аспирация большинства универсальных сепараторов выполнена в виде вертикального пневмосепарирующего канала, в котором применяется всасывающий воздушный поток;

- применение центробежных вентиляторов в пневмосистемах воздушно-решетных зерноочистительных машин обеспечивает возможность эффективного поддержания технологически необходимых скоростей в пневмоканалах сепаратора в широком диапазоне изменения производительности;

- использование одного воздушного потока, последовательно проходящего через пневмоканалы второй и первой аспирации и их осадочные камеры, позволяет оптимизировать энергозатраты при пневмосепарации;

- развитие послерешетной воздушной очистки сводится к совершенствованию подачи обрабатываемого вороха в зону пневмосепарации;

- применение питателя, позволяющего равномерно распределить зерновой ворох по площади пневмосепарирующего канала, позволяет повысить эффективность пневмосепарации на 15 – 20%.

Исходя из проделанного обзора, были сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, представленные во введении.

## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОСЛЕРЕШЕТНОЙ АСПИРАЦИИ ДВУХАСПИРАЦИОННОЙ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

### 2.1 Возможность повышения эффективности послерешетной пневмосепарации за счет совершенствования способа ввода зернового вороха в вертикальный пневмосепарирующий канал

Пневмосепарация зернового вороха в вертикальном воздушном потоке является сложным процессом с множеством переменных. На траектории полета частиц в вертикальном пневмоканале влияют различные силы [33,38,64]. При теоретическом анализе невозможно учесть все возможные параметры. Исходя из этого, известные математические описания процесса взаимодействия воздушного потока с зерновой смесью основываются на законах классической механики с большим количеством упрощений и допущений. Такой подход требует большого количества численных расчетов и времени, что зачастую приводит к неточным результатам. Тем не менее, ученые теоретически определили параметры, влияющие на процесс пневмосепарации зернового вороха в вертикальном воздушном потоке.

Принимая к сведениям известные теории по пневмосепарации в восходящем воздушном потоке [40, 57, 71, 90], для математического моделирования вывели систему дифференциальных уравнений 2.1, описывающие траекторию полета частицы зернового вороха в зоне пневмосепарации.

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k\dot{x}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \\ \ddot{y} = -k\dot{y}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} - g + kV^2 \end{cases} \quad (2.1)$$

где  $x$  и  $y$  – перемещения частицы по осям координат, м;

$k$  – коэффициент парусности частицы,  $\text{м}^{-1}$ ;

$V$  – скорость частицы относительно воздушного потока, м/с.

Для более точного определения параметров процесса сортирования зерновой смеси в вертикальном пневмоканале с восходящим воздушным потоком расчеты производили с помощью программного обеспечения Maple 14.

Численное решение данной системы с помощью программного обеспечения Maple 14 позволяет построить траектории полета частиц, имеющих различные характеристики и начальные условия ввода.

Отметим тот факт, что в зависимости от начальной скорости траектории движения частиц в аспирационном канале могут быть двух типов. Первым из них является обычная траектория движения тела в поле силы тяжести. Вторая – движение с отражением от дальней стенки канала. Алгоритм определения траекторий движения достаточно прост и заключается в следующем (Приложение Г). Для выделенного из процедуры решения уравнения зависимости  $y(t)$  решается уравнение, из которого определяются время полета  $T$  при  $y(t) = y_n$ , где  $y_n$  – вертикальная координата нижней части аспирационного канала. Затем это время подставляется в выделенное из процедуры решения уравнение зависимости  $x(T)$ . Если же  $x(T)$  оказывается больше значения горизонтальной координаты задней части аспирационного канала  $x_k$ , то решается уравнение  $x(t) = x_k$ , из которого определяются время полета  $T_1$  до задней части аспирационного канала. Это значение подставляется в функцию  $y(t)$  и определяется вертикальная координата точки попадания на заднюю стенку, а также горизонтальная и вертикальная составляющие скорости. С этого момента система (2.1) решается заново для определения отраженной траектории движения. Начальные параметры полета при этом учитывают коэффициенты отражения.

Возможные траектории полёта представлены на рисунке 2.1.

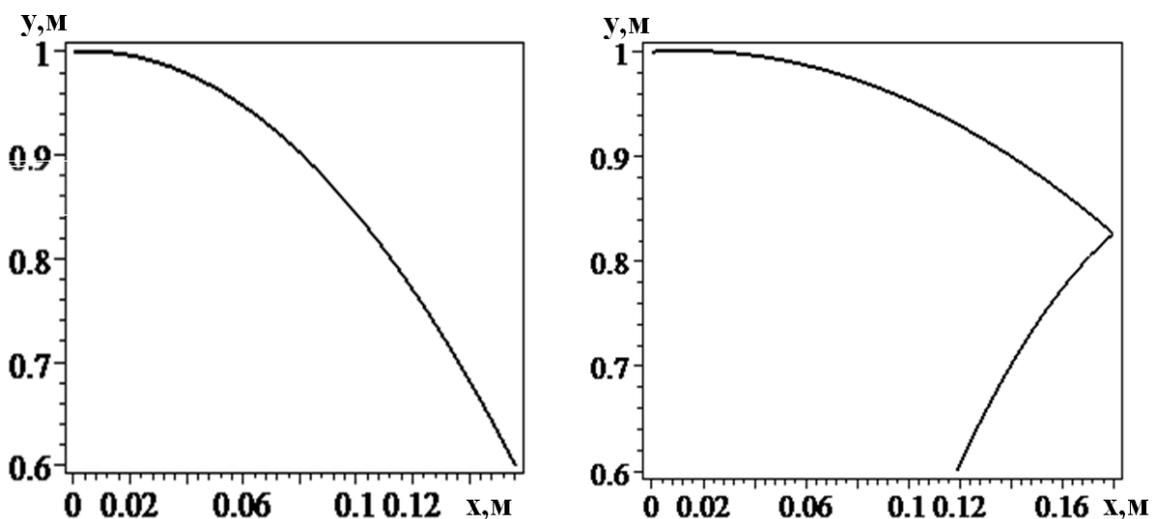


Рисунок 2.1 – Траектории движения частицы в воздушном канале

Для моделирования пневмосепарации зернового вороха в восходящем воздушном потоке был выбран процесс с подачей обрабатываемого материала в пневмоканал сходом с колеблющейся плоскости (решета).

Рассмотрим абсолютное движение зерна по сепарирующей решетке, колеблющейся по закону  $z = r \sin \omega t$ , расположенному под углом  $\alpha$  к горизонту (рисунок 2.2).

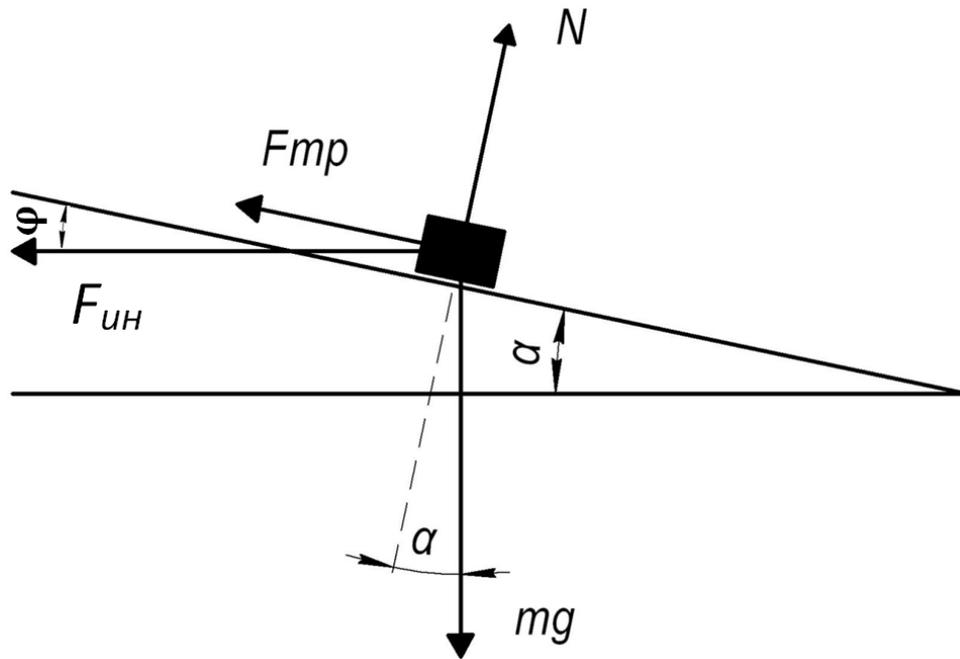


Рисунок 2.2 – Схема сил, действующих на частицу при работе решета

Действующими силами являются: вес  $mg$ ;

сила инерции  $F_{ин} = m\omega^2 \sin \omega t$ ;

нормальная реакция  $N = mg \cos \alpha + m\omega^2 \sin \omega t \cdot \sin \alpha$ ;

сила трения  $F_{тр} = fN = f(mg \cos \alpha + m\omega^2 \sin \omega t \cdot \sin \alpha)$ ,

где:  $g$  – ускорение свободного падения;

$N$  – сила нормальной реакции;

$f$  – коэффициент трения;

$m$  – масса частицы зернового вороха;

$r$  – радиус кривошипа;

$\omega$  – угловая скорость кривошипа;

$t$  – время.

Для упрощения расчетов угол направленности колебаний  $\varphi$  приравняем к углу наклона решета  $\alpha$ .

Запишем теорему об изменении количества движения частицы зернового вороха в проекции на ось, совпадающую с направлением его движения:

$$\frac{d(mv)}{dt} = mg \sin \alpha \mp f(mg \cos \alpha + m r \omega^2 \sin \omega t \cdot \sin \alpha). \quad (2.2)$$

Знак силы трения зависит от направления относительной скорости движения зерновки. После дифференцирования получим:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha \mp f(mg \cos \alpha + m r \omega^2 \sin \omega t \cdot \sin \alpha) - \frac{dm}{dt} v. \quad (2.3)$$

В процессе движения по сепарирующей поверхности решета масса зернового вороха изменяется по закону:

$$m = m_0 e^{-\mu x},$$

где  $m_0$ —исходная масса вороха,

$\mu$ —коэффициент потери массы на решете (аналог коэффициента сепарации),

$1/\mu$ ,

$x$ —координата по направлению движения.

Тогда

$$\frac{dm}{dt} = -m_0 \mu e^{-\mu x} \cdot \frac{dx}{dt} = -m_0 \mu e^{-\mu x} \cdot v.$$

Подставляя значение массы и ее производной в уравнение (2.3), получим:

$$\frac{dv}{dt} = g \sin \alpha \mp f(g \cos \alpha + r \omega^2 \sin \omega t \cdot \sin \alpha) + \mu v^2. \quad (2.4)$$

Добавляя к уравнению (2.4) начальное условие  $v(0) = v_0$ , получаем задачу Коши для обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка.

Особенностью данной задачи является факт изменения величины нормальной реакции и направления силы трения в зависимости от знака относительной скорости частиц зернового вороха. В связи с этим, данную задачу необходимо решать пошаговым способом, используя конечно–разностный аналог уравнения

(2.4). Производную  $\frac{dv}{dt}$  представим в виде:

$$\frac{dv}{dt} \approx \frac{v(t_{i+1}) - v(t_i)}{h}, \text{ где } h = t_{i+1} - t_i \text{ — шаг по времени.}$$

Тогда уравнение (2.4) примет вид:

$$\frac{v(t_{i+1}) - v(t_i)}{h} = g \sin \alpha \mp f(g \cos \alpha + r\omega^2 \sin \omega t_i \cdot \sin \alpha) + \mu v(t_i)^2, \quad (2.5)$$

а для вычислительного алгоритма:

$$v(t_{i+1}) = v(t_i) + h \left[ g \sin \alpha \mp f(g \cos \alpha + r\omega^2 \sin \omega t_i \cdot \sin \alpha) + \mu v(t_i)^2 \right]. \quad (2.6)$$

Если относительная скорость зерна  $v(t_i) - r\omega \cos \omega t_i > 0$ , то уравнение (2.6) просчитывается со знаком «-», в противном случае – со знаком «+».

Перейдем к численной реализации этой задачи (Приложение А).

Для расчетов угловую скорость приняли  $\omega = 40 \text{ с}^{-1}$ , сопоставимую с режимом работы решетного стана большинства современных зерноочистительных машин.

Пусть радиус кривошипа  $r = 0,015 \text{ м}$ ,

угловая скорость  $\omega = 40 \text{ с}^{-1}$ ,

угол наклона решета  $\alpha = 9^\circ$ ,

шаг времени для расчета  $h = 0,0002 \text{ с}$ ,

коэффициент потери массы на решете  $\mu = 0,25 \text{ 1/м}$ ,

ускорение свободного падения  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Сначала, определим величину нормальной реакции (рисунок 2.3)

$$N = mg \cos \alpha + mr\omega^2 \sin \omega t \cdot \sin \alpha.$$

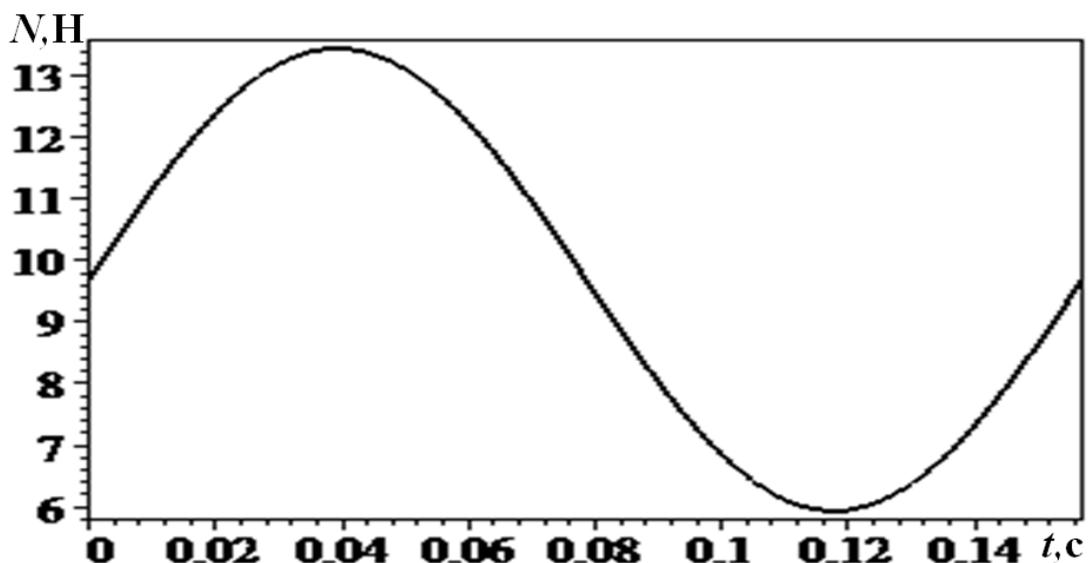


Рисунок 2.3 – Изменение нормальной реакции за период колебаний

Как видно из рисунка 2.3, значения нормальной реакции остаются положительными за все время движения зерновой массы по решетке, что означает отсутствие отрыва его от поверхности решетчатого стана.

Далее формируется оператор цикла, который в сочетании с условным оператором, проверяющим знак относительной скорости движения, последовательно определяет абсолютную скорость движения зернового вороха.

На рисунке 2.4 представлена зависимость абсолютной скорости от времени при начальной скорости движения  $v(0)=0,3$  м/с. Как видно из этого графика, через промежуток времени менее 1 секунды характер изменения скорости стабилизируется в диапазоне 0,33–0,5 м/с.

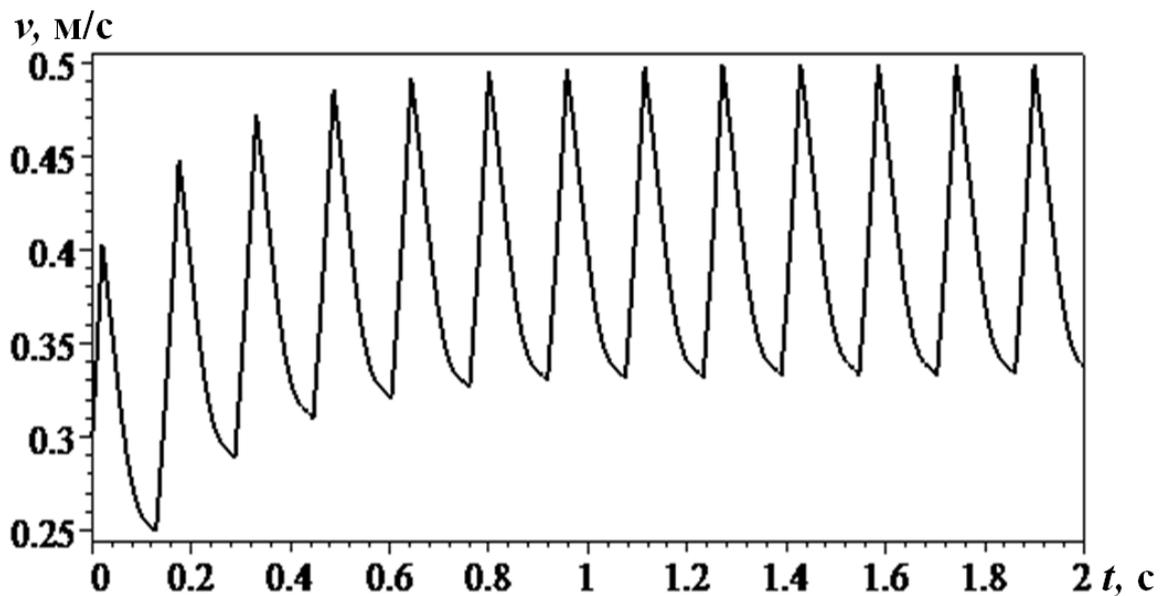


Рисунок 2.4 – Зависимость абсолютной скорости движения от времени

Определив скорость движения зерна по колеблющемуся решетке в зависимости от времени, мы подставили её в виде диапазона в программу и произвели расчет. В результате численного решения системы дифференциальных уравнений 2.1 полета частицы с учетом сопротивления воздуха при наличии восходящего потока, имеющего скорость  $V$  (Приложение В), получили траектории движения частиц с найденным разбросом скоростей 0,33–0,5 м/с (рисунок 2.5).

На рисунке 2.5 показаны траектории движения частиц с найденным разбросом скоростей 0,33–0,5 м/с и коэффициентом парусности из интервала 0,07–0,14 1/м при скорости восходящего потока воздуха 9 м/с. Расчеты показали, что

частицы с коэффициентом парусности больше 0,12 выдуваются в верхнюю часть аспирационного канала.

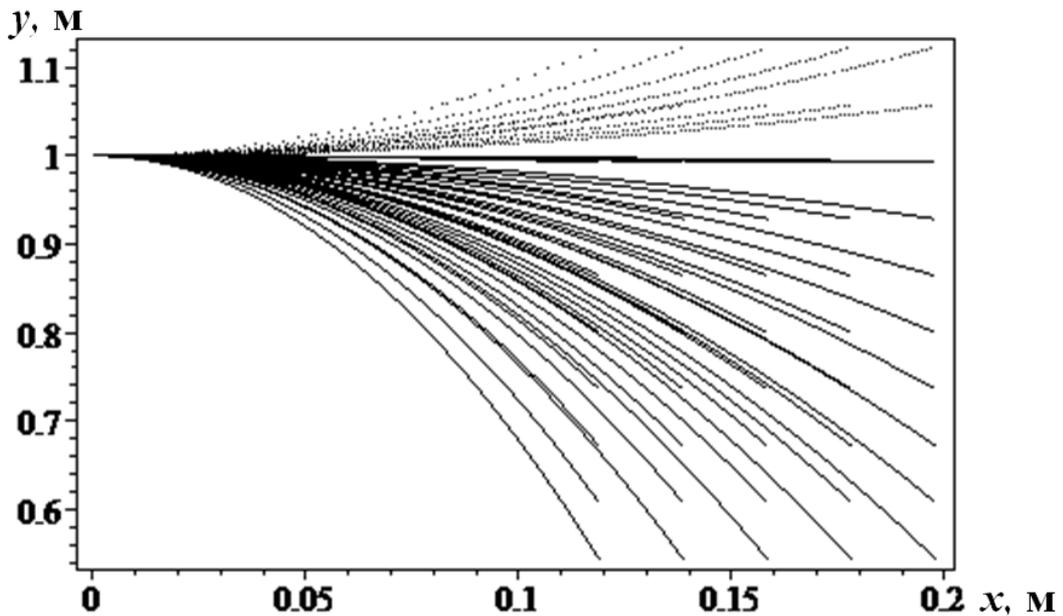


Рисунок 2.5 – Полет массива частиц

На рисунке 2.5 видно, что частицы зернового вороха, подаваемые в пневмосепарирующий канал сходом с поверхности решета, распределяются более равномерно только в области, противоположной точке ввода. А непосредственно в зоне загрузки масса поступает в канал концентрированным потоком, своего рода струей, которая будет препятствовать работе восходящего воздушного потока.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что для повышения эффективности пневмосепарации в системах послерешетных воздушных очисток большинства серийных сепараторов, в которых подача обрабатываемого вороха на вторую аспирацию осуществляется сходом с колеблющейся поверхности, можно за счет более равномерного распределения зернового вороха по площади пневмоканала.

Большинство исследователей пришли к выводу, что на траекторию полёта частиц зернового вороха в пневмоканале оказывают влияния такие параметры как парусность компонентов смеси, начальные скорость и угол ввода обрабатываемого материал в зону сепарации и скорость восходящего воздушного потока [62,64]. Скорость восходящего воздушного потока ограничена качеством обрабатываемого материала и величиной потерь полноценных зерен в фураж. Па-

русность компонентов вороха, в свою очередь, зависит от состава обрабатываемой смеси, на которую мы не можем повлиять.

Для того, чтобы траектории частиц заполняли пневмоканал равномерно по глубине, необходимо изменять один или несколько параметров ввода материала в зону пневмосепарации.

Можно изменять угол ввода, но это доставит некоторые трудности при модернизации имеющихся машин, да и механизм подачи будет иметь сложную конструкцию, что негативно скажется на надёжности зерноочистительной машины в целом.

Для того, чтобы повысить равномерность распределение зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала в системе послерешетной аспирации современных зерноочистительных машин, необходимо подавать частицы обрабатываемого вороха в зону пневмосепарации с различной скоростью, как показано на рисунке 2.6.

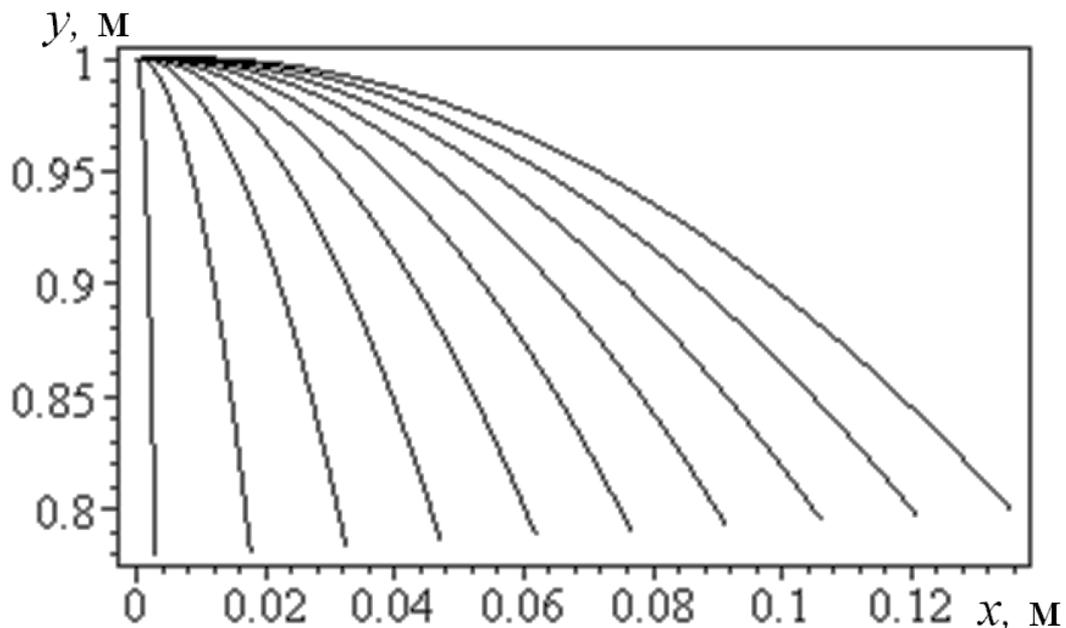


Рисунок 2.6 – Расчетные траектории частиц зернового вороха подаваемых в пневмоканал при начальных условиях: парусность 0,06, скорость воздушного потока 9 м/с, угол ввода 9°, начальная скорость от 0,1 до 0,5 м/с с шагом 0,05 м/с

## 2.2 Теоретические предпосылки повышения равномерности распределения зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала послерешетной очистки

Ранее мы определили, что скорость ввода частиц зернового вороха в пневмоканал послерешетной аспирации при условии загрузки сходом с поверхности колеблющегося решетного стана (наклонная гладкая поверхность) варьирует от 0,3 до 0,5 м/с в зависимости от направления движения решета.

Отметим, что этот диапазон не зависит от скорости подачи вороха на решетный стан. На рисунке 2.7 представлена зависимость абсолютной скорости от времени при начальной скорости движения  $v(0)=0,7$  м/с. Как видно из графика, через тот же промежуток времени, что и при  $v(0)=0$  м/с характер изменения скорости стабилизируется в том же диапазоне.

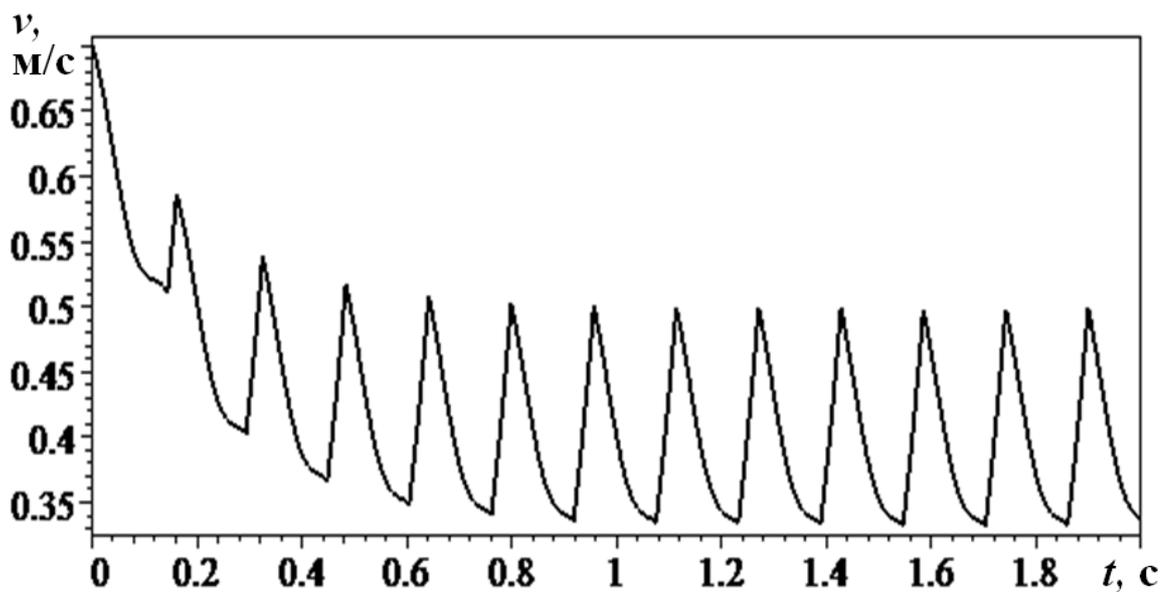


Рисунок 2. 7 – Зависимость абсолютной скорости движения от времени

Достаточный интерес вызывает наложение графиков абсолютных скоростей движения зерновой массы и решета, результат которого представлен на рисунке 2.8.

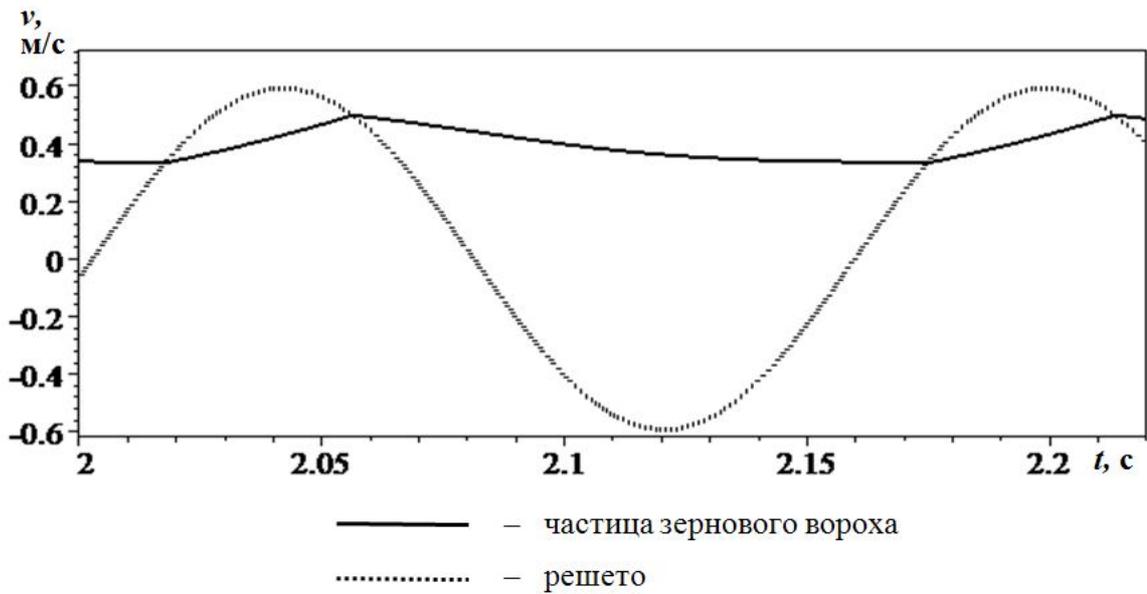


Рисунок 2.8 – Абсолютные скорости движения решета и вороха

Как видно из этого графика, на участках, где скорость решета превышает скорость зерновой массы, и сила трения действует по направлению движения, скорость увеличивается, а в противном случае – уменьшается. Отметим, что временные промежутки уменьшения скорости больше, чем промежутки ее возрастания, что будет достаточно важно при дальнейшем анализе движения.

Для сопоставления изменения скорости частицы зернового вороха в зависимости от их положения на решете проведем моделирование закона его относительного движения.

Для этого заменим в формуле (2.5) абсолютную скорость движения частицы вороха на сумму относительной и переносной скоростей  $v_{\text{отн}} + v_{\text{пер}}$ .

$$\frac{d(v_{\text{отн}} + v_{\text{пер}})}{dt} = g \sin \alpha \mp f(g \cos \alpha + r\omega^2 \sin \omega t \cdot \sin \alpha) + \mu(v_{\text{отн}} + v_{\text{пер}})^2. \quad (2.7)$$

Значение переносной скорости определяется по формуле:

$$v_{\text{пер}} = r\omega \cos \omega t \cdot \cos \alpha,$$

что позволяет представить формулу (2.7) в виде:

$$\frac{d(v_{\text{отн}} + r\omega \cos \omega t \cdot \cos \alpha)}{dt} = g \sin \alpha \mp f(g \cos \alpha + r\omega^2 \sin \omega t \cdot \sin \alpha) + \mu(v_{\text{отн}} + r\omega \cos \omega t \cdot \cos \alpha)^2,$$

ИЛИ

$$\frac{dv_{\text{отн}}}{dt} = r\omega^2 \sin \omega t \cdot \cos \alpha + g \sin \alpha \mp f(g \cos \alpha + r\omega^2 \sin \omega t \cdot \sin \alpha) + \mu(v_{\text{отн}} + r\omega \cos \omega t \cdot \cos \alpha)^2 \quad (2.8)$$

Обозначая через  $x$  относительную координату частицы зернового вороха, перейдем к конечно–разностному аналогу последнего уравнения. Относительная координата и относительная скорость представляются в виде:

$$v(t_i) \approx \frac{x(t_{i+1}) - x(t_i)}{h},$$

$$\frac{dv}{dt} \approx \frac{x(t_{i+2}) - 2x(t_{i+1}) + x(t_i)}{h^2}.$$

Подставляя последние выражения в формулу (2.8), получаем

$$\frac{x(t_{i+2}) - 2x(t_{i+1}) + x(t_i)}{h^2} = r\omega^2 \sin \omega t \cdot \cos \alpha + g \sin \alpha \mp f(g \cos \alpha + r\omega^2 \sin \omega t \cdot \sin \alpha) + \mu \left( \frac{x(t_{i+1}) - x(t_i)}{h} + r\omega \cos \omega t \cdot \cos \alpha \right)^2,$$

а для вычислительного алгоритма:

$$x(t_{i+2}) = 2x(t_{i+1}) - x(t_i) + h^2 \left[ \begin{array}{l} r\omega^2 \sin \omega t_i \cdot \cos \alpha + g \sin \alpha \mp \\ \mp f(g \cos \alpha + r\omega^2 \sin \omega t_i \cdot \sin \alpha) + \\ + \mu \left( \frac{x(t_{i+1}) - x(t_i)}{h} + r\omega \cos \omega t_i \cdot \cos \alpha \right)^2 \end{array} \right]. \quad (2.9)$$

Добавляя к уравнению (2.9) начальные условия

$$x(t_0) = 0 \text{ и } x(t_1) = x(t_0) + v_0 h,$$

получаем задачу Коши для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка.

Как и ранее (Приложение Б), формируется оператор цикла, который в сочетании с условным оператором, проверяющим знак относительной скорости движения, последовательно определяет относительную координату и относительную скорость движения зернового вороха.

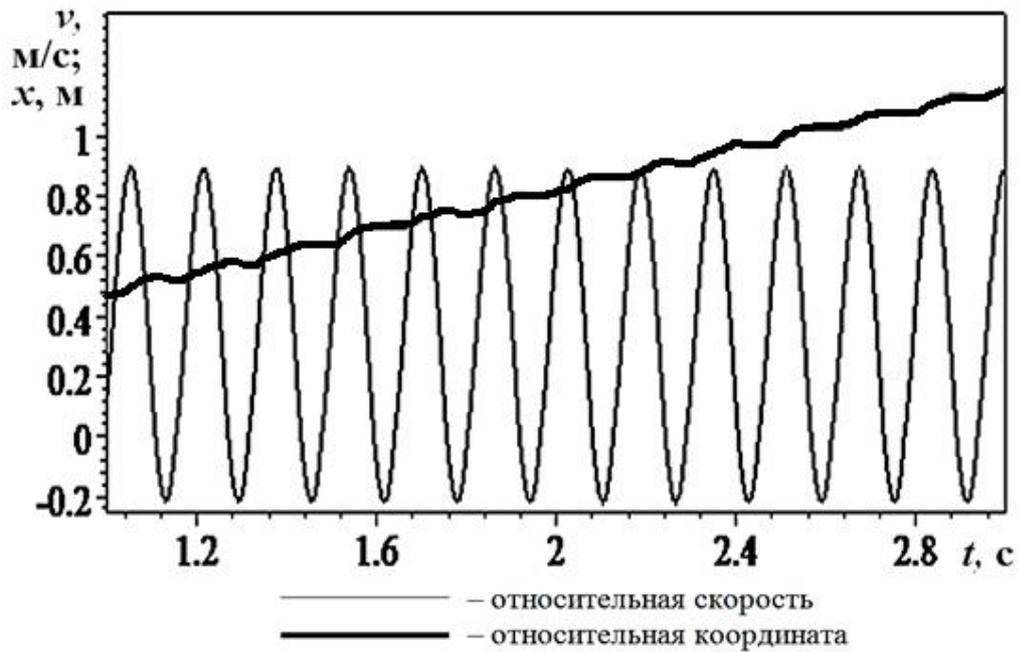


Рисунок 2.9 – Зависимость относительной координаты и относительной скорости движения вороха от времени

На рисунке 2.9 представлена зависимость относительной координаты и относительной скорости движения элемента вороха от времени при начальной скорости движения  $v(0)=0,4$  м/с. Как видно из этого графика, через промежуток времени 3 с частица зернового вороха достигает конца решета длиной 1,15 м.

$$\text{Исходя из уравнения } \frac{v(t_{i+1}) - v(t_i)}{h} = g \sin \alpha \mp f(g \cos \alpha + r\omega^2 \sin \omega t_i \cdot \sin \alpha) + \mu v(t_i)^2,$$

можно отметить, что скорость схода частиц обрабатываемого вороха зависит от таких параметров, как угол наклона решета  $\alpha$ , радиус кривошипа  $r$ , угловая скорость кривошипа  $\omega$ , коэффициент трения материала о поверхность  $f$  и коэффициент потери массы на решете  $\mu$ .

Теоретические исследования движения зерна по наклонной колеблющейся поверхности показали, что при изменении радиуса кривошипа  $r$  с 5 до 25 мм. (рисунок 2.10) скорости движения зерна по решету увеличиваются с 0,1 – 0,18 м/с до 0,54 – 0,72 м/с, а разница максимальной и минимальной скорости в диапазоне сохраняется и равна 0,17 м/с.

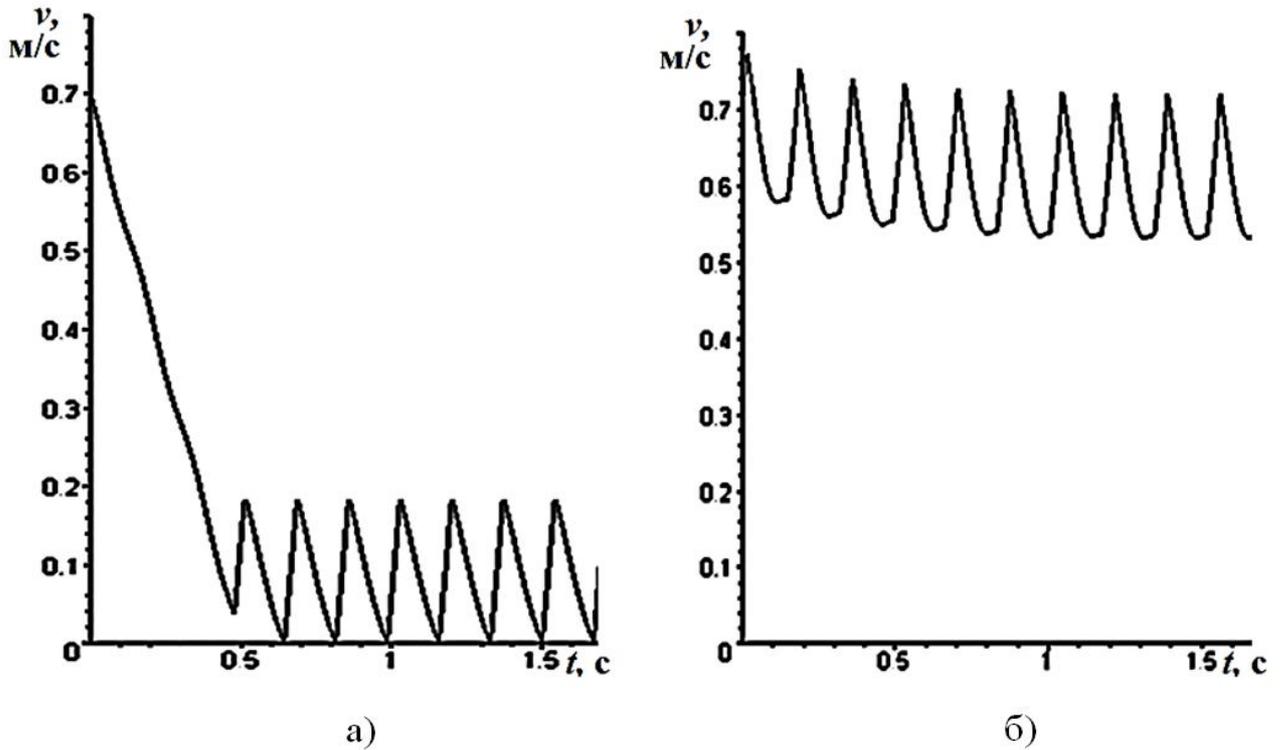


Рисунок 2.10 – Абсолютная скорость движения массы вороха по колеблющейся наклонной плоскости при частоте колебаний  $n=350 \text{ м}^{-1}$ : а) радиус кривошипа  $r=0,005 \text{ м}$ ; б) радиус кривошипа  $r=0,025 \text{ м}$

Изменение скорости движения частиц по решетке с сохранением диапазона не позволит повысить равномерность загрузки пневмоканала по глубине.

Расчеты показали, что изменение угловой скорости кривошипа и угла наклона поверхности тоже не приводит к необходимому значению скорости подачи зерна для обеспечения равномерной загрузки пневмосепарирующего канала по площади.

В ходе теоретических исследований было установлено, что на характер изменения скорости на решетке влияет коэффициент трения (рисунок 2.11).

Графики, изображенные на рисунке 2.11, показывают, что при малом значении коэффициента трения зерна о наклонную колеблющуюся поверхность (слева) скорость зернового вороха изменяется в небольшом интервале ( $0,49 - 0,56 \text{ м/с}$ ). При увеличении коэффициента  $f$  до  $f=0,4$  скорость зернового вороха  $v$  несколько снижается с  $0,49...0,56$  до  $0,14...0,43 \text{ м/с}$ , а разность между максимальной и минимальной скоростью  $\Delta v$  увеличивается с  $0,07$  до  $0,29 \text{ м/с}$ .

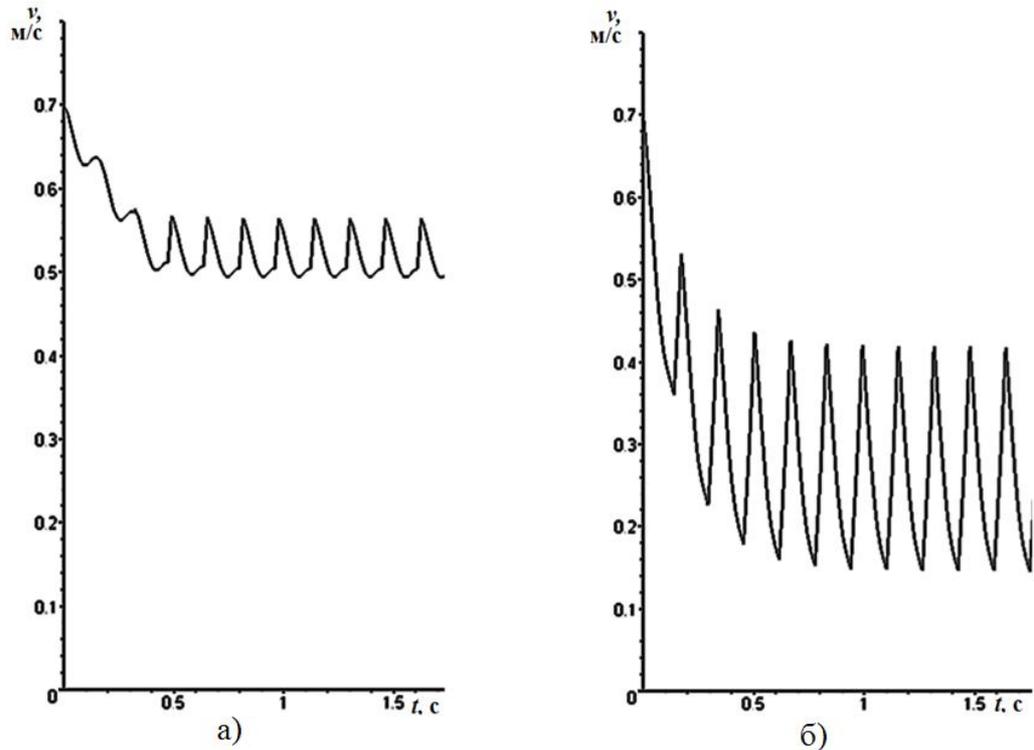


Рисунок 2.11 – Характер изменения скорости частицы зернового вороха на решетке:  
 а) коэффициент трения  $f=0,2$ ; б) коэффициент трения  $f=0,4$

Чтобы достичь необходимых скоростей частиц зернового вороха при вводе в зону пневмосепарации, обеспечивающих равномерное распределение по глубине пневмоканала, необходимо изменить конфигурацию подающей поверхности.

Для решения поставленной задачи была выдвинута научная гипотеза, которая гласит, что если использовать питающий лоток со ступенчатой скатной поверхностью, то, за счет соударения зерновок о стенки уступов и внутреннего взаимодействия в слое вороха, можно добиться необходимого диапазона скоростей ввода частиц для равномерной загрузки пневмосепарирующего канала по площади.

Рассмотрим теперь влияние уступа на характер движения частиц зернового вороха (рисунок 2.12) на некотором промежутке времени, равном периоду колебаний. Период колебаний составляет:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 0,157 c,$$

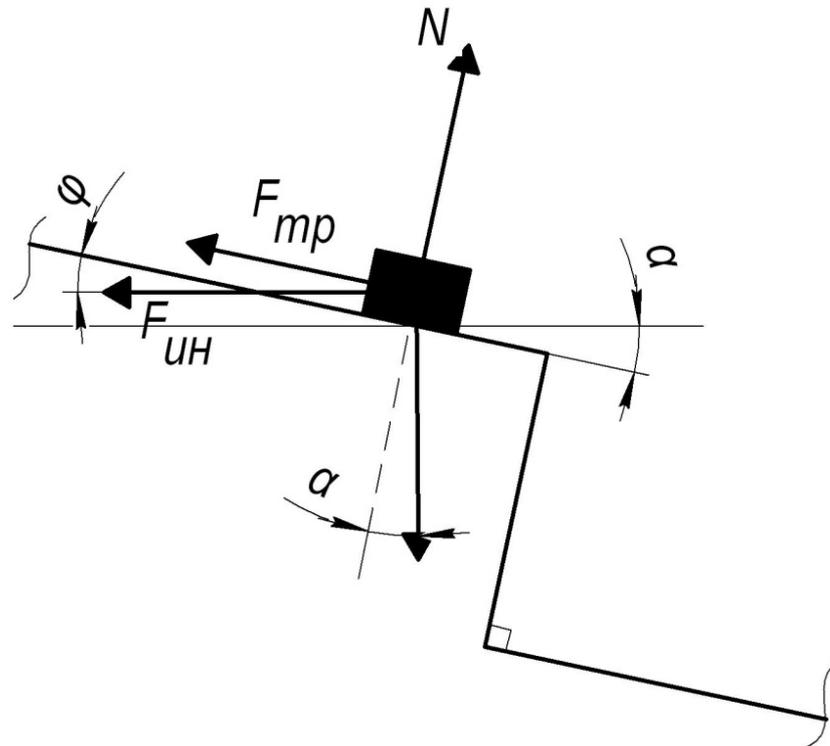


Рисунок 2.12 – Движение частицы по ступенчатой поверхности

Рисунок 2.13 представляет относительную скорость движения зернового вороха за  $0,157$  с на временном промежутке  $[2,018$  с;  $2,175$  с], причем на границах этого промежутка относительная скорость равна нулю. Если частица зерновой смеси, находясь на краю уступа, имеет отрицательную относительную скорость, то она не слетает с него и (рисунок 2.14 а), следовательно, продолжает движение, как по гладкому лотку.

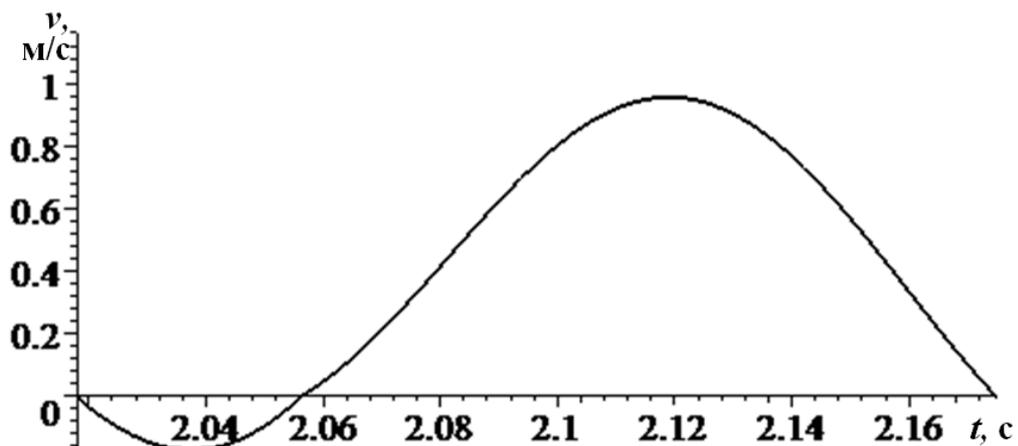


Рисунок 2.13 – Относительная скорость за период колебаний

Из периода колебания это составляет  $2,055 - 2,018 = 0,037$ , или  $23,57\%$ . Начиная с момента времени  $2,055$  с частицы слетают с уступа (рисунок 2.14 б).

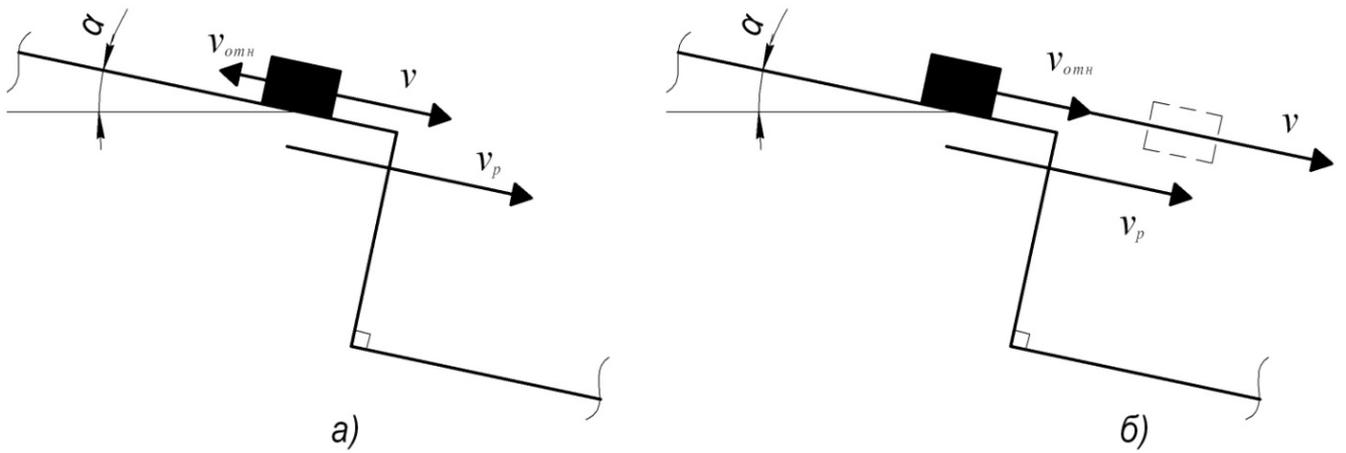


Рисунок 2.14 – Движение частицы зернового вороха по ступенчатой поверхности

Расположим ось  $x$  по направлению относительного движения зерновой массы, а ось  $y$  – ей перпендикулярно. Используя систему уравнений полета частицы

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k\dot{x}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \\ \ddot{y} = -k\dot{y}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} - g \end{cases}, \quad 2.1.$$

преобразуем ее в систему относительного движения. Проекции абсолютных скоростей на оси координат представляются в виде:

$$\dot{x} = \dot{x}_{\text{отн}} + r\omega \cos \omega t \cdot \cos \alpha, \quad \dot{y} = \dot{y}_{\text{отн}} - r\omega \cos \omega t \cdot \sin \alpha.$$

Проекции абсолютных ускорений на оси координат будут иметь вид:

$$\ddot{x} = \ddot{x}_{\text{отн}} - r\omega^2 \sin \omega t \cdot \cos \alpha, \quad \ddot{y} = \ddot{y}_{\text{отн}} + r\omega^2 \sin \omega t \cdot \sin \alpha.$$

Тогда уравнение полета примет вид:

$$\begin{cases} \ddot{x}_{\text{отн}} - r\omega^2 \sin \omega t \cdot \cos \alpha = -k(\dot{x}_{\text{отн}} + r\omega \cos \omega t \cdot \cos \alpha) \cdot \\ \cdot \sqrt{(\dot{x}_{\text{отн}} + r\omega \cos \omega t \cdot \cos \alpha)^2 + (\dot{y}_{\text{отн}} - r\omega \cos \omega t \cdot \sin \alpha)^2} + g \sin \alpha \\ \ddot{y}_{\text{отн}} + r\omega^2 \sin \omega t \cdot \sin \alpha = -k(\dot{y}_{\text{отн}} - r\omega \cos \omega t \cdot \sin \alpha) \cdot \\ \cdot \sqrt{(\dot{x}_{\text{отн}} + r\omega \cos \omega t \cdot \cos \alpha)^2 + (\dot{y}_{\text{отн}} - r\omega \cos \omega t \cdot \sin \alpha)^2} - g \cos \alpha \end{cases}. \quad (2.10)$$

Начальные условия:  $x_{\text{отн}}(0) = 0, y_{\text{отн}}(0) = h, \dot{x}_{\text{отн}}(0) = v_{\text{отн}}, \dot{y}_{\text{отн}}(0) = 0$ .

Численное решение представленной задачи позволяет сопоставить относительные координаты и скорости движения частиц зернового вороха с их относи-

тельными и переносными скоростями в одном периоде колебания. Результаты проведенных вычислений (Приложение Е) представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристики слета с уступа

Время схода	$v_{\text{отн}}$ схода	$x_{\text{отн}}$ точки падения	$v_{\text{отн}}$ точки падения
2,06	0	0,01	0,76
2,07	0,23	0,02	0,98
2,08	0,35	0,025	0,96
2,09	0,6	0,03	0,98
2,1	0,8	0,033	0,9
2,11	0,9	0,03	0,7
2,12	0,95	0,03	0,46
2,13	0,9	0,02	0,22
2,14	0,8	0,15	0,03
2,15	0,6	0,007	-0,3
2,16	0,35	-0,0002	-0,24
2,17	0,17	-0,003	-0,2
2,175	0	-0,006	-0,2

Из таблицы 2.1 видно, что частицы, сходящие с уступа в промежуток времени [2,06 с; 2,14 с] имеют положительную относительную скорость и после приземления на нижнюю часть уступа, уменьшают свою абсолютную скорость движения (рисунок 2.15 (положение 1)). Процент таких частиц составляет  $(2,14 - 2,06) \cdot 100 / 0,157 = 51$  %. Частицы, сходящие с уступа в промежуток времени [2,15 с; 2,175 с] имеют отрицательную относительную скорость и после приземления на нижнюю часть уступа (рисунок 2.15 (положение 2)), подхватываются им и увеличивают свою абсолютную скорость движения до максимальной переносной скорости решета. Таких частиц около 30% от общей массы.

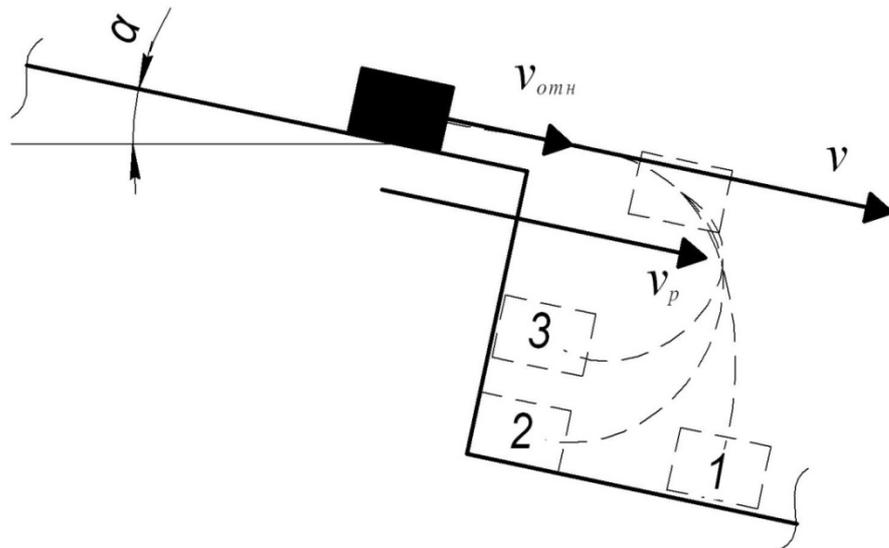


Рисунок 2.15 – Сход частицы зернового вороха с уступа питающего лотка

Кроме того, отрицательный знак  $y$  относительной координаты приземления означает, что частица во время полета подхватывается фронтальной частью уступа (рисунок 2.15 (положение 3)). Такая траектория при  $t_0=2,17$  с,  $v_0=0,17$  для относительного движения частицы зерновой смеси иллюстрируется на рисунке 2.16.

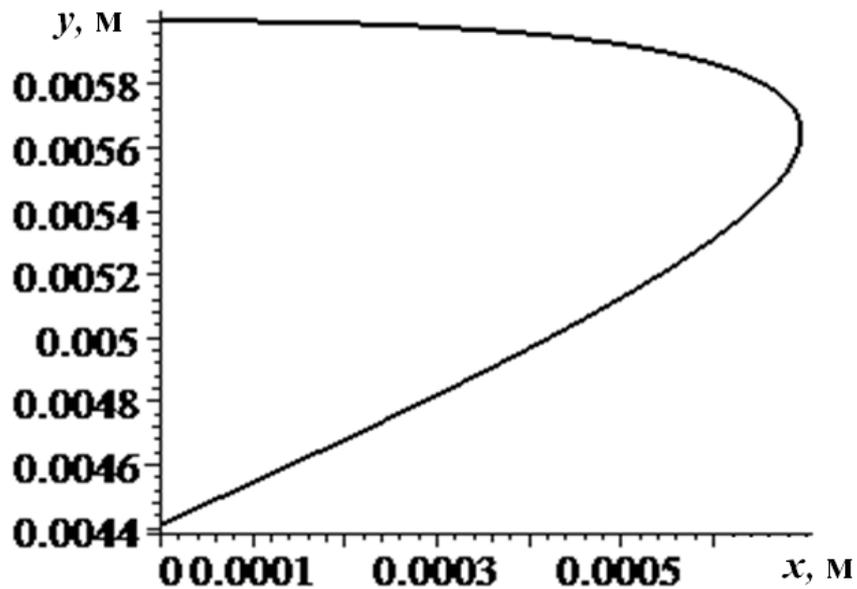


Рисунок 2.16 – Подхват летящей частицы торцом уступа

Анализ процесса схода частицы с колеблющегося уступа показывает, что при движении вороха по ступенчатой поверхности нарушается целостность потока, и частицы зерновой массы приобретают различные скорости. При этом около половины зернового вороха снижает свою скорость, что позволит обеспечить равномерную загрузку пневмосепарирующего канала. Однако точные значения

получающихся скоростей рассчитать затруднительно, учитывая допущения принятые для моделирования.

Благодаря полученным результатам можно предположить, что имеющийся диапазон скоростей частиц зернового вороха,двигающихся по решетке серийной зерноочистительной машины со скоростью 0,3-0,53 м/с. расширится за счет прохождения участка с уступами. При этом максимальная скорость частиц будет ограничена максимальной линейной скоростью решета, которая у большинства современных машин близка к значению 0,6 м/с. Минимальная скорость вороха будет стремиться к 0, но для расчетов примем её равной 0,1 м/с.

Определив скорости схода зерна со ступенчатого колеблющегося лотка, их в виде диапазона подставили в программу «Полет массива» (см. Приложение В) и произвели расчет. В результате численного решения системы дифференциальных уравнений 2.1 полета частицы с учетом сопротивления воздуха при наличии восходящего воздушного потока, имеющего скорость 9 м/с, получили траектории движения частиц с найденным разбросом скоростей 0,1–0,6 м/с (рисунок 2.17).

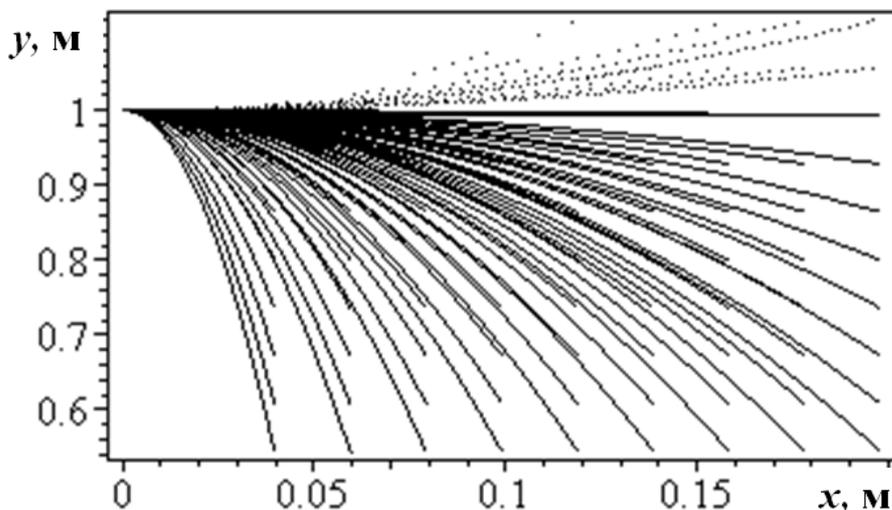


Рисунок 2.17 – Полет частиц при начальных скоростях 0,1 – 0,6 м/с

На рисунке 2.17 видно, что частицы, подаваемые в пневмосепарирующий канал со ступенчатой поверхности, практически полностью заполняют канал послерешетной аспирации при начальных условиях, близких к реальному процессу. Однако экспериментально оценить равномерность распределения материала в канале возможно только визуально и поэтому сравнить результаты теоретических и экспериментальных исследований будет затруднительно.

Для возможности сравнения результатов теоретических исследований с экспериментальными, на следующем этапе рассмотрим распределение зерна в нижней части аспирационного канала при гладком сепарирующем решетке, смоделированного программой «Распределение гладкий» (приложение Д). Формируется двойной цикл по коэффициентам парусности от  $0,06 \text{ м}^{-1}$  до  $0,13 \text{ м}^{-1}$  и по скоростям от  $0,3 \text{ м/с}$  до  $0,5 \text{ м/с}$ , после чего просчитываются траектории полета частиц с учетом возможного отражения. Основание канала разбивается на  $N$  промежутков, каждому из которых присваивается счетчик  $S_i$ , учитывающий количество попавших туда частиц. Результаты суммируются и в процентном эквиваленте выводятся на график. На рисунке 2.18 показан график распределения частиц в основании аспирационного канала шириной 18 см.

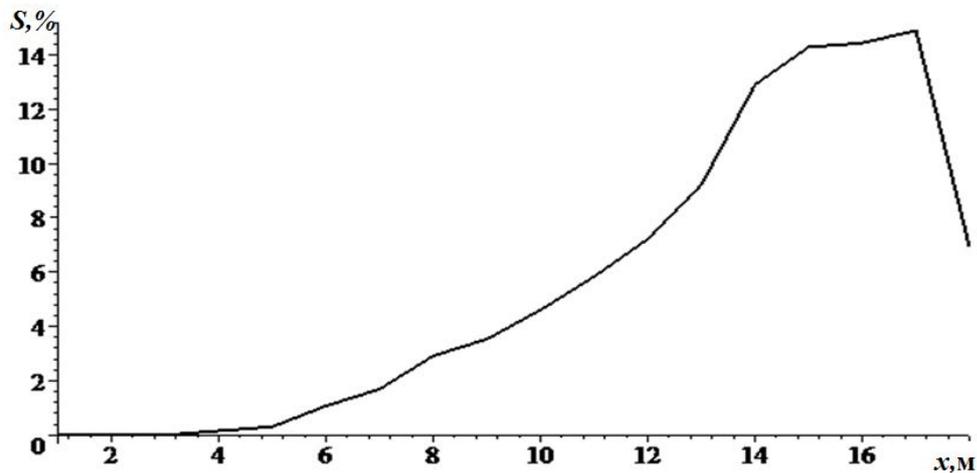


Рисунок 2. 18 – Теоретическое распределение зерна в пневмоканале при сходе с гладкого лотка

Отметим, что скорость восходящего потока воздуха влияет не только на фракционную составляющую выдуваемых элементов зернового вороха, но и на конфигурацию зоны расположения не выдуваемой фракции. На рисунке 2.19 представлены графики распределения частиц в основании аспирационного канала шириной 18 см.

Рассмотрим теперь распределение зерна на нижней части аспирационного канала при ступенчатом питающем лотке, смоделированного программой «Распределение ступ» (приложение Ж). Как и ранее, формируется двойной цикл по коэффициентам парусности от  $0,06 \text{ м}^{-1}$  до  $0,13 \text{ м}^{-1}$  и по скоростям от  $0,2 \text{ м/с}$  до  $0,6 \text{ м/с}$ , после чего просчитываются траектории полета частиц с учетом возможного отражения.

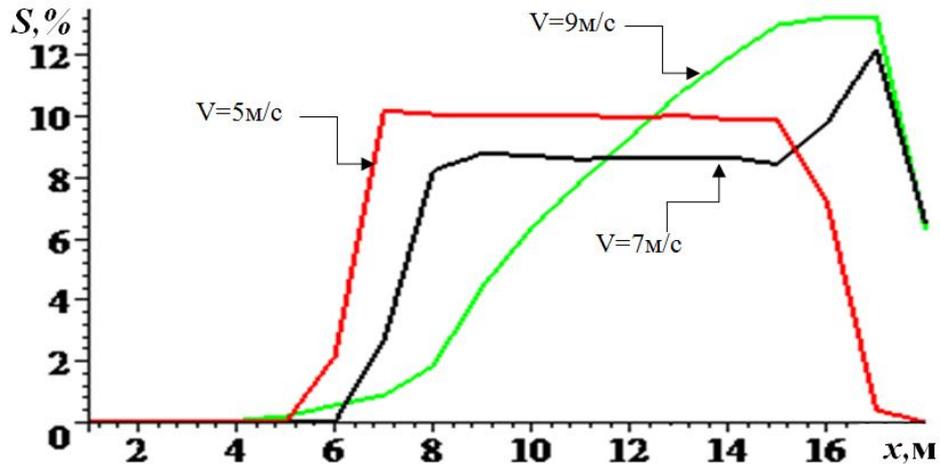


Рисунок 2.19 – Зависимость распределения зерна в пневмоканале при сходе с гладкого лотка от скорости восходящего потока воздуха

Основание канала разбивается на  $N$  промежутков, каждому из которых присваивается счетчик  $S_i$ , учитывающий количество попавших туда частиц. Результаты суммируются и в процентном эквиваленте выводятся на график. На рисунке 2.20 показан график распределения частиц в основании аспирационного канала шириной 18 см при количестве промежутков разбиения—18.

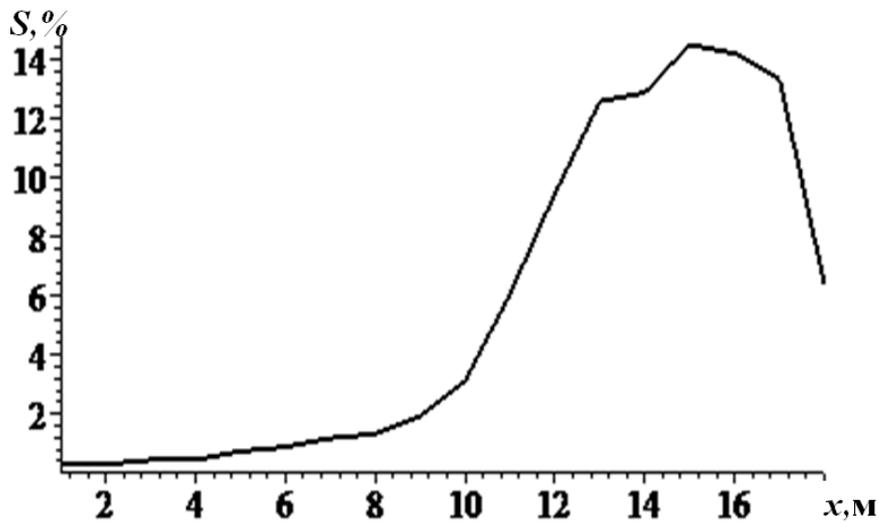


Рисунок 2.20 – Теоретическое распределение зерна в пневмоканале при сходе со ступенчатого лотка

Как видно из графика на рисунке 2.20 распределение зерновой массы в основании аспирационного канала при ступенчатом лотке более равномерно, чем при использовании гладкого лотка. Это происходит из-за увеличения разброса значений скоростей схода с лотка. Конкретные значения высоты и длины уступа следует выбирать экспериментально.

### 2.3 Выводы.

1. В результате моделирования установлено, что скорость частиц зернового вороха, сходящих с поверхности, колеблющейся совместно с решетным станом воздушно-решетной зерноочистительной машины, находится в диапазоне 0,3 – 0,5 м/с. Такого разброса скоростей подаваемых частиц недостаточно для обеспечения равномерности загрузки вертикального пневмосепарирующего канала по глубине.

2. Равномерность распределения зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала в системе послерешетной аспирации можно увеличить за счет подачи частиц с различными скоростями.

3. Для достижения рациональных скоростей частиц зернового вороха, обеспечивающих равномерное заполнение канала обрабатываемым ворохом, необходимо изменить конфигурацию подающей поверхности.

4. Наличие уступа на подающей колеблющейся поверхности нарушает целостность потока, в результате чего увеличивается степень равномерности распределения зернового вороха по площади пневмоканала. При этом 23,6% движущихся частиц не изменяет своей абсолютной скорости, 51% зернового вороха проходя ступенчатую поверхность, снижает свою скорость, а оставшаяся часть материала приобретает скорость равную максимальной скорости колеблющейся ступени. Наличие разброса скоростей частиц в пределах 0,1 – 0,6 м/с, при загрузке питателем со ступенчатой поверхностью, обеспечивает более равномерное распределение зернового вороха, нежели при подаче гладкой скатной поверхностью.

5. Рациональные значения параметров ступенчатой поверхности предлагаемого питателя для различных культур можно определить только эмпирически, так как это связано с большим количеством допущений и влияющих факторов.

### **3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

#### **3.1 Программа экспериментальных исследований**

Исходя из задач исследования, анализа литературных источников, теоретических предпосылок и результатов моделирования определена следующая программа экспериментальных исследований:

- определить распределение зернового вороха по сечению вертикального канала пневмосистемы для оценки результатов полученных при моделировании;
- определить распределение скорости воздушного потока по сечению вертикального пневмосепарирующего канала;
- исследовать и обосновать рациональные параметры питающего устройства и режим его работы;
- исследовать влияние подачи вороха на качественные показатели работы послерешетной пневмосепарации разработанной конструкции;
- изучить влияние зернового вороха на сопротивление пневмосистемы и удельные затраты энергии.

#### **3.2 Экспериментальные установки, приборы и оборудование**

Для проведения экспериментальных исследований изготовлена экспериментальная установка, которая имеет пневмосистему с обслуживанием послерешетной и дорешетной аспираций одним воздушным потоком. Общий вид установки приведен на рисунке 3.1. Технологическая схема работы установки показана на рисунке 3.2.

Лабораторная установка включает в себя систему аспирации 2, решетный стан 3 и вентилятор 6. Все закреплено на раме 1. Аспирационная система состоит из вертикального пневмоканала послерешетной очистки 7, горизонтального пневмосепарирующего канала первой аспирации 8, осадочных камер 9 и 10, воздухо-вода и вентилятора 6 центробежного типа.

Зерновой ворох, подлежащий обработке, подается из бункера в канал дорешетной воздушной очистки загрузочным устройством 5. Осадочная камера дорешетной аспирации 9 на выходе из пневмоканала имеет разделительный клапан 11, которым регулируется количество компонентов, выносимых в осадочную камеру первой аспирации. Канал дорешетной очистки соединяет осадочные камеры первой 9 и второй 10 аспирации, всасывающий воздуховод и центробежный вентилятор 6 в последовательную систему.

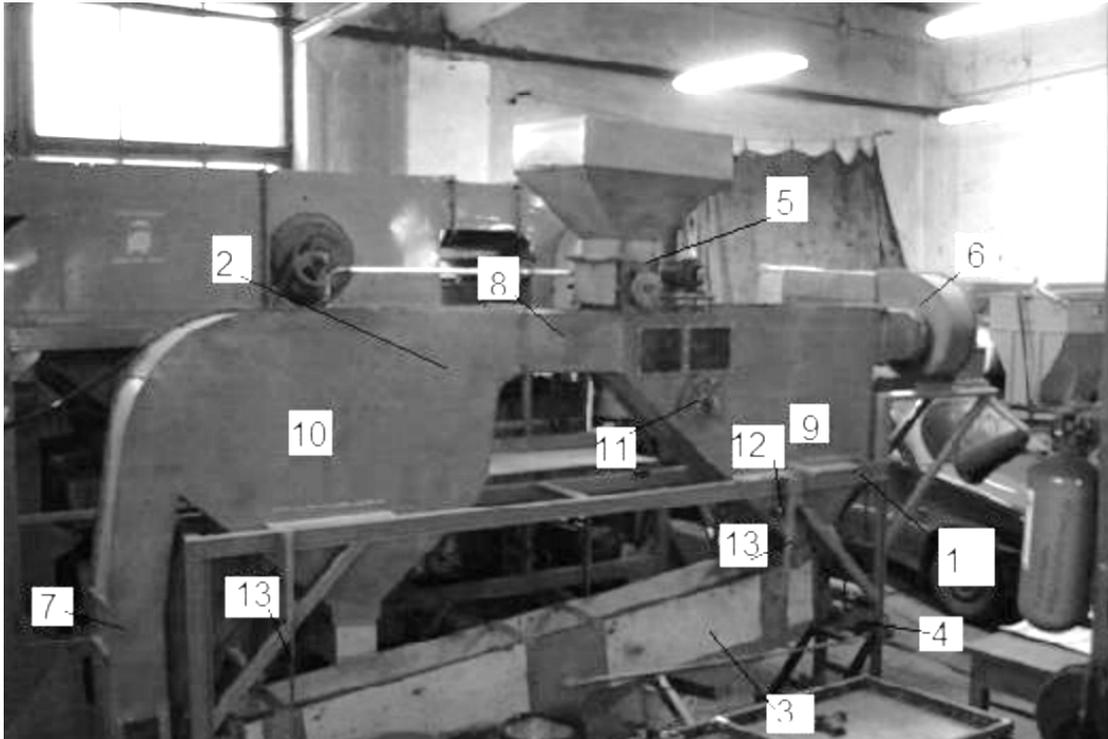


Рисунок 3.1 – Общий вид экспериментальной установки воздушно-решетной зерноочистительной машины: 1 – рама; 2 – двухаспирационная пневмосистема; 3 – решетный стан; 4 – механизм привода решетного стана; 5 – вбрасывающее устройство с загрузочным бункером; 6 – центробежный вентилятор; 7 – канал послерешетной аспирации; 8 – канал дорешетной аспирации; 9 – осадочная камера канала дорешетной аспирации; 10 – осадочная камера канала послерешетной аспирации; 11 – рукоятка управления разделительным клапаном осадочной камеры дорешетной аспирации; 12 – гравитационный клапан; 13 – подвески решетного стана

Внешний забор воздуха осуществляется каналом послерешетной очистки 7, и затем этот поток последовательно проходит осадочную камеру канала 10, горизонтальный канал дорешетной аспирации 8 и двухсекционную осадочную камеру 9, после чего через всасывающий воздуховод забирается вентилятором 6. Канал

послерешетной очистки 7 оснащен смотровым окном. Ввод материала в канал 7 осуществляется через загрузочное окно по питающему лотку, который соединен с решетным станом. Техническое решение двухаспирационной пневмосистемы защищено патентом на изобретение № 2469525 [87].

Ширина пневмосистемы лабораторной установки составляет 0,3 м, в остальном её габариты соответствуют реальным размерам зерноочистительной машины, которая имеет один двухъярусный решетный стан с тремя подряд установленными решетными полотнами длиной 0,99 м каждое. Представленная установка работает следующим образом (рисунок 3.2).

Подлежащий обработке зерновой ворох из бункера 1 подается в горизонтальный пневмоканал первой аспирации 3, вбрасывающим устройством 2. В канале 3 воздух, забранный из атмосферы каналом второй аспирации 8, выносит из обрабатываемого материала пыль и легкие частицы в осадочную камеру 5. Далее зерновой ворох улавливается разделительным клапаном 6 и направляется на решетный стан. Пройдя очистку от крупных и мелких примесей на колосовом 14 и подсевном 15 решетках, ворох направляется на сортировальные решета 18, 19 и 20, где он ворох разделяется на основную и фуражную фракции. Пройдя обработку на решетном стане, очищаемый материал направляется в канал второй аспирации 8 по питающему лотку 22. Там из вороха довыделяются оставшиеся легковесные примеси и неполноценные зерновки, которые восходящим воздушным потоком выносятся в осадочную камеру послерешетной очистки 10. Освобожденная от примесей и неполноценных зерен основная фракция выводится в сборник очищенного зерна 23.

Сортировальные и подсевные решета имеют шариковую очистку, которая позволяет избежать забивания щелей решета и обеспечивает качественную сепарацию. Зерно фуражной фракции, выделенное сортировальными решетами, выводятся в свои сборники по специальным отводам 21. Выделенные из вороха крупные примеси выводятся по зернопроводу 16. Мелкие примеси поступают в отдельный сборник через вывод 17.

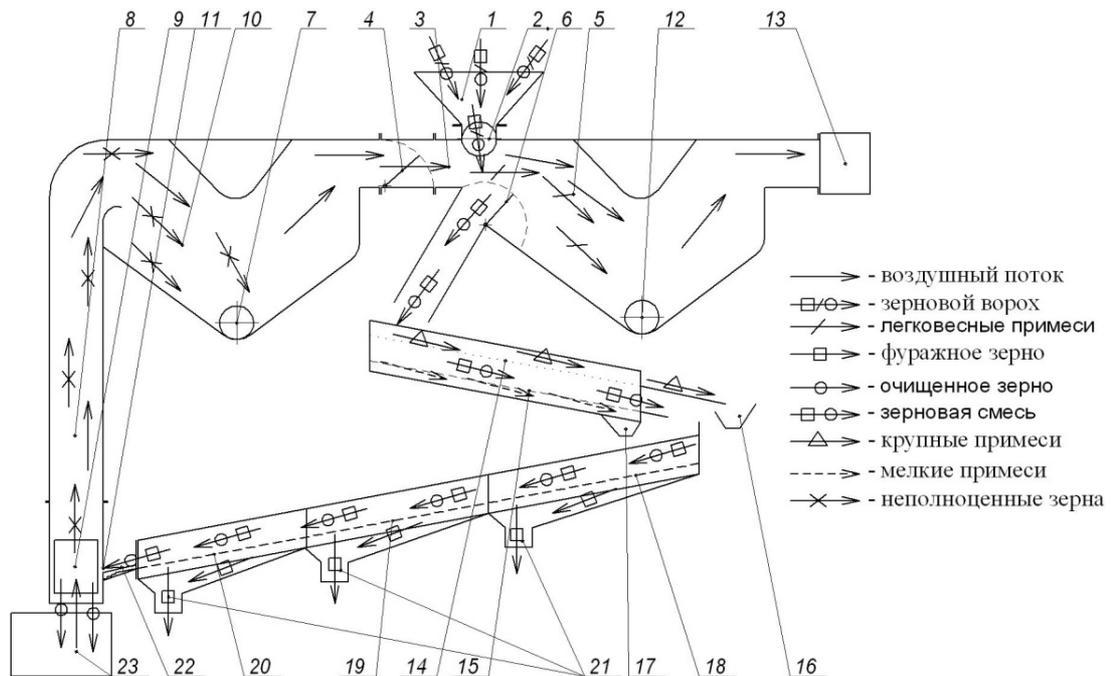


Рисунок 3.2 – Технологическая схема работы лабораторной установки воздушно-решетной зерноочистительной машины: 1 – загрузочный бункер; 2 – питающая катушка; 3 – канал первой аспирации; 4 – воздушная заслонка канала первой аспирации; 5 – осадочная камера канала первой аспирации; 6 – калибровочная заслонка; 7,12 – вывод легковесных примесей; 8 – канал второй аспирации; 9 – смотровое окно в зоне сепарации; 10 – осадочная камера второй аспирации; 11 – загрузочное окно канала второй аспирации; 13 – вентилятор воздушной системы; 14 – колосовое решето; 15 – подсевное решето; 16 – вывод крупных примесей; 17 – вывод мелких примесей; 18 – первое сортировальное решето; 19 – второе сортировальное решето; 20 – третье сортировальное решето; 21 – вывод фуражного зерна; 22 – питающий лоток; 23 – сбор очищенного зерна

Для обеспечения широкого диапазона исследований на лабораторной установке предусмотрены различные регулировки, такие как изменение положения калибровочной заслонки; изменение скорости и места ввода вороха в канал до-решетной очистки; регулировка скорости воздушного потока в аспирационных каналах; изменение частоты колебания решетчатого стана. Также на установке предусмотрена возможность изменения положения решет в решетчатом стане.

Для определения параметров пневмосепарирующего канала послерешетной очистки на вертикальном пневмоканале 8 была изготовлена и установлена на установку нижняя часть канала послерешетной очистки с установленным устройством для измерения скорости воздушного потока (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Пневмоканал послерешетной очистки зерноочистительной машины

На рисунке 3.4 показана схема нижней части вертикального пневмосепарирующего канала послерешетной очистки экспериментальной установки.

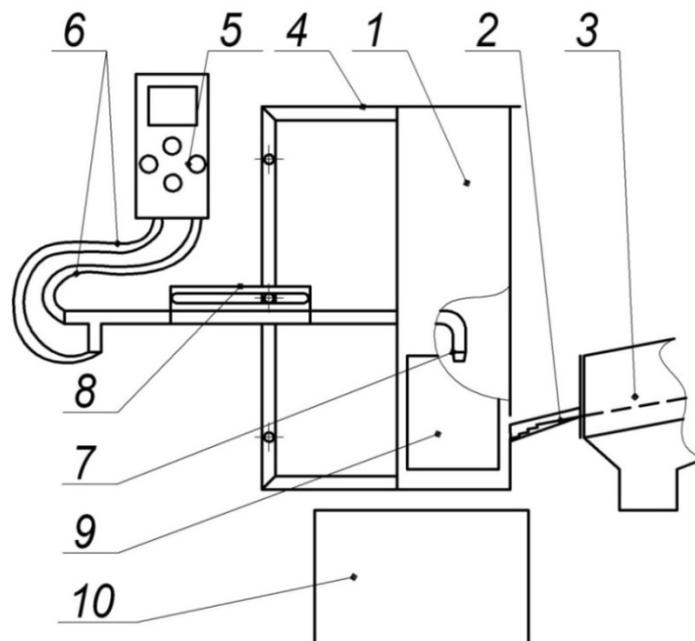


Рисунок 3.4 – Схема нижней части канала послерешетной очистки с устройством для измерения характеристик воздушного потока: 1 – вертикальный пневмоканал; 2 – питающий лоток; 3 – решетный стан; 4 – удерживающая рамка; 5 – прибор для измерения скорости воздушного потока; 6 – силиконовые шланги; 7 – трубка Пито; 8 – фиксатор трубки Пито; 9 – смотровое окно; 10 – бункер для сбора обработанного материала

На канале послерешетной аспирации установлена трубка Пито и прибор Testo, для определения параметров воздушного потока в пневмоканале. Для определения характеристики движения воздушного потока в пневмоканале на данной

конструкции предусмотрена возможность изменения высоты и глубины точек замера.

Измерение скорости воздуха в канале песлерешетной аспирации выполняли трубкой Пито 7 (рисунок 3.4) и определяли результат с помощью multifunctional измерительного прибора 5 Testo 435-3, который имеет встроенный датчик для определения дифференциального давления и комплект зондов для различных целей. Прибор имеет магнит, с помощью которого он крепится на металлические части пневмосистемы для удобства работы. Testo 435-3 соединен с трубкой Пито 7 посредством силиконовых шлангов 6. Сама трубка 7 закрепляется на удерживающей рамке 4 с помощью фиксатора 8, который может перемещаться в горизонтальной плоскости для удобства проведения замеров в разных точках пневмоканала по глубине. В удерживающей рамке 4 выполнены отверстия, для крепежа трубки Пито 7 на разных высотах.

Для определения влияния ступенчатой поверхности на траекторию схода зерновой массы в пневмоканале было изготовлено несколько вариантов скатных лотков (рисунок 3.5).

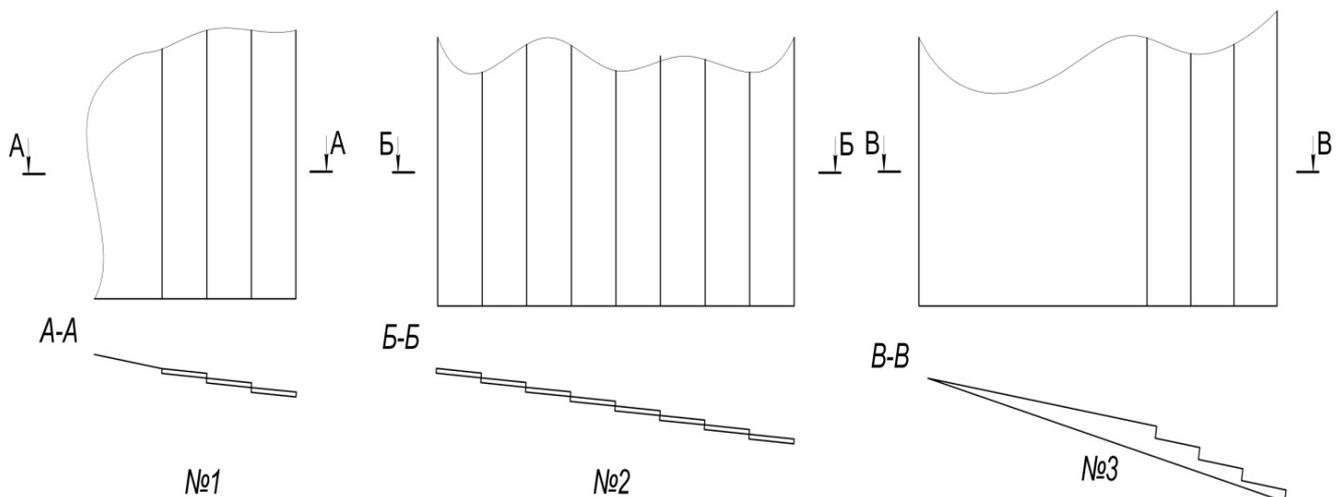


Рисунок 3.5 – Схемы сменных скатных поверхностей испытываемого питающего лотка

При изготовлении образца под номером 1 на последних восьми сантиметрах лотка были сделаны ступени наложением металлических пластин друг на друга последовательно с перекрытием в 2-3 мм (пластины шириной 25 мм и толщиной 2 мм). В результате получилась ступенчатая поверхность с одинаковым уклоном ступеней к плоскости движения зернового материала по решетке.

Изготовление второго образца происходило тем же образом, что и образца № 1. Отличалось только то, что пластины, образующие ступенчатую поверхность, были расположены по всей длине подающего лотка.

Образец подающего лотка № 3 (рисунок 3.5) имеет 3 ступени на входе в пневмосепарирующий канал. Отличается данный образец от предыдущих двух тем, что ступени были выполнены параллельно плоскости решет из цельного листа жести с помощью прессования. Ступени имеют ту же ширину, что и пластины на предыдущих образцах, а высота ступеней составила 5-6 мм.

Ширина питающих лотков равна ширине пневмоканала и составляет 0,3 метра.

Для изучения равномерности распределения зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала был изготовлен специальный пробоотборник, который представлен на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Пробоотборник

Пробоотборник выполнен из листового железа и имеет сварную конструкцию. Он представляет собой металлический короб без верхней стенки. Ширина короба равна глубине пневмоканала. Он разделен перегородками на 6 равных частей по глубине. Дно пробоотборника может выдвигаться и совмещенно с одной

из стоек. Такое решение позволяет разгружать короб последовательно по одному отсеку.

Физико-механические свойства компонентов зернового вороха определяли по известным методикам на парусном классификаторе конструкции ВИМ и решетном классификаторе РЛ-1 (рисунок 3.7).

Для проведения измерений в ходе экспериментальных исследований пользовались следующими приборами: прибор для определения параметров воздушного потока (скорость, динамическое, статическое и полное давление) Testo 435-3; тахометры DT6236В и ТЧ-10-Р; влагомер зерна WILE-65; лабораторные весы JW-1; секундомер механический.



Рисунок 3.7 – Рассев лабораторный РЛ-1

В таблице 3.1 по каждому из применяемых приборов представлены измеряемые параметры, пределы измерения и погрешности измерения.

Таблица 3.1– Пределы и погрешности измерения используемых приборов

Марка прибора	Измеряемый параметр	Пределы измерения	Погрешность
Testo 435-3+ Зонд скорости воздуха с обогреваемой струной, D12 мм,	Скорость воздуха (V)	0...20 м/с	$\pm(0,03\text{м/с}+0,04\times V_{\text{изм}})$
Testo 435-3+ трубка Пито	Давление (P)	0...2000 гПа	$\pm 5$ гПа
DT6236B	Частота вращения (n)	0,5...19999	$\pm 0,05\%$ пизм
WILE-65	Влажность зерна (W)	Зерновые 8...25%	от W= 5...20% $\leq 1,0$ ; от W= 20...35% $\leq 1,5$
JW-1	Масса (m)	0,2...200 г	г $\pm 10$ мг

### 3.3 Методика проведения исследований и обработки экспериментальных данных

Экспериментальные исследования исходного вороха озимой пшеницы по определению физико-механических свойств проводили в соответствии с общепринятыми методиками. Отбор образцов был произведен согласно ГОСТу 12036–85 [34] при влажности материала 14%. Анализ отобранного материала проводили в лаборатории Воронежского ГАУ.

Образцы были разделены на фракции с помощью решетного классификатора РЛ-1, который имеет набор решет с щелевыми отверстиями шириной от 1,8 до 3,4 мм и шагом 0,2 мм. Решета на классификаторе устанавливались друг на друга колонной и с убыванием толщины отверстий сверху вниз. Подлежащая сортировке навеска высыпалась на верхнее решето, после чего запускали механизм классификатора. После продолжительного воздействия круговых колебаний решет весь материал навески рассортировывался по решетам соответственно размеру компонентов. Далее фракции с каждого решета взвешивали на лабораторных весах JW-1 и полученные результаты заносили в таблицу.

После определяли содержание в ворохе компонентов каждой фракции в процентах по формуле:

$$c_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \% \quad (3.1)$$

где  $c_i$  – процентное содержание  $i$ -й фракции, %;

$m_i$  – масса  $i$ -й фракции, кг;

$m$  – масса общей навески, кг;

Из каждой фракции отбирали по 3 навески весом 45...50 г. Навески вручную разбирали на разборных досках, определяя наличие различных компонентов в ворохе и их процентное соотношение в соответствии с ГОСТ 30483–97 [35].

Далее компоненты зернового вороха разделяли соответственно скорости вращения на парусном классификаторе. При проведении опыта скорость воздуха увеличивали с определенным приращением динамического напора.

Среднюю скорость воздушного потока определяли по формуле:

$$V = 4.04\sqrt{P}, \text{ м/с.} \quad (3.2)$$

где  $P$  – среднее значение динамического давления, кгс/м<sup>2</sup>.

Полученные компоненты в результате пневмосортирования и сортирования на решетном классификаторе взвешивали и определяли статистические параметры исходного вороха. Полученные результаты отображали графиками и зависимостями.

Проведение экспериментальных исследований на разработанной лабораторной установке (рисунок 3.2) осуществляли в следующем порядке. Чтобы обеспечить одновременную подачу зернового вороха в каналы дорешетной и послерешетной очисток, после отладки и установки, необходимых для эксперимента, параметров поочередно запускали привод решетного стана, всасывающий вентилятор и вбрасывающее устройство. Далее, открыв питающую заслонку, осуществляли подачу вороха на рабочие органы лабораторной установки. После того, как обрабатываемый материал начинал поступать в установившемся режиме в канал послерешетной очистки, останавливались все механизмы, и одновременно прекращалась подача зернового вороха на машину. Далее опорожнялись сборники всех выходов и осадочных камер без взвешивания. За начало замера времени проведения опыта принимали момент повторного запуска всех рабочих органов с одновре-

менным открытием питающей заслонки. По окончанию опыта прекращали подачу зернового вороха на установку до полного опорожнения загрузочного бункера, одновременно с этим останавливали решетный стан, всасывающий вентилятор и сбрасывающее устройство. Далее взвешивали содержимое всех приемников и осадочных камер, производили отбор образцов для дальнейших исследований и после чего смешивали все компоненты.

Вынесенные в сборник легких примесей и осадочные камеры каналами дорешетной и послерешетной очисток компоненты зерновой смеси в конце опыта взвешивали и разбирали по составу. Перед тем как разобрать по составу компоненты, вынесенные воздушным потоком в осадочную камеру, определяли их аэродинамические характеристики.

Полную массу зернового вороха, обработанного на установке, за время опыта определяли по формуле:

$$M_{\text{оп}} = M_{\text{окд}} + M_{\text{окп}} + M_{\text{оо}} + \sum M_{\text{ср}} + M_{\text{пр}} + M_{\text{кр}} + M_{\text{оф}}, \quad (3.3)$$

где  $M_{\text{окд}}$  – масса вороха, выделенного в осадочную камеру канала дорешетной очистки за время опыта, кг;

$M_{\text{окп}}$  – масса вороха, выделенного в осадочную камеру канала послерешетной очистки за время опыта, кг;

$M_{\text{оо}}$  – масса легковесных примесей, выделенных в сборник за время опыта, кг;

$\sum M_{\text{ср}}$  – масса фуражных фракций вороха, выделенных всеми сортировальными решетками; кг;

$M_{\text{пр}}$  – масса мелких фракций вороха, выделенных подсевными решетками, кг;

$M_{\text{кр}}$  – масса крупных фракций вороха, выделенных колосовыми решетками, кг;

$M_{\text{оф}}$  – масса основной фракции вороха, выделенного за время опыта, кг.

Потери зерна из основной фракции  $\Pi_a$ , % вынесенного в осадочные камеры первой и второй аспирации, определяли по формуле:

$$\Pi_a = \frac{M_{\text{ок}} \cdot m_{\text{эп}}}{m_{\text{н}} \cdot M_{\text{оп}} \cdot P_3} \cdot 100, \quad (3.4)$$

где  $M_{оп}$  - масса вороха, выделенного в осадочную камеру, кг;

$m_{зн}$  - масса полноценного зерна в навеске после выделения, кг;

$m_{н}$  - масса навески, взятой из осадочной камеры, кг;

$M_{оп}$  - общая масса вороха, прошедшего через установку за время опыта, кг;

$P_з$  - доля полноценного зерна в исходном ворохе.

Полноту выделения из исходного вороха легковетесных примесей и других компонентов аспирационными системами определяли по формуле:

$$\varepsilon_{лп} = \frac{\frac{M_{окд} \cdot m_{лп}^д + M_{окп} \cdot m_{лп}^п + M_{оо}}{m_{нд} + m_{нп}}}{M_{оп} \cdot P_{лп}} \cdot 100, \% \quad (3.5)$$

где  $m_{лп}^п$  - масса легковетесных примесей (компонентов вороха со скоростью витания  $V < V_{кд}$ ) в навеске из осадочной камеры канала дорешетной очистки;

$m_{лп}^д$  - масса легковетесных примесей (компонентов вороха со скоростью витания  $V < V_{кп}$ ) в навеске из осадочной камеры канала послерешетной очистки;

$m_{нд}$  - масса навески, взятой из осадочной камеры канала дорешетной очистки, кг;

$m_{нп}$  - масса навески, взятой из осадочной камеры канала послерешетной очистки, кг;

$P_{лп}$  - доля легковетесных примесей (компонентов вороха со скоростью витания  $V < V_{кп}$ ) в исходном ворохе.

Полноту выделения легковетесных примесей аспирационными системами определяли также после разборки образца основной фракции по формуле:

$$\varepsilon_{лп} = \left( 1 - \frac{P_{лп}^о}{P_{лп}} \right) \cdot 100, \% \quad (3.6)$$

где  $P_{лп}^о$  - содержание легковетесных примесей (компонентов вороха со скоростью витания  $V < V_{кп}$ ) в основной фракции после очистки;

$P_{лп}$  - содержание легковетесных примесей (компонентов вороха со скоростью витания  $V < V_{кп}$ ) в исходном ворохе.

Пропускную способность установки, или подачу вороха, определяли по формулам:

$$q = \frac{M_{\text{оп}}}{t_{\text{оп}}}, \text{ кг/с}, Q = 3,6 \frac{M_{\text{оп}}}{t_{\text{оп}}}, \text{ т/ч}, \quad (3.7)$$

где  $t_{\text{оп}}$  - продолжительность опыта, с.

Удельную подачу вороха в пневмосистему установки определяли с учетом ширины пневмосепарирующих каналов ( $B_{\text{п}}$ ):

$$q_{\text{п}}^* = \frac{M_{\text{оп}}}{t_{\text{оп}} \cdot B_{\text{п}}}, \text{ кг/(с} \cdot \text{дм)}, \quad (3.8)$$

или в т/(ч·дм) по формуле:

$$q_{\text{п}} = 3,6 \frac{M_{\text{оп}}}{t_{\text{оп}} \cdot B_{\text{п}}}, \quad (3.9)$$

При исследовании распределения воздушных масс по сечению канала послерешетной очистки и определения скорости воздуха проводили замер в участке с расположением мерных сечений на расстояниях не менее шести гидравлических диаметров  $Dh$ , м за местом возмущения потока и не менее двух гидравлических диаметров перед ним. Для определения местоположений отверстий, через которые производили замеры скоростей в пневмосепарирующих каналах, руководствовались известными методиками по определению средней скорости воздушного потока в пневмосистемах.

$$Dh = \frac{4F}{\Pi}, \quad (3.10)$$

где  $F$  – площадь сечения пневмоканала,  $\text{м}^2$ ;

$\Pi$  – периметр пневмоканала, м.

Скорость воздуха в пневмоканалах (м/с) вычисляли как среднюю по полученным значениям в ходе измерений по формуле:

$$V_{\text{к}} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}, \quad (3.11)$$

где  $V_i$  - скорость воздушного потока, замеренная в  $i$  – точке канала, м/с;

$n$  - количество точек замера скорости в одном сечении канала.

Для определения расхода воздуха пневмосистемой установки ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), учитывая скорость воздуха в канале второй аспирации, пользовались формулой:

$$q_{\text{в}} = V_{\text{кп}} \cdot l_{\text{кп}} \cdot b_{\text{п}}, \quad (3.12)$$

где  $V_{\text{кп}}$ - скорость воздушного потока в канале послерешетной очистки, м/с;

$l_{\text{кп}}$ - глубина основной части канала послерешетной очистки, м;

$b_{\text{п}}$  - ширина пневмосистемы установки, м.

Замер скорости осуществляли с помощью трубки Пито. При каждом замере записывали среднюю скорость за 30 секунд. Измерения проводили в 3-х плоскостях, которые располагались от нижней части пневмоканала на расстояниях 100, 350 и 600 мм.

Полученные значения записывали в таблицу, после чего производили обработку данных.

Сопротивление канала послерешетной аспирации определяли при различной удельной зерновой нагрузке. Замер сопротивления производили в плоскости на расстоянии 600 мм от нижнего края пневмоканала, т.к. там поле скоростей воздушного потока наиболее равномерное.

Измерения осуществляли только после того как пневмоканал заполнялся полностью обрабатываемым ворохом. Учитывали среднее сопротивление пневмоканала за 90 сек. Полученные значения заносили в таблицу и строили графики.

Для определения рациональных параметров питающего лотка изготовленные образцы поверхностей устанавливали поочередно в конце решетного стана и при снятом канале послерешетной очистки пропускали зерновой ворох. Во время схода обрабатываемого материала с питающего лотка сбоку производили фотофиксацию процесса. После чего отснятые материалы обрабатывали и определяли траектории полёта частиц, которые отображали на графиках.

При исследовании равномерности распределения сыпучего материала по сечению вертикального пневмосепарирующего канала использовали изготовленный пробоотборник (рисунок 3.6). Для определения распределения зернового вороха по глубине пневмоканала запускали лабораторную установку и открывали подачу зерновой смеси. После того, как ворох проходил по всем системам зерноочистительной установки и полностью заполнял канал послерешетной очистки, на

выходе из канала кратковременно вводился пробоотборник. Далее поочередно взвешивали содержимое каждой ячейки и записывали в таблицу. Распределение по глубине пневмоканала определяли при различной производительности и нагрузке двумя скатными поверхностями – экспериментальной ( 4 ступени) и контрольной (гладкая). На основании полученных результатов строили диаграммы распределения вороха по глубине пневмоканала.

Статистическую обработку результатов экспериментов и построение графических зависимостей проводили с использованием пакетов прикладных программ STATISTICA 10., Microsoft Excel 2010, Mathcad 14 и других.

## 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОСЛЕРЕШЕТНОЙ ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ ДВУХАСПИРАЦИОННОЙ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

### 4.1 Характеристика вороха озимой пшеницы, используемого в экспериментальных исследованиях

Для оценки результатов экспериментальных исследований был произведен анализ исходного вороха пшеницы на определение размеров фракций по толщине, содержащихся в материале. Также определяли скорости витания различных компонентов вороха. В качестве исходного вороха использовали ворох озимой пшеницы сорта «Крастал» урожая 2015 года. Результаты исследований приведены в таблицах 4.1, 4.2, 4.3 и на рисунках с 4.1 по 4.5.

На рисунке 4.1 изображен график распределения зернового вороха по фракциям.

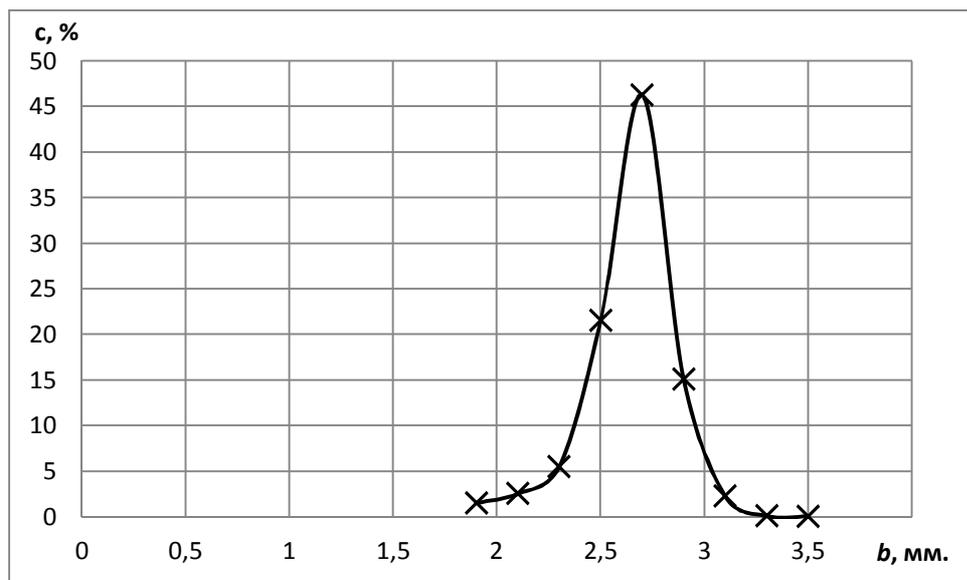


Рисунок 4.1 – Распределение компонентов зернового вороха по фракциям с шагом 0,2 мм

Из графика видно, что с увеличением размера фракций количество массы увеличивается до фракции шириной 2,7 мм. Компонентов с толщиной 2,9, 3,1, 3,3 и 3,5 мм в сумме в ворохе содержится около 17%. Основная масса вороха имеет толщину 2,7 мм, она составляет 46,26 % от общей массы исследуемого образца. Содержание фракции размером 2,5 мм, которая зачастую отправляется в фураж, около 22%, а размером менее 2,5 мм не более 15%. Также можно отметить, что

график, представленный на рисунке 4.1, может приближенно аппроксимироваться нормальным распределением.

Содержание различных компонентов в каждой фракции приведено в таблице 4.1. Из таблицы можно отметить, что характер распределения массы задают целые зерна, которые преобладают в основном ворохе, их содержание в основной фракции (2,7 мм и более) 40,57 % от общей массы. Большая часть неповрежденных зерновок содержится во фракциях 2,5, 2,7 и 2,9 мм.

Таблица 4.1 – Распределение компонентов зернового вороха по фракциям

$b$ , мм	$m_n$ , %	$P_z$ , %	$P_d$ , %	$P_{ш}$ , %	$P_{п}$ , %	$P_n$ , %	$P_o$ , %	$P_c$ , %	m 1000
< 1,8	5,11	0,11	4,70	0,06	0,10	0,00	0,01	0,13	10,67
1,9	1,52	0,43	0,62	0,24	0,23	0,00	0,00	0,00	16,03
2,1	2,55	1,14	0,24	0,58	0,58	0,01	0,00	0,00	20,67
2,3	5,47	3,02	0,22	1,19	1,03	0,01	0,00	0,00	24,53
2,5	21,56	17,42	0,43	1,82	1,88	0,01	0,01	0,00	28,80
2,7	46,26	40,57	0,63	2,72	2,11	0,18	0,03	0,02	36,80
2,9	15,11	14,00	0,06	0,47	0,50	0,07	0,00	0,00	41,40
3,1	2,26	2,03	0,03	0,08	0,07	0,05	0,00	0,00	41,73
3,3	0,10	0,06	0,01	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	40,93
3,5	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	39,10

Большая часть не вымолоченных зерновок содержится во фракции размером 2,7 мм. Следует отметить, что основная часть дробленых зерен находится во фракциях размером меньше 2,7 мм. Основная масса минеральных засорителей имеет размер меньше 1,9 мм.

Проанализировав таблицу 4.1, следует отметить, что при сортировке исходного вороха на решетках в качестве подсевного решета следует устанавливать сита с отверстиями шириной 2,0...2,2 мм. Такое подсевное решето будет отделять основную часть битых зерен и минеральных примесей. Колосовое решето в данном случае не пригодится, т.к. в исходном материале не содержится колосков или крупных примесей. В качестве сортировальных решет следует устанавливать сита с шириной отверстий 2,4...2,8 мм, в зависимости от дальнейшего назначения обработанного материала. Для товарной очистки будет достаточно установить ре-

шето с отверстиями размером 2,4...2,6 мм. Для подготовки семенного материала в качестве сортировальных решет необходимо устанавливать сита с ячейками 2,8 мм, так как масса 1000 семян фракции 2,9 мм соответствует требованиям к семенному материалу и составляет более 40 граммов.

Зависимость массы 1000 семян от размера зёрен показана на рисунке 4.2.

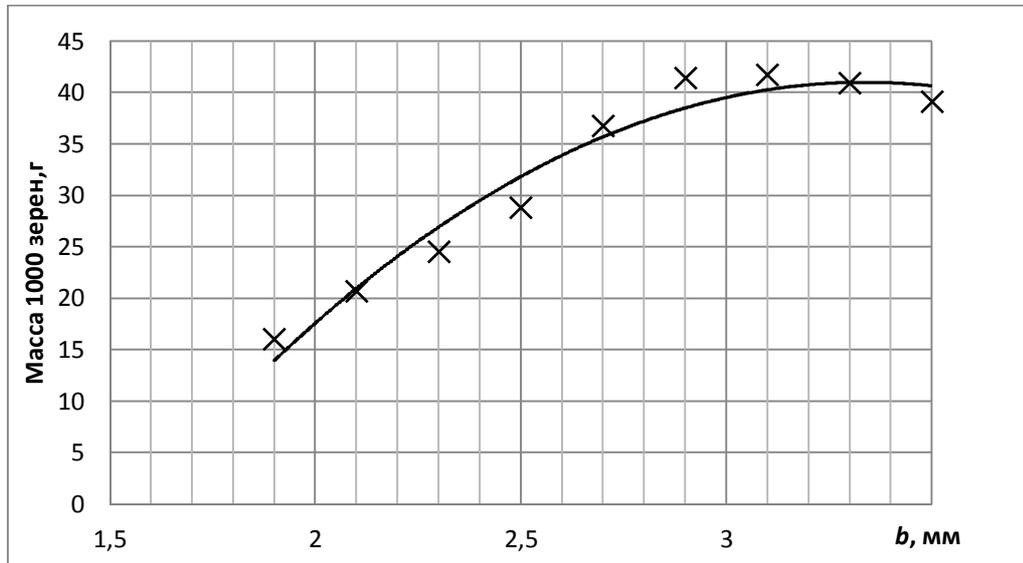


Рисунок 4.2 – Зависимость массы 1000 семян от размера фракции зерна

Из графика, изображенного на рисунке 4.2, видно, что с увеличением размеров зерновок масса 1000 семян так же растет, но при достижении размера фракции 3,1 мм начинает снижаться. Это связано с тем, что зерна с такой толщиной имеют меньшую плотность, что приводит к снижению массы 1000 семян у крупных зерен. По таблице 4.1 можно сказать, что таких зерен около 2 %. Масса 1000 семян в максимальной точке равна чуть более 41 г и соответствует фракции размером 2,9...3,1 мм.

Для определения аэродинамических характеристик компонентов исходного вороха экспериментальные исследования проводили на парусном классификаторе конструкции ВИМ. Основной определяемой характеристикой стала скорость витания частиц вороха, которая полностью зависит от их парусности.

На рисунке 4.3 представлен график, отображающий распределение массы исходного вороха по скоростям витания.

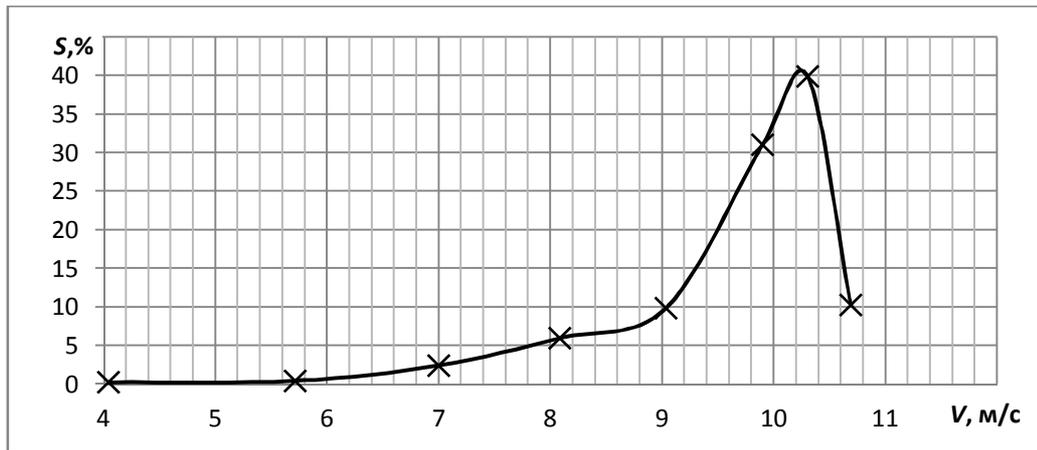


Рисунок 4.3 – Распределение исходного вороха по скоростям витания

Из графика видно, что распределение исходного вороха не подчиняется закону нормального распределения. Такое распределение можно аппроксимировать гамма-распределением с обратной шкалой по оси абсцисс. Отличие от нормального распределение можно объяснить наличием в исходном ворохе не зерновых компонентов, которые имеют меньшую скорость витания. Основная часть материала имеет скорость витания от 8 до 11 м/с. Наибольшее количество компонентов выделяется при скорости воздушного потока 10,3 м/с. Зерновая часть смеси имеет скорость витания более 7,5 м/с, а не зерновые компоненты (полова, мелкая солома, часть сорняков и пыль) от 4 до 8 м/с.

В таблице 4.2 приведено распределение компонентов вороха по скоростям витания и составу.

Таблица 4.2 – Распределение компонентов зернового вороха по скоростям витания

V, м/с	$m_{\text{н}}, \%$	$P_{\text{з}}, \%$	$P_{\text{д}}, \%$	$P_{\text{ш}}, \%$	$P_{\text{п}}, \%$	$P_{\text{н}}, \%$	$P_{\text{о}}, \%$	$P_{\text{с}}, \%$	m 1000
4,04	0,220	0,000	0,069	0,014	0,000	0,000	0,058	0,080	0,000
5,71	0,409	0,000	0,336	0,014	0,004	0,031	0,010	0,014	0,000
7,00	2,391	0,018	1,793	0,247	0,082	0,228	0,000	0,023	10,667
8,08	5,944	0,819	3,600	0,830	0,401	0,266	0,000	0,029	17,967
9,03	9,857	6,626	0,730	1,203	1,260	0,037	0,000	0,002	24,467
9,90	31,005	28,187	0,484	0,944	1,384	0,006	0,000	0,001	31,300
10,30	39,94	38,273	0,141	0,264	1,262	0,000	0,000	0,000	38,700
10,69	10,23	9,770	0,042	0,108	0,313	0,000	0,000	0,000	37,600
Сумм	100,000	83,693	7,193	3,622	4,707	0,568	0,068	0,148	100,000

Проанализировав таблицу 4.2, можно отметить, что основная часть дробленого зерна, которая составляет около 6% от массы вороха, выделяется воздушным потоком со скоростью немногим больше 8 м/с. Почти вся масса засорителей выносятся воздушным потоком, имеющим скорость около 9 м/с. Получившиеся в результате разбора отобранных образцов значения позволяют сделать заключение: для более полного выделения примесей воздушным потоком из зернового вороха необходимо устанавливать в канале послерешетной аспирации скорость воздушного потока равной 9 м/с. При таком режиме работы пневмоканала будет выноситься целое зерно, что видно на графике (рисунок 4.4).

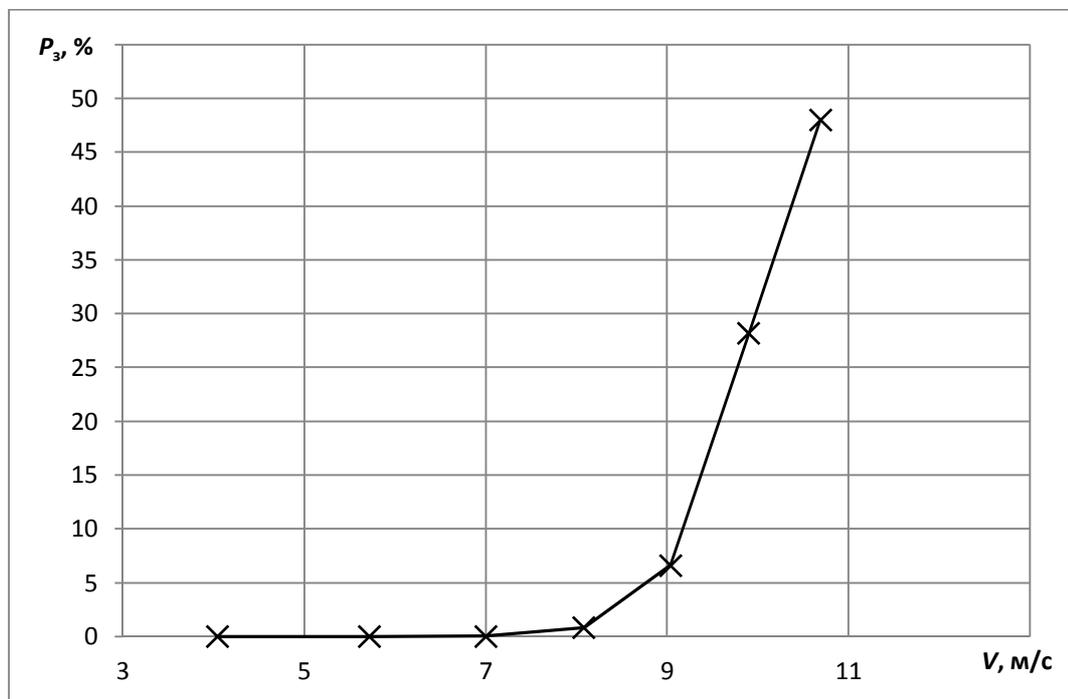


Рисунок 4.4 – Распределение целого зерна исходного вороха по скоростям витания

Несмотря на факт незначительного выноса целых зерновок воздушным потоком скоростью 9 м/с, при подготовке семенного материала такие зерна не будут считаться потерями, так как масса 1000 семян, вынесенных в осадочную камеру, будет невелика. Зависимость массы 1000 семян от скорости витания показана на рисунке 4.5.

Из графика видно, что зерна, выносимые воздушным потоком со скоростью до 9 м/с, имеют массу 1000 семян до 25 граммов. Из этого следует, что зерно, вы-

деляемое воздушным потоком со скоростью до 9 м/с, является фуражной фракцией и содержит незначительное количество питательных веществ.

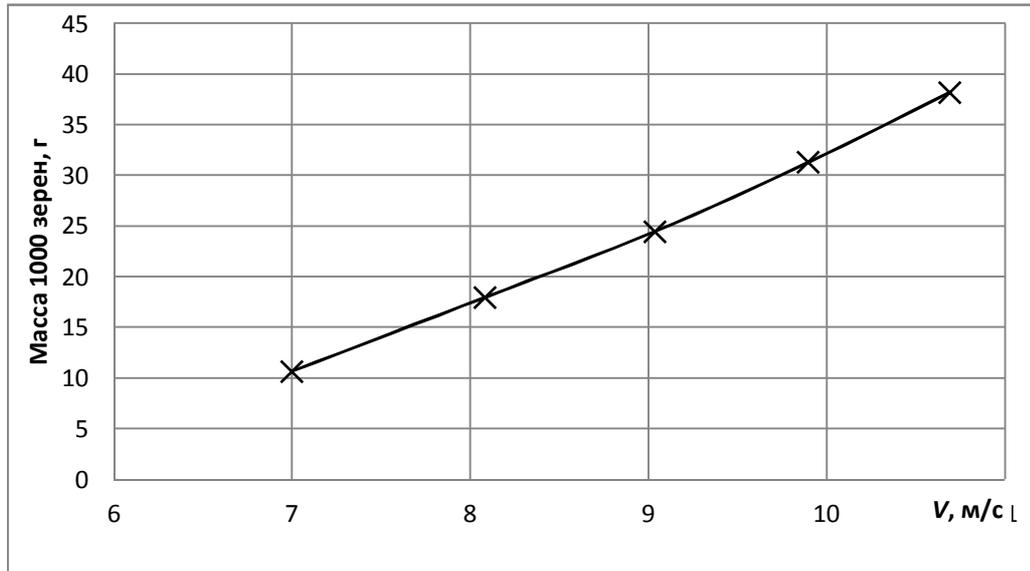


Рисунок 4.5 – Зависимость массы 1000 семян от скорости витания зерна

Для более полной оценки результатов работы лабораторной установки, имитирующей высокопроизводительную воздушно-решетную двухаспирационную зерноочистительную машину, необходимо знать распределение вороха по основным размерным фракциям и скоростям витания. Эти значения приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Распределение зернового вороха по размерным фракциям и скоростям витания

$b, \text{ мм}$	$V, \text{ м/с.}$													$m, \%$
	4,04	4,95	5,71	6,39	7,00	7,56	8,08	8,57	9,03	9,56	9,90	10,30	10,69	
	$c, \%$													
<2,4	0,15	0,19	0,42	0,79	2,34	1,64	1,28	1,49	2,16	3,09	0,68	0,00	0,0	14,24
2,5	0,00	0,01	0,01	0,04	0,09	0,17	0,40	0,63	1,96	5,70	3,13	0,99	0,0	13,14
2,7	0,00	0,02	0,01	0,04	0,16	0,35	0,66	1,75	5,38	10,06	21,09	22,58	2,30	64,41
2,9	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,04	0,04	0,07	0,20	0,40	2,56	3,18	0,09	6,64
3,1	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,04	0,02	0,01	0,08	0,49	0,64	0,21	0,02	1,58
Сумма	0,18	0,23	0,45	0,91	2,64	2,24	2,40	3,96	9,78	19,74	28,11	26,95	2,41	100,00

Из таблицы 4.3 можно отметить, что у частиц зернового вороха с увеличением линейного размера увеличивается скорость витания. При этом частицы,

имеющие толщину менее 2,4 мм, имеют скорость витания в диапазоне 7,0 – 9,6 м/с, что затрудняет выделение этих частиц лишь одним воздушным потоком.

Таким образом, основную часть исследуемого вороха составляют зерна со скоростью витания 9-10 м/с и с толщиной зерновки 2,5-2,9 мм. Количество целых зерен в ворохе со скоростью витания менее 9 м/с не больше 1%, а основную часть вороха с такой скоростью витания составляют дроблёные и повреждённые болезнями зерновки. Исходя из этого, можно сделать вывод, что для эффективного выделения дроблёных и некондиционных зерен из зернового вороха основной фракции скорость воздушного потока в аспирационном канале послерешетной воздушной очистки должна быть не менее 9 м/с.

#### **4.2 Распределение скорости воздушного потока по сечению вертикального пневмосепарирующего канала**

Для определения качественных показателей работы вертикального пневмосепарирующего канала необходимо знать распределение воздушного потока внутри него. Как было указано ранее, распределение скоростей воздушного потока определяли экспериментальным путём с использованием Testo 435 и трубки Пито в соответствии с методикой. Результаты обработки экспериментальных значений представлены в таблице 4.4.

Проанализировав данные, представленные в таблице 4.4, видно, что вне зависимости от частоты вращения вентилятора характер распределения скоростей воздушного потока сохраняется постоянным по всем плоскостям, в которых производился замер.

Для большей наглядности была построена диаграмма распределения скоростей воздушного потока в пневмоканале при частоте вращения вентилятора 2192 мин<sup>-1</sup> (рисунок 4.6).

Из диаграммы следует, что распределение скоростей воздушного потока в плоскости, находящейся ниже загрузочного окна, имеет характер нормального распределения в отличие от распределения скоростей воздушных масс над загрузочным окном, где мы можем наблюдать сдвиг скоростей к правой части пневмо-

канала. Такой характер изменения полей скоростей легко объясняется подсосом воздуха через загрузочное окно, из-за которого создаётся боковое давление

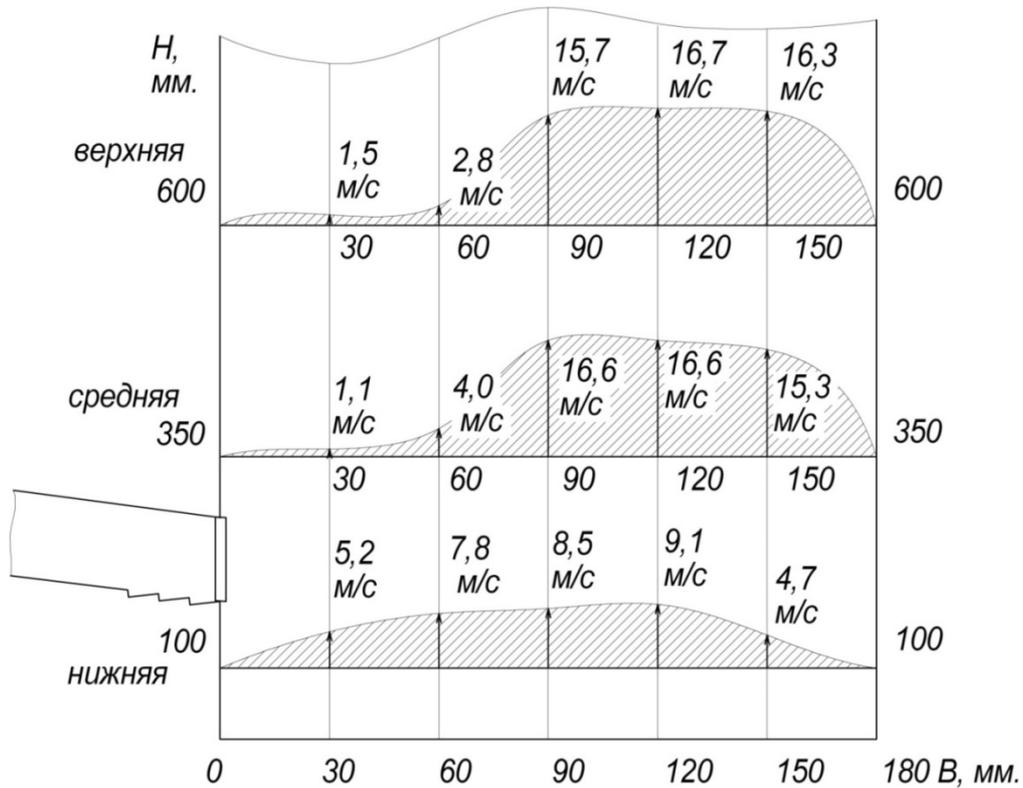


Рисунок 4.6 – Диаграмма распределения скоростей по глубине пневмоканала в 3-х плоскостях

Таблица 4.4 – Распределение скоростей воздушного потока в вертикальном пневмосепарирующем канале в зависимости от частоты вращения вентилятора

$n_v, \text{мин.}^{-1}$		$X, \text{мм}$	30	60	90	120	150
			$V, \text{м/с}$				
1930	Верх		1,3	2,7	13,5	15,2	14,8
	Средн		0,8	3,6	13,9	14,5	13,3
	Нижн		4,3	7,1	7,4	7,9	3,0
2016	Верх		1,2	2,5	13,9	15,3	14,9
	Средн		1,1	3,5	15	15,2	13,9
	Нижн		5,8	7,2	7,9	8,3	2,6
2108	Верх		1,8	2,5	14	16,1	15,6
	Средн		1,1	3,5	15,7	15,9	14,8
	Нижн		5,1	7,7	8,4	8,9	5,1
2192	Верх		1,5	2,8	15,7	16,7	16,3
	Средн		1,1	4,0	16,6	16,6	15,3
	Нижн		5,2	7,8	8,5	9,1	4,7
2279	Верх		1,4	3,1	16,7	18,0	17,3
	Средн		1,0	4,0	17,3	17,2	16,0
	Нижн		5,3	8,3	9,1	9,8	4,8

В результате встречи двух воздушных потоков, вертикального и горизонтального, основной воздушный поток сдвигается в сторону направления горизонтального воздушного потока. Такое распределение скоростей воздушного потока внутри пневмосепарирующего канала может плохо сказаться на качестве пневмосепарации в системе послерешетной очистки двухаспирационной зерноочистительной машины.

Так неполноценные зерна, которые подхватываются воздушным потоком большей скорости и должны выноситься в осадочную камеру, попадают в зону пневмосепарирующего канала, в которой скорость воздуха приближена к нулю, в результате чего частицы будут опускаться, и попадать в очищенный материал, снижая его качество.

Также в результате перераспределения скоростей в пневмосепарирующем канале возникает зона повышенных скоростей. Полноценное зерно, попав в такую зону, будет выноситься в фураж, что приведет к повышенным потерям качественного зерна в системе послерешетной аспирации.

Для выравнивания скоростей воздушного потока по глубине и высоте вертикального пневмосепарирующего канала необходимо устранить боковой подсос воздуха. Это можно сделать, уменьшив площадь сечения загрузочного окна, тем самым герметизируя загрузку пневмоканала.

Уменьшение площади сечения загрузочного окна подразумевает под собой уменьшение его высоты в соответствии с устанавливаемой производительностью.

На большинстве современных зерноочистительных машин в системе послерешетной пневмосепарации имеется автоматизированная герметизирующая заслонка, которая увеличивает и уменьшает высоту открытия загрузочного окна в зависимости от высоты слоя зернового вороха, поступающего с решетной очистки [101].

Для исключения бокового подсоса воздуха на пневмосепарирующий канал экспериментальной установки была смонтирована регулируемая герметизирующая

щая заслонка. После чего был произведен замер скоростей воздушного потока по вышеописанной методике. Результаты замера приведены в таблице 4.5.

По данным, приведенным в таблице, можно сказать, что применение герметизирующей заслонки загрузочного окна позволяет выровнять скорости воздушного потока в пневмосепарирующем канале. Важно отметить то, что, исключая подсос воздуха через загрузочное окно, скорость воздушного потока в плоскости, которая располагается ниже загрузки, повысилась. Это будет способствовать повышению качества пневмосепарации.

Таблица 4.5 – Распределение скоростей воздушного потока в вертикальном пневмосепарирующем канале в зависимости от частоты вращения вентилятора с герметизирующей заслонкой

		$X$ , мм	30	60	90	120	150
		$V$ , м/с					
1930,0	Верх		5,7	8,6	9,4	9,0	8,5
	Средн		1,5	11,0	12,5	11,8	10,0
	Нижн		7,8	8,9	9,7	10,2	0,2
2016	Верх		6,3	9,2	9,5	9,1	8,6
	Средн		1,3	12	13,1	12,2	10,6
	Нижн		8,3	9,3	10,2	10,3	0,2
2108	Верх		5,8	9,3	10,5	9,8	9,3
	Средн		1,4	11,1	13,8	13,2	11,4
	Нижн		8,6	9,8	10,7	11,1	0,3
2192	Верх		6,7	9,8	11,0	9,8	9,8
	Средн		0,7	11,7	14,4	13,5	11,5
	Нижн		9,0	10,2	11,2	11,2	0,4
2279	Верх		7,3	9,4	10,5	9,8	9,8
	Средн		1,8	12,5	15,1	13,7	11,9
	Нижн		9,4	10,6	11,6	11,9	0,5

По результатам замеров была построена диаграмма полей скоростей (рисунок 4.7). На диаграмме полей скоростей воздушного потока при использовании герметизирующей заслонки хорошо видно, что скорость воздушного потока в нижней плоскости заметно увеличилась, т.е. можно отметить, что у стенки, противоположной загрузочному окну, появилась зона низкой скорости (0,4 м/с). Это связано с тем, что приемный бункер вплотную пододвинут к ней.

Дальнейшие исследования показали, что если убрать бункер, то скорости в нижней плоскости перераспределятся, но характер распределения сильно не изменится.

Можно отметить, что зона низких скоростей в средней плоскости уменьшилась потому, что при отсутствии подачи зернового вороха через загрузочное окно в пневмоканал поступает некоторое количество воздуха. Но в верхней плоскости поле скоростей приобрело характер близкий к нормальному распределению.

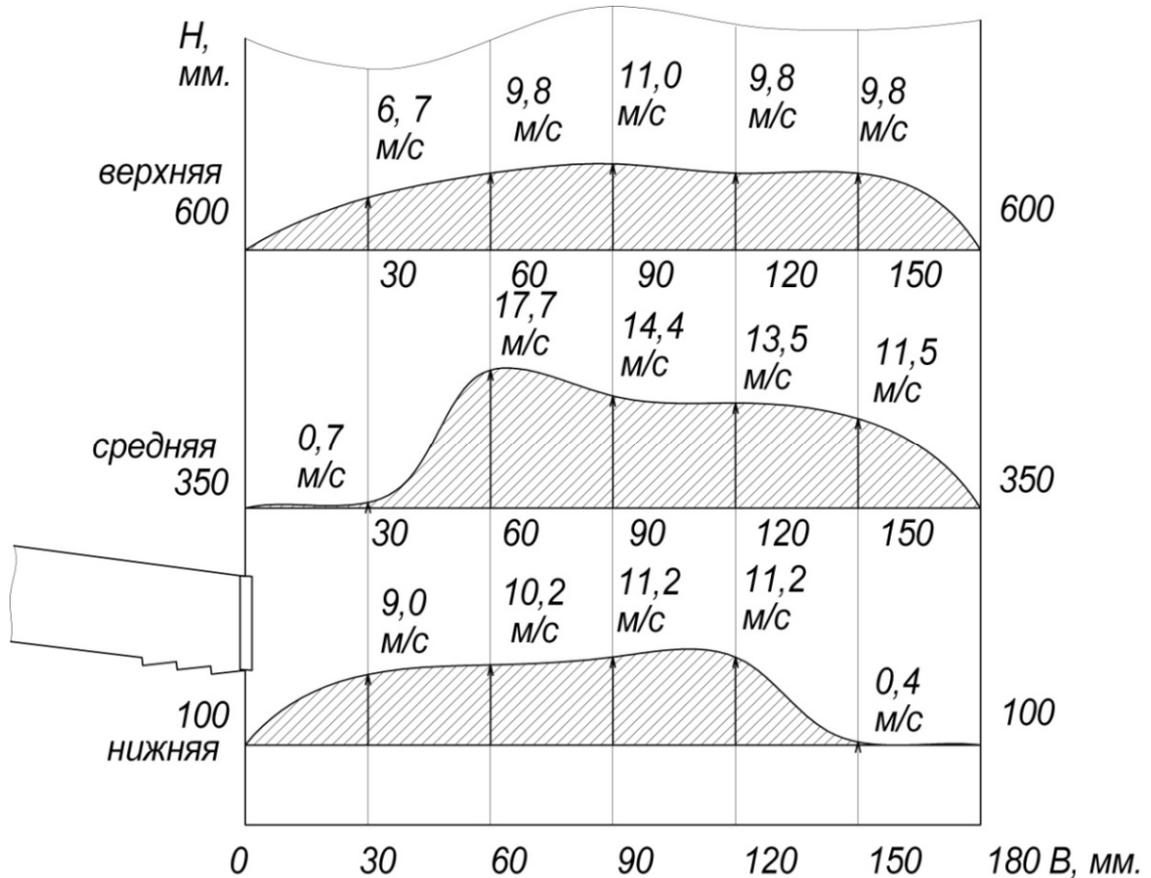


Рисунок 4.7 – Диаграмма распределения скоростей по глубине пневмоканала в 3-х плоскостях с использованием герметизирующей заслонки

При таких показателях работы вертикального пневмосепарирующего канала можно проводить экспериментальные исследования, так как при подаче зернового вороха в пневмоканал подсос воздуха через загрузочное окно практически исключается, и скорости воздушного потока выравниваются по всему пневмоканалу.

Проведенные исследования распределения воздушного потока по глубине пневмоканала показали, что при загрузке послерешетной аспирации универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин необходимо герметизировать загрузочные окна и места ввода питающих устройств, что позволит более эффективно использовать воздушный поток в вертикальных пневмоканалах.

### 4.3 Обоснование рациональных параметров питающего устройства

Для определения оптимальных геометрических параметров ступеней питающего лотка было изготовлено несколько опытных образцов скатных поверхностей питателя. На рисунке 4.8 представлены фотоматериалы работы питающего лотка с различными поверхностями.

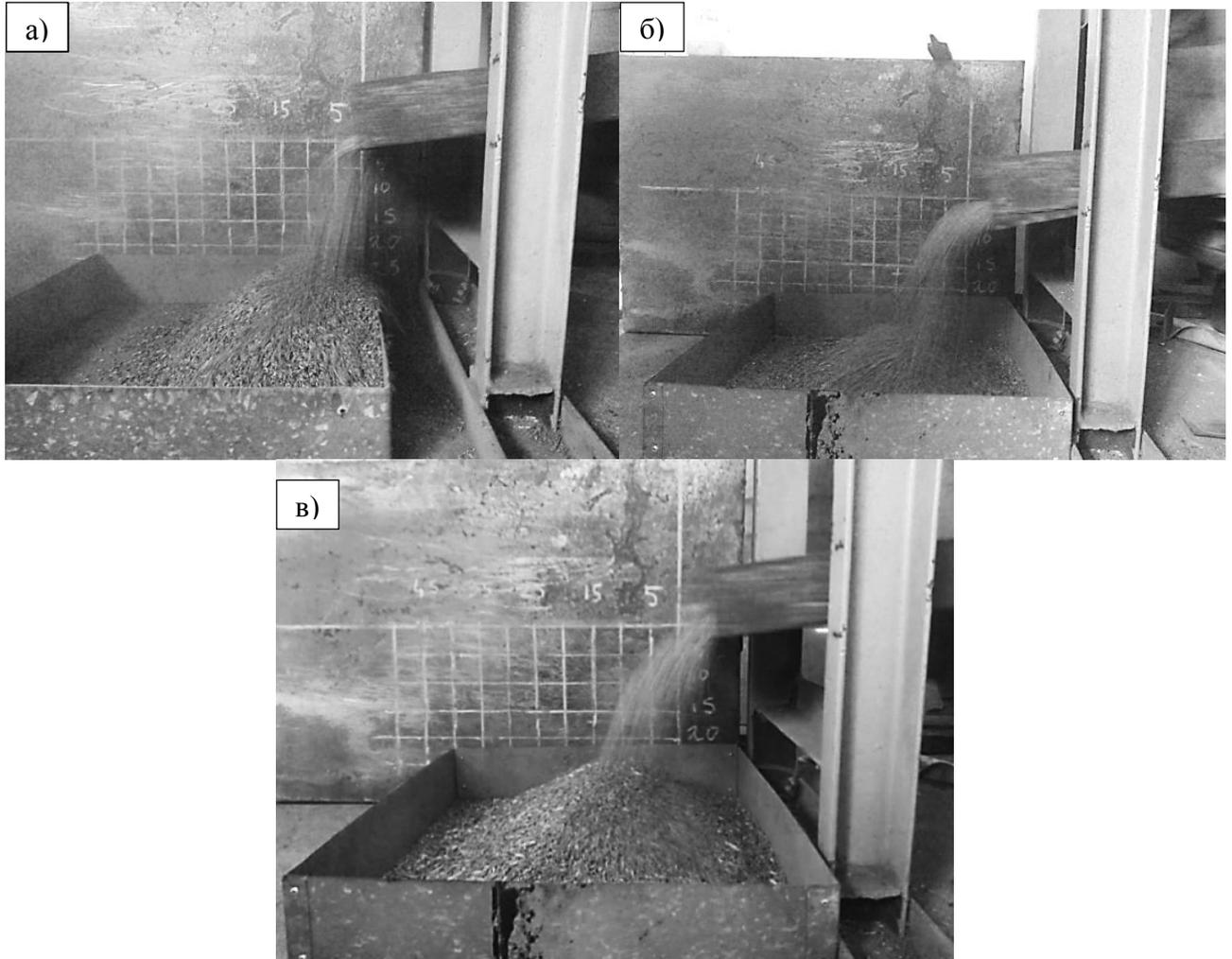


Рисунок 4.8 – Сход зернового вороха с питающего лотка: а) питающий лоток с гладкой поверхностью; б) питающий лоток, имеющий 8 уступов; в) питающий лоток, имеющий 3 уступа высотой 4 мм

На рисунке 4.8(а) представлен процесс схода зернового вороха с гладкой поверхности питающего лотка, представленного для сравнения в качестве контрольного образца. В работе питателя с такой скатной поверхностью видно, что большая часть подаваемой массы соскальзывает с лотка и падает непосредственно под него.

Рисунок 4.8 (б) отображает работу питающего лотка, скатная поверхность которого имеет восемь одинаковых ступеней шириной 25 мм и высотой 2 мм. На

рисунке 4.8 (в) изображен процесс схода зерновой массы с питающего лотка, который на конце скатной поверхности имеет три одинаковых уступа шириной 25 мм и высотой 5 мм. При работе опытных образцов наблюдалось увеличение дальности полета отдельных частиц в сравнении с гладким питателем.

Обработав фотоматериалы экспериментального исследования, были построены траектории схода зерновой массы с питающих лотков различной конструкции (рисунок 4.9).

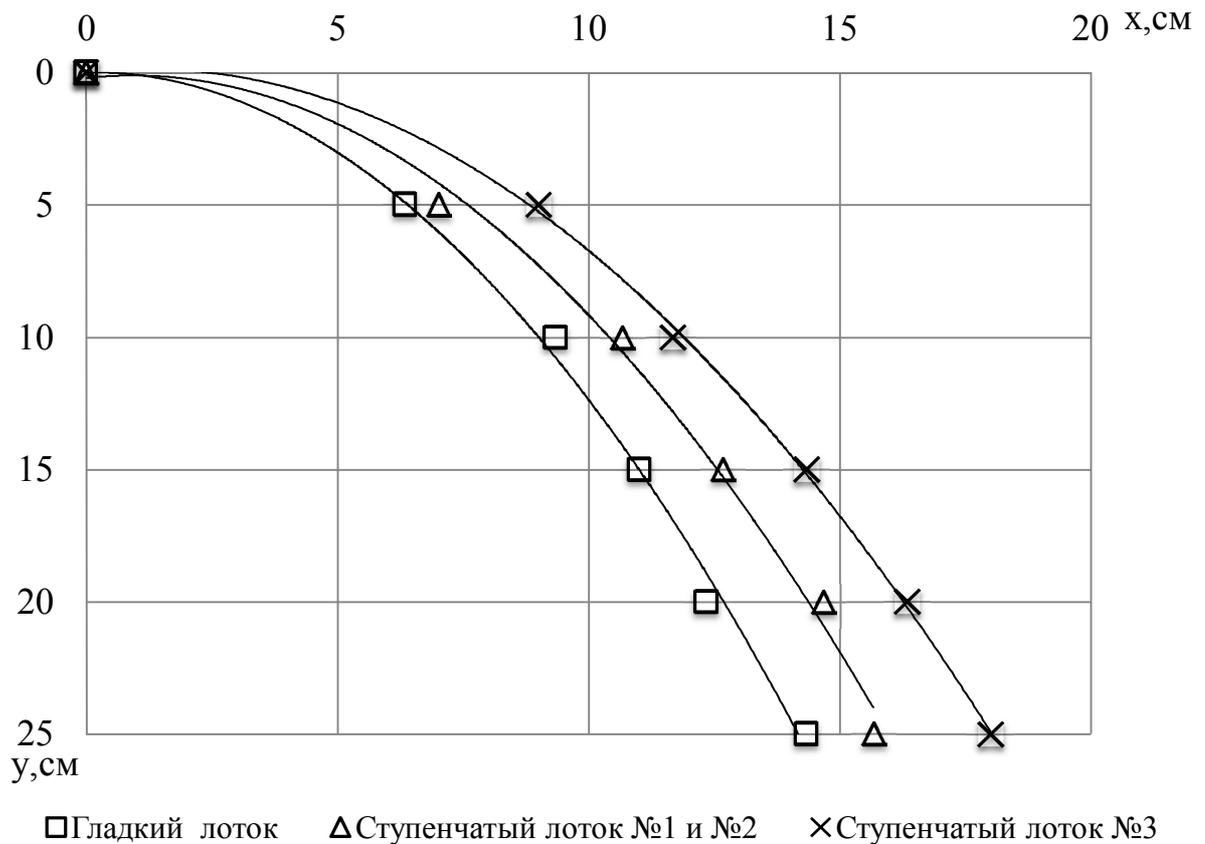


Рисунок 4.9 – Траектории схода материала с различных питающих лотков

Проанализировав результаты исследований, можно отметить, что наличие ступеней на скатной поверхности питающего лотка, который осуществляет возвратно-поступательное движение, приводит к изменению траектории полета частиц в сторону увеличения радиуса кривизны. При этом траектории схода с питающих лотков № 1 и № 2 (Глава 3), оказались практически идентичны. Это указывает на то, что на изменение траектории схода зернового вороха наибольшее влияние оказывает высота ступеней, нежели их количество.

Наибольшее изменение траектории полета получили у лотка № 3 с тремя ступенями высотой 4 мм. В сравнении с гладким лотком, дальность полета увеличилась почти на 40 мм при высоте падения 250 мм.

При построении траекторий полета были учтены только те частицы, которые имели наибольшую дальность полета. Во всех экспериментах дальность полета изменялась незначительно, в связи с этим было принято решение провести сравнительный эксперимент работы послерешетной пневмосистемы двухаспирационной зерноочистительной машины при вводе обрабатываемого материала с питающих поверхностей – контрольной (гладкий лоток) и разработанной (питающий лоток со ступенями на рисунке 4.10).

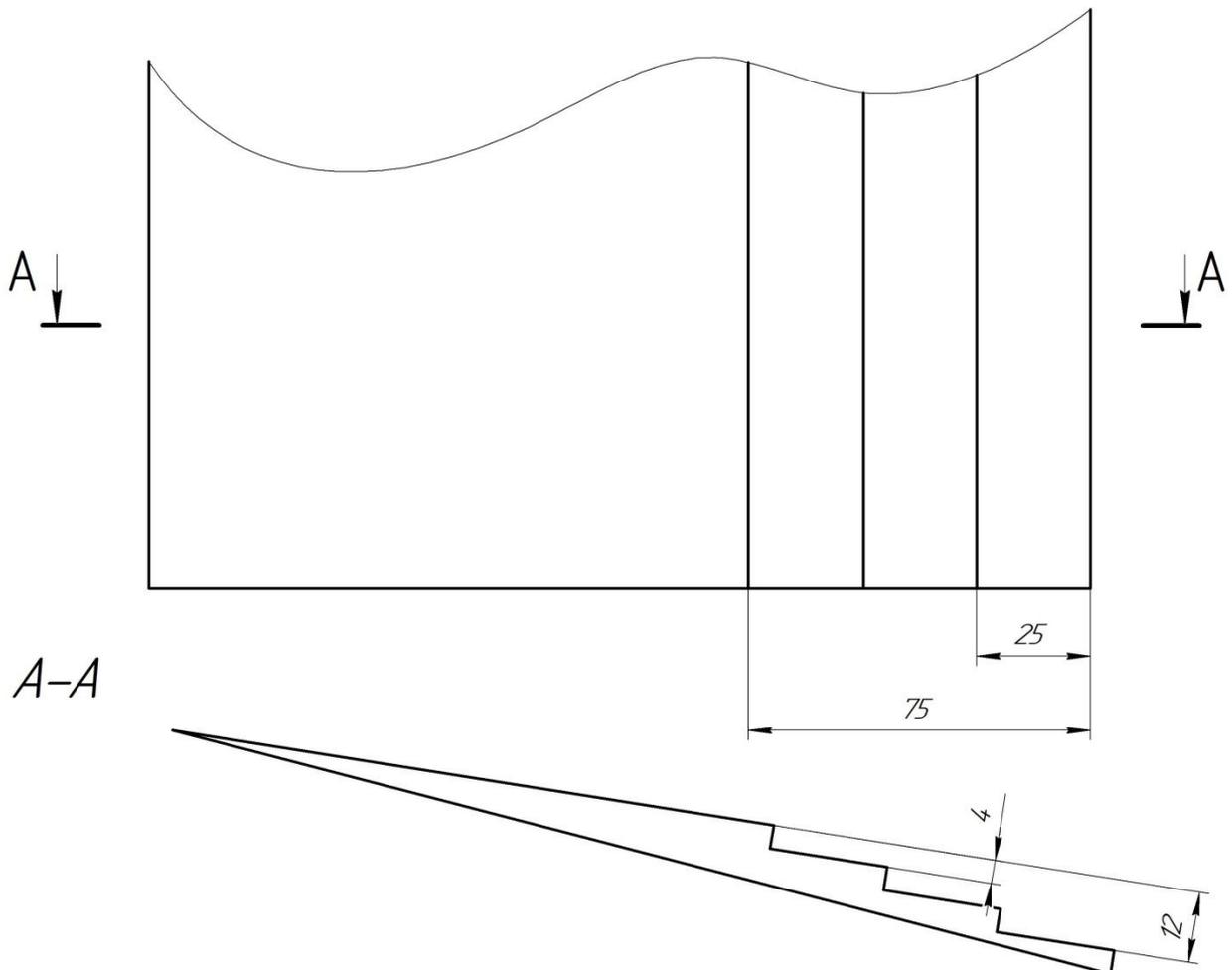


Рисунок 4.10 – Скатная поверхность с тремя ступенями высотой 4 мм

Результаты сравнительного эксперимента представлены на рисунках 4.11 и 4.12.



Рисунок 4.11 – Подача зернового вороха в пневмоканал питающимлотком с гладкой скатной поверхностью

На рисунке 4.11 заметно, что гладкая поверхность питателя формирует своеобразную струю зернового вороха, хоть и довольно широкую. Зерновой поток начинает рассеиваться только вблизи противоположной вводу стенке пневмоканала, а соответственно выделение компонентов воздушным потоком происходит только у дальней стенки пневмоканала. На фотографии видно, что выделение легких частиц из такого рода струи затруднительно, и это негативно может сказаться на пневмосепарации.

На второй фотографии (рисунок 4.12) видно, что при сходе зерновой массы с колеблющейся ступенчатой поверхности материал заполняет пневмоканал более равномерно по всей глубине, чем при сходе с гладкой поверхности.



Рисунок 4.12 – Подача зернового вороха в пневмоканал питающим лотком со ступенчатой скатной поверхностью

Равномерно распределенная по глубине пневмосепарирующего канала обрабатываемая масса даёт возможность выделять легковесные примеси из вороха, не создавая дополнительных препятствий воздушному потоку. Так же равномерное распределение материала в пневмоканале дает возможность воздушному потоку выделять примеси из вороха практически по всей глубине, как показано на рисунке 4.12.

В результате сравнительного эксперимента было определено распределение массы обрабатываемого вороха по выходам лабораторной установки, которое отображено в таблице 4.6.

Из таблицы 4.6 можно отметить, что при работе ступенчатого лотка в осадочную камеру послерешетной аспирации выделено большее количество частиц, чем при работе гладкого лотка при одной и той же скорости воздушного потока и подаче материала. Это связано с более интенсивным выносом целых зерен, что

указывает на более эффективную работу воздушного потока при равных условиях.

Таблица 4.6 – Распределение компонентов зернового вороха по выходам установки

Выход	лоток	$P_z$	$P_d$	$P_{щ}$	$P_{п}$	$P_{н}$	$P_c$	m 1000
$M_{оф}$	Г.	62,7	1,0	0,7	1,0	0,3	0,1	36,7
	С	67,0	0,8	0,5	0,5	0,2	0,0	37,9
$M_{окп}$	Г	1,4	0,2	0,1	0,1	0,2	0,0	31,6
	С	2,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,0	32,1
$M_{окд}$	Г	1,3	1,2	0,2	0,1	0,1	0,0	29,7
	С	1,1	0,9	0,2	0,1	0,0	0,0	27,3
$M_{ср}$	Г	20,6	5,5	0,43	0,42	0	0	26,8
	С	19,3	3,9	0,4	0,4	0	0	27,6

Ещё можно отметить, что при подаче со ступенчатого питающего лотка в очищенном материале содержится больше целого и меньше дробленого зерна в сравнении с контрольным вариантом.

По результатам проведенных экспериментальных исследований было разработано устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха на двухаспирационных зерноочистительных машинах, которое защищено патентом РФ № 166514 (рисунок 4.13) [83].

Устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха состоит из пневмосепарирующего канала 1 с поперечным окном 2 для ввода зернового материала, в котором установлен колеблющийся питатель 3 со ступенями 4. Питатель состоит из боковых стенок, и скатной поверхности. Скатная поверхность лотка имеет ступенчатый рельеф. Ступени имеют высоту  $a$ , ширину  $b$  и угол наклона  $\beta$ .

Выбор высоты  $a$  ступеней определяется физико-механическими свойствами зернового вороха из условия обеспечения наибольшей степени контакта между зерном и питателем, что необходимо для придания начальной скорости ввода материала в пневмосепарирующий канал.

Ширина  $b$  ступеней выбирается меньше или равной амплитуде колебания самого питателя, для обеспечения равномерной загрузки пневмоканала.

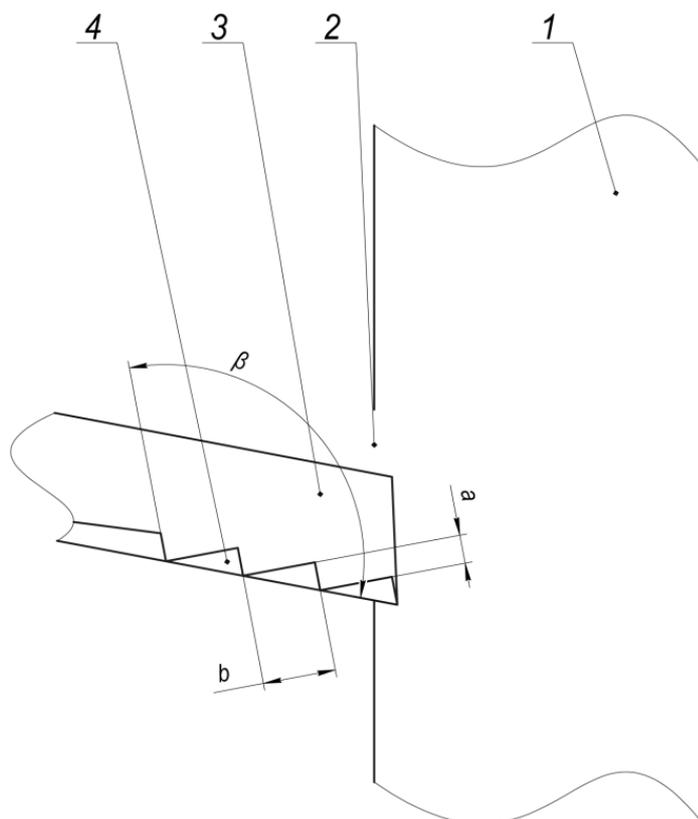


Рисунок 4.13 – Устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха: 1 – вертикальный пневмоканал; 2 – поперечное загрузочное окно; 3 – питающий лоток; 4 – ступенчатая поверхность питающего лотка; а – высота уступа; b – длина ступени;  $\beta$  – угол наклона ступени к лотку

Угол наклона ступеней влияет на разброс по высоте траекторий полета частиц на входе в пневмоканал, а следовательно на равномерность распределения вороха как по площади сечения канала, так и по объёму наиболее активной зоны сепарации.

Например, для вороха пшеницы, обрабатываемой на двухаспирационной зерноочистительной машине с амплитудой колебания решетного стана 30мм, рекомендуемая ширина ступени будет равна 25 – 30 мм, высота ступени от 4 до 8мм., а угол наклона равен  $100^\circ \pm 10^\circ$ .

Устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха работает следующим образом.

Зерновой ворох поступает в пневмосепарирующий канал 1 через окно 2 по подающему лотку 3 с определенной скоростью. При движении по питающему лотку скорость зерновой смеси приближается к линейной скорости движения лот-

ка, что приводит к ускорению массы. За счет ударов частиц вороха о стенки ступеней, которые имеют угол наклона  $\beta$ , зерновая масса более равномерно распределяется по сечению канала, в котором зерновая смесь под действием восходящего воздушного потока разделяется на составляющие. Вывод очищенного зерна осуществляется через нижнюю часть канала 1.

Равномерность распределения зерновой массы по сечению канала обеспечивается подающим лотком, который имеет на вводе в канал ступенчатую поверхность, которая при возвратно-поступательном движении лотка придает дополнительную скорость части зернового вороха в момент подачи в пневмосепарирующий канал. При взаимодействии обрабатываемого материала со ступенчатой поверхностью подающего лотка и соударения зерновок между собой частицы вороха отражаются под разными углами, образуя рассредоточенный веерообразный поток зерновой смеси в пневмосепарирующем канале, позволяющий воздушному потоку легче извлекать из него легковесные примеси и выносить их в осадочную камеру зерноочистительной машины [83].

#### **4.4 Распределение зернового вороха по сечению вертикального канала пневмосистемы и оценка результатов моделирования**

Равномерность распределения зерновой массы по глубине вертикального пневмосепарирующего канала играет важную роль в процессе пневмосепарации. Так Тавтилов И. Ш. в своих трудах отмечает, что при обеспечении равномерной загрузки прямоугольного пневмоканала по глубине можно добиться увеличения эффективной производительности пневмосепаратора от 15 до 25 % в зависимости от свойств исходного материала.

На кафедре сельскохозяйственных машин Воронежского ГАУ были проведены исследования работы разработанного устройства патент (РФ № 166514). Проведена оценка равномерности распределения зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала при различных условиях.

Произвели определение равномерности распределения подаваемого вороха по глубине вертикального пневмоканала в сравнении с контрольным образцом

без воздушного потока, чтобы охарактеризовать работу питающего лотка разработанного устройства.

Характер распределения зернового вороха по глубине пневмоканала при описанных условиях отображен на диаграммах (рисунок 4.14).

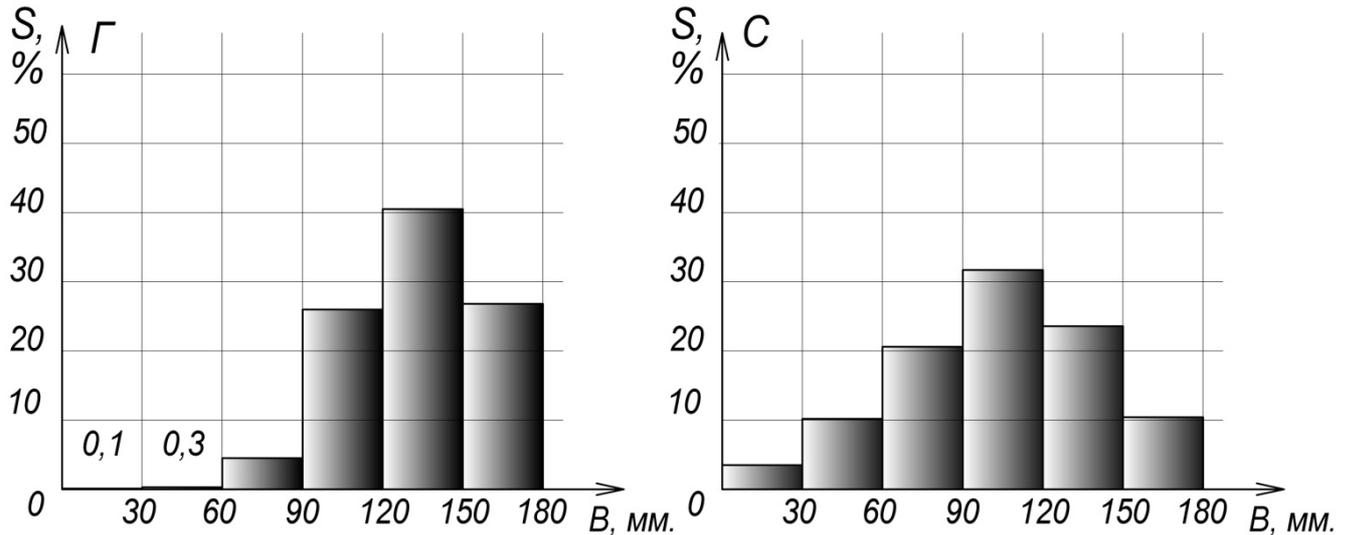


Рисунок 4.14 – Распределение зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала без воздушного потока: Г – при сходе с гладкой скатной поверхности; С – при сходе с лотка разработанной конструкции, имеющим уступы высотой 4 мм

На диаграмме обозначенной буквой «Г» отображено распределение зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала в результате схода с гладкой скатной поверхности. Из диаграммы видно, что масса распределяется по каналу не равномерно. Наибольшая концентрация зернового вороха наблюдается на удалении 120-150 мм от точки ввода материала и составляет около 40% от массы, подаваемой в канал. На расстоянии от 0 до 60 мм концентрация материала близка к 0%. Это говорит о том, что при подаче материала в пневмоканал с гладкой поверхности все частицы, сходящие с питающего лотка, имеют приблизительно одну и ту же траекторию полета. В результате образуется струя зернового вороха, которую мы наблюдали на рисунке 4.11.

Буквой «С» на рисунке 4.14 обозначена диаграмма характеризующая распределение зернового вороха по глубине вертикального пневмоканала при подаче питающим лотком разработанной конструкции. Из диаграммы можно отметить, что пик концентрации материала находится практически посередине канала, а само распределение имеет более пологий характер в сравнении с распределением

вороха при подаче с гладкой поверхности. Также из диаграммы видно, что в зоне находящейся непосредственно под точкой ввода материала (от 0 до 60 мм) концентрация материала более высокая в сравнении с работой контрольного образца и составляет около 14% .

Проведенный опыт сравнения работы разработанного и контрольного питателей без включения вентилятора подтвердил эффективность ступенчатой поверхности, так как она обеспечила более равномерное распределение зернового вороха по глубине канала послерешетной воздушной очистки.

Результаты исследования равномерности загрузки пневмоканала по глубине без воздействия восходящего воздушного потока приведены в таблице 4.7 .

Таблица 4.7 – Распределение зернового вороха по глубине пневмоканала при подаче с различных поверхностей без воздействия воздушного потока

Используемая поверхность	X, мм					
	0-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180
	S, %					
Гладкая	0,1	0,3	4,5	26,0	40,5	28,6
Ступенчатая	3,5	10,2	20,6	31,7	23,6	10,4

Другая крайность производственных ситуаций может потребовать более высокой скорости воздушного потока. Поэтому был произведен сравнительный эксперимент по определению равномерности распределения зернового вороха по глубине пневмоканала при загрузке с различных поверхностей при воздействии восходящего воздушного потока скоростью до 10 м/с. Результаты эксперимента представлены в таблице 4.8 и на рисунке 4.15.

Таблица 4.8 – Распределение зернового вороха по глубине пневмоканала при подаче с различных поверхностей при воздействии воздушного потока

Используемая поверхность	X, мм					
	0-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180
	S, %					
Гладкая	0,5	1,2	2,7	8,5	29,2	57,9
Ступенчатая	2,0	4,7	7,4	12,4	23,5	50,0

Из результатов исследований при воздействии более интенсивного воздушного потока на подаваемое зерно, видно, что в обоих случаях распределение зер-

нового вороха значительно сдвигается к дальней стенке канала. Это связано с тем, что при воздействии восходящего потока воздуха на зерновой ворох появляется дополнительная сила, направленная вверх, из-за которой траектории падения частиц вороха удлиняются. Кроме того на смещение материала в пневмоканале влияет поток воздуха, засасываемый через негерметизированное загрузочное окно.

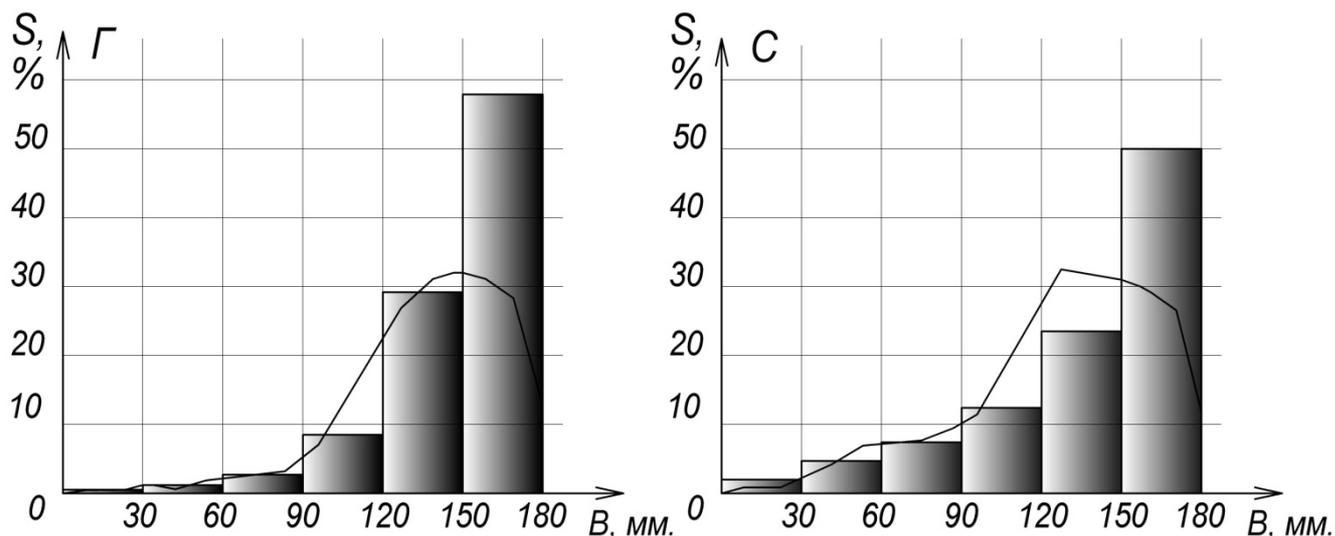


Рисунок 4.15 – Распределение зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала при воздействии воздушным потоком: Г – при сходе с гладкой скатной поверхности; С – при сходе с лотка разработанной конструкции, имеющим уступы высотой 4 мм; ■ – экспериментальное распределение; — - теоретическое распределение

На рисунке хорошо различимо, что предлагаемый питатель распределяет зерновой ворох более равномерно. Если проанализировать цифры, отображенные в таблице 4.8, можно сделать вывод, что равномерность распределения увеличилась на величину около 15% от массы, поданной в пневмоканал. Проведенные экспериментальные исследования по распределению зернового вороха по глубине пневмоканала подтверждают результаты математического моделирования, описанного в теоретических исследованиях. Они также представлены на рисунке 4.15 в виде кривых, наложенных на диаграммы.

В сравнении можно отметить, что характер распределения, полученный в результате моделирования, практически совпадает с экспериментальным распределением. Единственным значимым отличием является положение пика концентрации материала. При математическом моделировании пик получился немного дальше от дальней стенки пневмоканала в сравнении с экспериментальным. Это связано с тем, что при моделировании полёта частицы зернового вороха в случае,

когда частица достигала дальней стенки канала, мы учитывали коэффициент отражения и принимали его в диапазоне от 0,5 до 0,65.

При проведении сравнительного эксперимента были отобраны образцы для определения состава зернового вороха и массы 1000 семян в зависимости от глубины отбора в пневмоканале. Результаты разборок приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Распределение компонентов вороха и массы 1000 семян по глубине канала сходом с гладкого лотка (Г) и ступенчатого лотка (С).

X, мм.	m, %		$P_3$ , %		$P_d$ , %		$P_{ш}$ , %		$P_{п}$ , %		$P_{н}$ , %		масса 1000, г.	
	Г	С	Г	С	Г	С	Г	С	Г	С	Г	С	Г	С
0-30	0,5	2	0,49	1,89	0,01	0,03	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00	0,00	37,5	38,00
30-60	1,2	4,7	1,15	4,57	0,02	0,06	0,02	0,04	0,00	0,03	0,01	0,00	37,4	38,80
60-90	2,7	7,4	2,52	7,16	0,07	0,10	0,06	0,06	0,04	0,07	0,01	0,02	37,5	38,60
90-120	8,5	12,4	8,22	12,04	0,09	0,15	0,08	0,06	0,10	0,09	0,02	0,06	37,4	37,50
120-150	29,2	23,5	28,11	22,66	0,39	0,31	0,26	0,13	0,34	0,25	0,10	0,16	38	38,20
150-180	57,9	50	56,05	48,06	0,66	0,50	0,61	0,56	0,48	0,70	0,10	0,18	38,4	38,30
Сумма	100	100	96,29	96,57	1,34	1,22	1,11	0,79	1,02	1,03	0,25	0,39	37,70	38,23

Из таблицы видно, что обработанный зерновой ворох, поданный в пневмоканал питающим лотком со ступенчатой поверхностью, имеет массу 1000 семян выше, чем очищенный ворох, загруженный с гладкой поверхности. Более высокая масса 1000 семян в обработанном ворохе свидетельствует о меньшей концентрации невыполненных зерновок с низкой плотностью, следовательно, можно сделать вывод о том, что при подаче зернового вороха в канал послерешетной аспирации колеблющимся лотком со ступенчатой поверхностью повышается эффективность выделения неполноценных зерновок.

По приведенным данным можно отметить, что характер распределения всех компонентов по глубине канала похож на общее распределение массы. А именно, чем дальше от точки ввода в пневмоканал, тем больше компонентов там содержится. Эти зависимости отображены на графике (рисунок 4.16)

Исходя из приведенных данных, можно утверждать, что применение ступенчатого питателя не влияет на распределение отдельных компонентов по глубине пневмоканала, а только повышает равномерность распределения массы в целом по глубине пневмоканала.

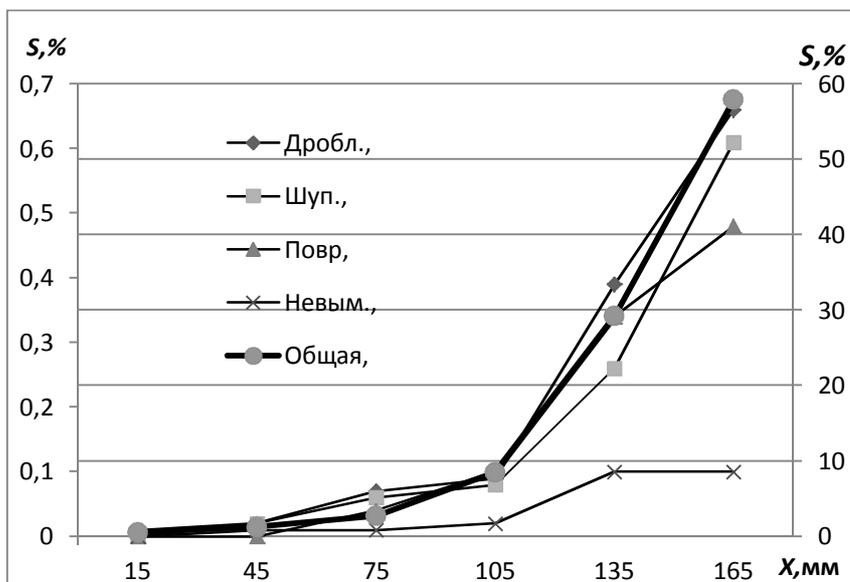


Рисунок 4.16 – Зависимость содержания компонентов вороха от удаленности от точки их ввода в пневмоканал

Хотя если обратить внимание на зависимость массы 1000 семян от удаления от точки ввода при загрузке двумя различными лотками, можно заметить в них отличие (рисунок 4.17).

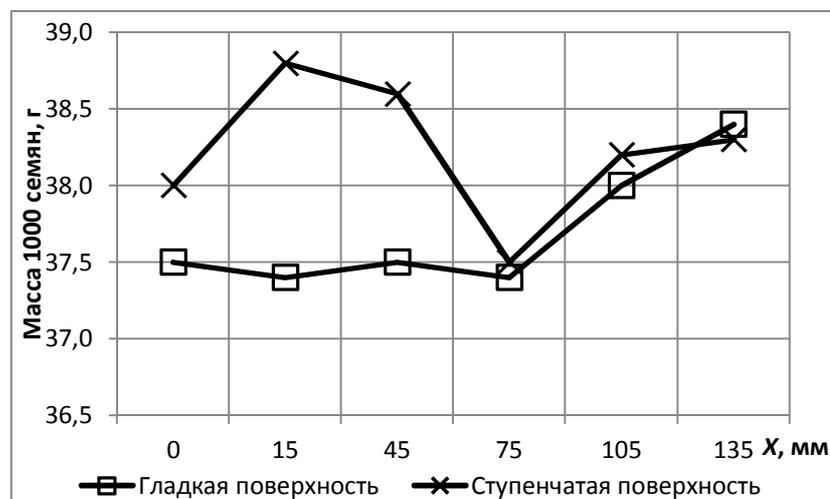


Рисунок 4.17 – Зависимость массы 1000 семян от удаления от точки ввода

Видно, что масса 1000 семян вороха, поданного в пневмоканал питающим лотком со ступенчатой поверхностью, немного выше, чем масса 1000 семян вороха, загруженного с гладкой поверхности. А так как масса 1000 семян является одним из значимых показателей качества зерна, то можно сделать вывод, что использование ступенчатой поверхности при загрузке пневмосепарирующего канала позволяет повысить качество конечного продукта.

#### 4.5 Влияние подачи зернового вороха на сопротивление пневмосистемы

Сопротивление аспирационной системы является одним из основных факторов, влияющих на энергозатраты при послеуборочной обработке зернового вороха. Во время работы воздушно-решетной зерноочистительной машины материал, обрабатываемый в пневмосистемах дорешетной и послерешетной очисток, создает дополнительное сопротивление. Гиевский А.М. в своей работе [28] приводит изменение сопротивления пневмосистемы двухаспираторной зерноочистительной машины в зависимости от величины подачи обрабатываемого вороха. При максимальной подаче сопротивление аспирационной системы зерноочистительной машины возрастает практически в 2 раза. Из-за возникающего сопротивления в пневмоканалах снижается скорость воздушного потока. Чтобы не допустить ухудшения качества пневмосепарации, необходимо поддерживать скорости воздушного потока в пневмоканалах за счет частотного регулирования вентилятора, а это в свою очередь повышает энергозатраты на обработку зернового вороха.

Для оценки возможности сокращения энергозатрат при использовании разработанного устройства было исследовано изменение аэродинамического сопротивления подаваемого зернового вороха в канале послерешетной аспирации в зависимости от величины зерновой нагрузки на пневмоканал при сходе с различных скатных поверхностей. Для проведения исследования были использованы контрольная поверхность, имеющая гладкую фактуру, и разработанная поверхность, которая имеет на конце три уступа высотой 4 мм с шагом 25 мм. Полученные зависимости отображены графически на рисунке 4.18. Из графика следует, что сопротивление зернового вороха неизменно растет с увеличением загрузки пневмосепарирующего канала. Важно отметить, что при зерновой нагрузке свыше 0,15 кг/(дм·с) сопротивление вороха, поступающего в пневмоканал послерешетной аспирации по ступенчатой скатной поверхности питателя, становится несколько ниже, чем при подаче зерна питающим лотком с гладкой скатной поверхностью. С увеличением подачи материала эта разница возрастает.

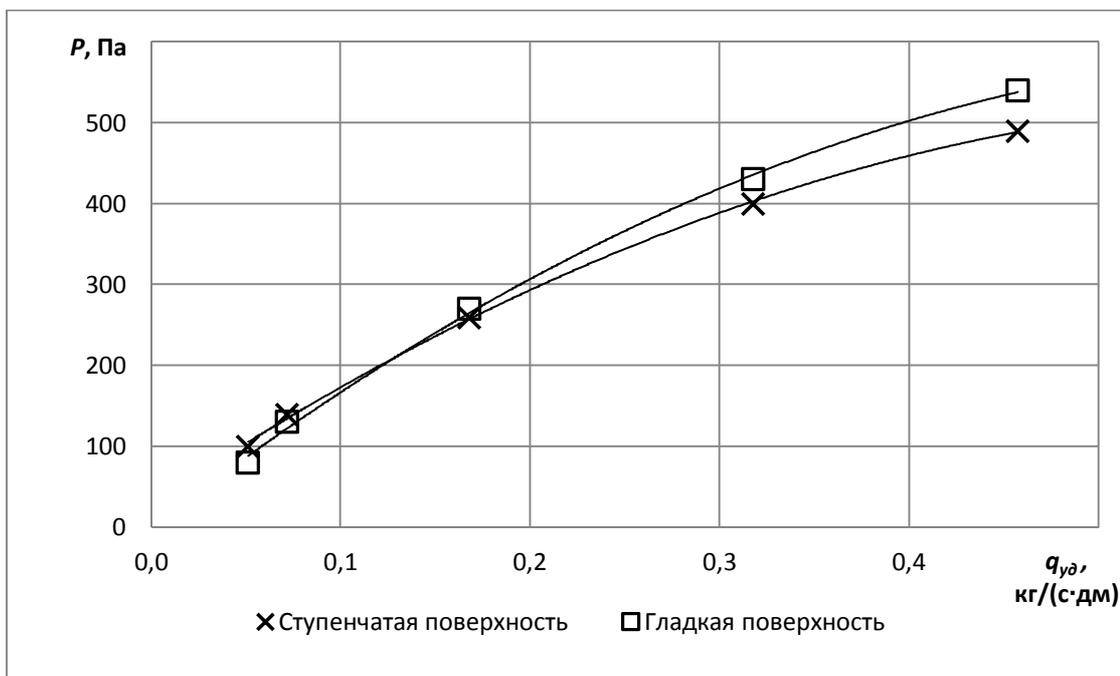


Рисунок 4.18 – Зависимость сопротивления зернового вороха в пневмоканале от величины зерновой нагрузки

Примечательно, что при малой подаче аэродинамическое сопротивление канала с экспериментальным питателем имеет незначительное превышение над сопротивлением контрольного образца. Возможно, при малом количестве вороха он меньше тормозит воздушный поток в своём компактном состоянии, чем в рассредоточенном.

#### 4.6 Влияние интенсивности подачи вороха на равномерность его распределения в пневмосепарирующем канале

Для достижения ожидаемого результата при послеуборочной обработке зерна важно знать, как изменяется тот или иной параметр работы послерешетной аспирации в зависимости от количества обрабатываемого материала в единицу времени. Для этого были проведены экспериментальные исследования влияния величины подачи зернового вороха на качественные показатели работы лабораторной установки.

Основным показателем, характеризующим работу предложенного технического решения, является равномерность распределения зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала. Ранее были приведены материалы, доказывающие более высокую равномерность распределения обрабатываемого материа-

ла в пневмоканале при использовании разработанного питающего устройства, чем при загрузке питателем с гладкой поверхностью.

Также ранее мы определили, что при более равномерной загрузке пневмоканала, снижается его сопротивление, что положительно сказывается на энергозатратах.

Для дальнейшей оценки работы питающего устройства разработанной конструкции были проведены экспериментальные исследования по определению влияния величины удельной зерновой нагрузки на равномерность распределения зерновой смеси в зоне пневмосортирования.

Полученные результаты экспериментальных исследований распределения зерна по глубине пневмосепарирующего канала при различной удельной подаче представлены в таблице 4.10.

В данной таблице отображено распределение массы в процентном соотношении как при подаче предложенным устройством, так и при подаче питающим лотком с гладкой скатной поверхностью.

Таблица 4.10 – Распределение зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала при различной удельной зерновой нагрузке

$q_{уд}$ , кг/(дм <sup>3</sup> ·с)	X, мм						v
	0-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	
	S, %						
При загрузке канала второй аспирации питателем со ступенчатой поверхностью							
0,051	4,95	8,91	12,87	18,81	27,72	26,73	0,51
0,072	2,86	5,71	10,00	17,62	30,00	33,81	0,71
0,168	1,24	3,10	6,19	10,53	27,55	51,39	1,07
0,318	0,80	2,00	4,00	6,80	19,20	67,20	1,40
0,457	0,92	1,62	2,54	4,62	27,71	62,59	1,35
При загрузке канала второй аспирации питателем с гладкой поверхностью							
0,051	1,74	4,35	9,57	13,91	25,22	45,22	0,89
0,072	0,60	1,20	3,61	7,23	20,48	66,87	1,41
0,168	0,06	0,16	0,31	1,25	9,38	88,83	1,95
0,318	0,00	0,01	0,34	0,68	4,75	94,23	2,08
0,457	0,00	0,00	0,00	0,01	2,60	97,39	2,17

Из таблицы 4.10 можно отметить, что при увеличении удельной зерновой нагрузки равномерность распределения обрабатываемой массы по глубине пневмоканала значительно снижается. Это объясняется тем, что при большей концентрации зерновой смеси на вводе в аспирационный канал требуется больше време-

ни на выделение легковесных примесей из вороха, в течение которого часть массы достигает задней стенки.

Следует отметить, что при удельной зерновой нагрузке  $0,32 \text{ кг}/(\text{дм}\cdot\text{с})$  и подаче лотком с гладкой поверхностью в зоне, находящейся непосредственно под загрузочным окном концентрация вороха равна 0. Далее при повышении удельной зерновой нагрузки до  $0,46 \text{ кг}/(\text{дм}\cdot\text{с})$  уже на расстоянии до 90 мм от точки ввода материала его концентрация равна 0. Это указывает на то, что при повышении производительности зерноочистительной машины снижается эффективность работы её послерешетной аспирации с подачей сходом с сортировального решета. Важно, что при удельной зерновой нагрузке на вторую аспирацию  $0,46 \text{ кг}/(\text{дм}\cdot\text{с})$  в половине пневмоканала выделение легковесных примесей практически не происходит. Следовательно, при больших производительностях послерешетная аспирация будет работать вполовину возможного, а то и меньше.

В таблице 4.10 видно, что даже при удельных зерновых нагрузках равных  $0,32$  и  $0,46 \text{ кг}/(\text{дм}\cdot\text{с})$  при загрузке питателем со ступенчатой поверхностью зерно присутствует по всей глубине вертикального пневмоканала. Это доказывает, что при загрузке канала послерешетной аспирации предложенным устройством даже при высоких производительностях сепарация происходит по всей глубине пневмоканала. Также из таблицы можно выделить, что при загрузке питающим лотком разработанной конструкции равномерность загрузки пневмоканала по глубине выше, на что указывает график на рисунке 4.19.

На графике отображены зависимость коэффициента вариации распределения зерна при загрузке послерешетной аспирации со сравниваемых питателей. Данные зависимости наглядно показывают изменение равномерности распределения зернового вороха по глубине пневмоканала. На графике видно, что при увеличении удельной зерновой нагрузки равномерность распределения в обоих случаях снижается.

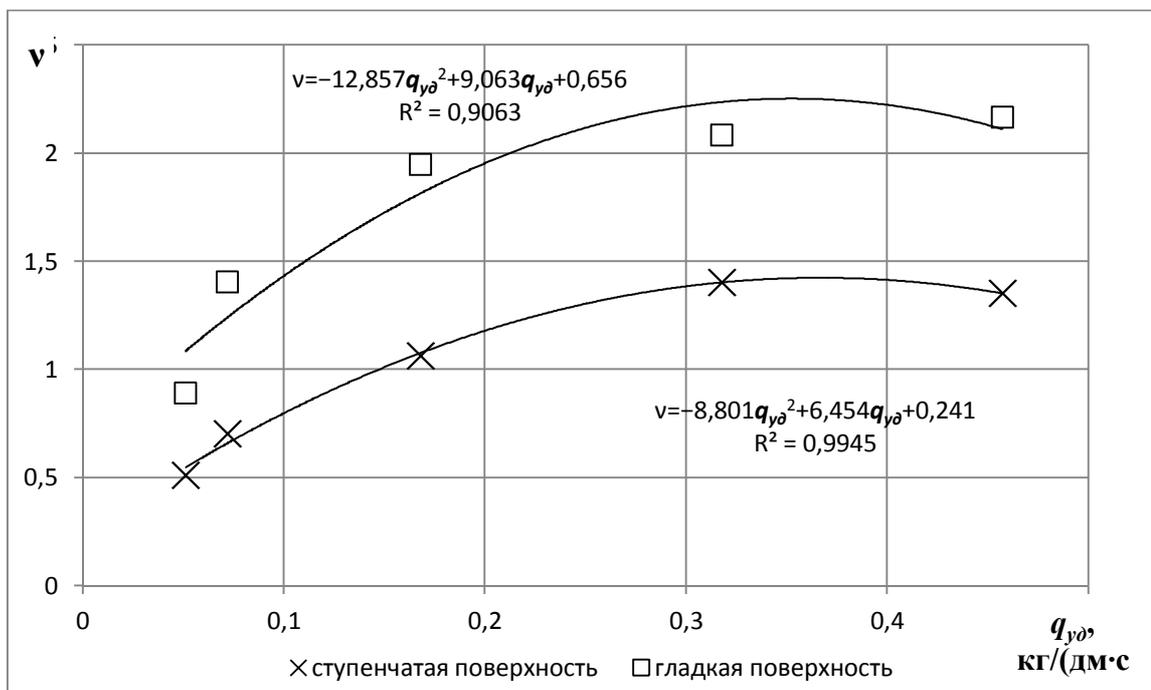


Рисунок 4.19 – Зависимость коэффициента вариации равномерности распределения вороха по глубине пневмосепарирующего канала от удельной зерновой нагрузки

Причем, при подаче вороха в пневмосепарирующий канал ступенчатой поверхностью предложенного питающего лотка равномерность снижается в меньшей степени, чем при подаче питателем с гладкой поверхностью. При загрузке пневмоканала питателем разработанной конструкции коэффициент вариации изменяется от 0,51 до 1,35 при удельной зерновой нагрузке от 0,05 до 0,46 кг/(дм·с) соответственно. А при подаче питателем с гладкой поверхностью при тех же значениях удельной зерновой нагрузки коэффициент вариации находится в пределах 0,89 – 2,17. Можно отметить тот факт, что при низкой производительности коэффициент вариации распределения вороха в экспериментальном образце устройства в 1,75 раза, а при высокой производительности 1,61 раза ниже, чем в контрольном варианте устройства.

Графики, отображенные на рисунке 4.20, показывают зависимость средне-квадратического отклонения распределения вороха от загрузки пневмоканала при подаче в обоих вариантах питающих устройств.

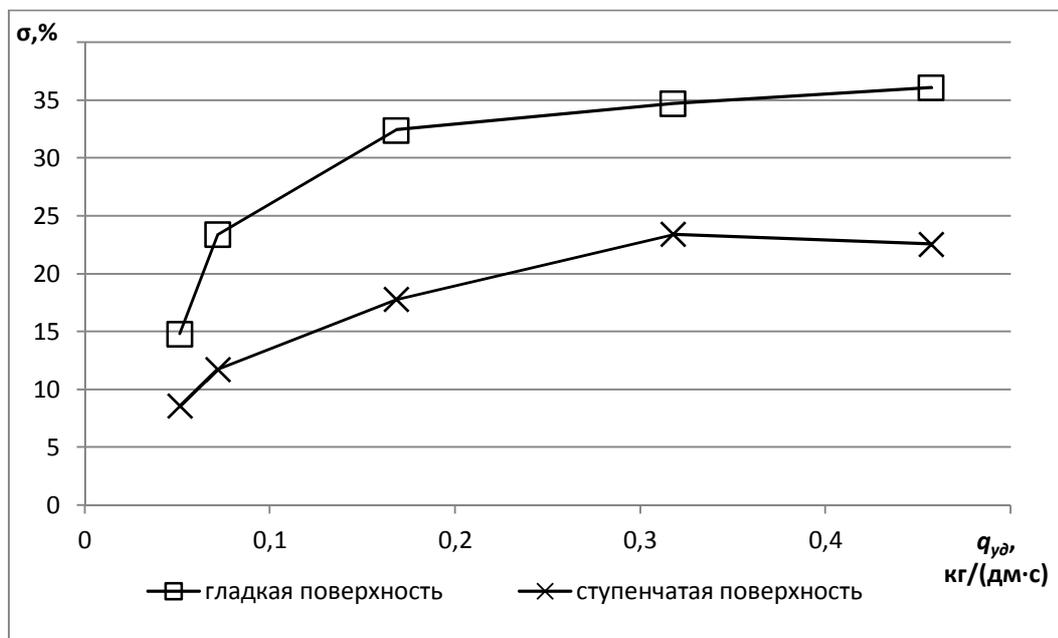


Рисунок 4.20 – Влияние удельной зерновой нагрузки на среднеквадратическое отклонение распределения вороха по глубине

На рисунке видно, что в случае с наименьшей равномерностью ( $q_{y\delta} = 0,457$  кг/(дм·с)) при подаче с гладкой поверхности величина отклонения достигает максимального значения. При той же производительности отклонение от равномерного (идеального) распределения при загрузке ступенчатым лотком значительно меньше и составляет всего 23%. В случае с более высокой равномерностью (при удельной зерновой нагрузке  $q_{y\delta} = 0,051$  кг/(дм·с)) отклонение от идеального распределения при загрузке со ступенчатой поверхности значительно ниже, чем при подаче гладким питателем. Это подтверждает тот факт, что питающий лоток со ступенчатой скатной поверхностью позволяет увеличить степень равномерности распределения зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала на всех испытываемых режимах по загрузке.

#### 4.7 Влияние предлагаемой конструкции питателя послерешетной очистки на качество работы машины

В таблице 4.11 приведены значения распределения массы по выходам зерноочистительной машины в зависимости от производительности.

Таблица 4.11 – Распределение компонентов зернового вороха по выходам зерноочистительной установки при различной производительности

При загрузке канала второй аспирации питателем с гладкой поверхностью							
q, кг/с.	m, %						
	$M_{окд}$	$M_{пр}$	$M_{ср}$			$M_{окп}$	$M_{оф}$
			1	2	3		
0,346	0,77	4,18	31,70	14,13	5,19	0,12	43,90
0,477	0,50	2,93	18,35	14,82	7,55	0,16	55,69
0,806	0,42	2,26	11,14	11,04	6,88	0,21	68,05
1,305	0,35	1,59	7,95	5,93	5,71	0,17	78,30
1,717	0,30	1,22	5,95	5,45	3,99	0,13	82,96
При загрузке канала второй аспирации питателем со ступенчатой поверхностью							
q, кг/с.	m, %						
	$M_{окд}$	$M_{пр}$	$M_{ср}$			$M_{окп}$	$M_{оф}$
			1	2	3		
0,346	0,64	4,16	31,16	14,17	5,39	0,18	44,29
0,477	0,62	4,17	25,93	16,75	7,34	0,19	45,00
0,806	0,44	2,91	14,16	12,64	7,29	0,21	62,35
1,305	0,42	1,96	9,57	8,70	6,31	0,22	72,83
1,717	0,36	1,46	7,25	6,32	4,70	0,18	79,74

По результатам, приведенным в таблице, можно судить о том, как справляются со своей функцией различные рабочие органы зерноочистительной установки. Так, например, можно сказать, что при увеличении количества подаваемого зернового вороха на зерноочистительную машину эффективность дорешетной воздушной очистки снижается, т.к. снижается процент выделяемой ею массы. Также снижается выделение массы подсевным решетом при увеличении подачи. Такое снижение эффективности элементов зерноочистительной установки связано с тем, что при повышенных производительностях рабочие органы попросту не успевают выделять определенные компоненты в полной мере.

Из данной таблицы для нас важно отметить значения массы, выделенной второй аспирацией. На рисунке 4.21 отображены зависимости выделения массы каналом послерешетной аспирации от удельной зерновой нагрузки при подаче со сравниваемых питателей.

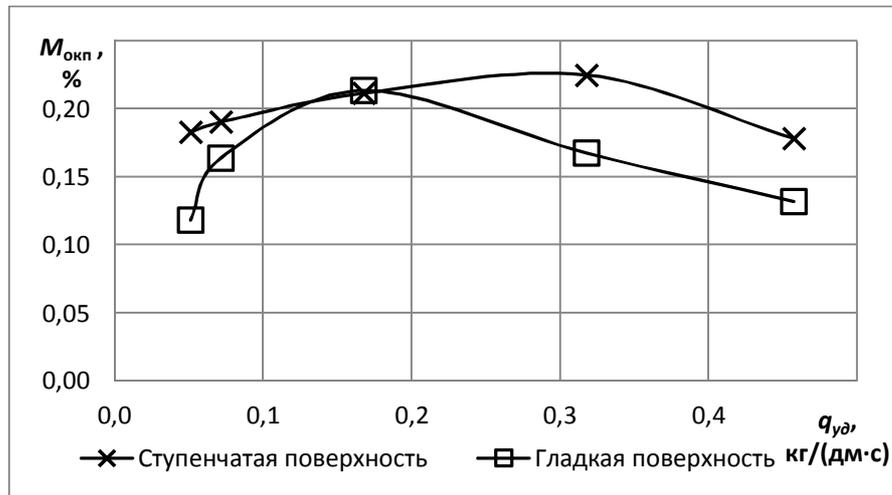


Рисунок 4.21 – Количество выделенных компонентов зернового вороха каналом послерешетной аспирации

Из графика на рисунке 4.21 видно, что при загрузке гладким лотком процент выделенной массы второй аспирацией повышается до удельной нагрузки  $q_{\text{уд}} = 0,168$  кг/(дм·с), после чего процент выделения начинает снижаться. При подаче питателем со ступенчатой поверхностью момент начала снижения выделения располагается при большей удельной нагрузке  $q_{\text{уд}} = 0,318$  кг/(дм·с). Это означает, что при использовании разработанного устройства эффективная производительность канала послерешетной аспирации повышается.

Для того, чтобы определить величину эффективного повышения производительности, мы определили зависимость полноты выделения зерноочистительной установкой от установленной производительности (рисунок 4.22).

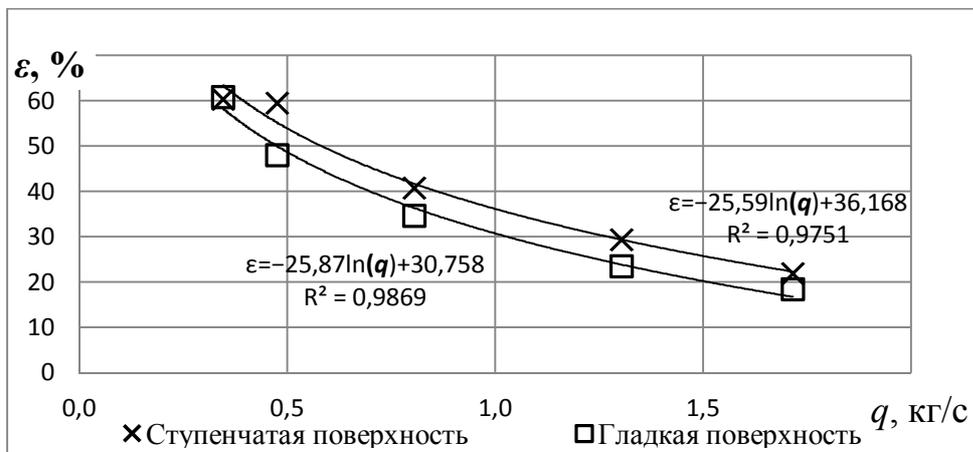


Рисунок 4.22 – Зависимость полноты выделения зерноочистительной установкой от производительности

Из графиков, представленных на рисунке 4.22 видно, что независимо от производительности полнота выделения компонентов выше при подаче обрабатываемого материала в канал послерешетной аспирации питателем со ступенчатой поверхностью. Положительный эффект проявляется ещё и в том, что при одинаковых значениях полноты выделения производительность установки выросла практически на 21% при использовании предложенного технического решения [83].

По результатам экспериментальных исследований можно отметить, что применение питающего лотка со ступенчатой скатной поверхностью позволяет повысить равномерность загрузки послерешетной аспирации двухаспирационной зерноочистительной машины, вследствие чего можно добиться увеличения производительности зерноочистительной машины при необходимой полноте выделения более чем на 20%.

#### 4.8 Выводы

По итогам экспериментальных исследований были сформулированы следующие выводы:

1. Для выделения большей части дробленого зерна, засорителей и биологически неполноценного зерна скорость воздушного потока в канале послерешетной очистки должна быть не менее 9 м/с.

2. Для повышения равномерности распределения воздушного потока по глубине пневмоканала при подаче вороха в канал послерешетной аспирации универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин качающимся питателем необходимо герметизировать загрузочное окно в месте ввода.

3. Экспериментальные исследования равномерности распределения зернового вороха по глубине вертикального пневмоканала, вводимого в зону сепарации ступенчатым питателем подтвердили результаты теоретических исследований.

4. Эмпирически определены рациональные параметры ступенчатой поверхности разрабатываемого питателя для вороха озимой пшеницы: высота ступени 4 мм, ширина ступени 25 мм и угол  $90 \pm 10^\circ$ .

5. По результатам моделирования и проведенных экспериментальных исследований было разработано и запатентовано «Устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха» (патент РФ № 166514).

6. Экспериментально доказано, что при подаче зернового вороха в пневмоканал колеблющимся лотком со ступенчатой поверхностью степень равномерности распределения вороха по глубине канала увеличивается, судя по коэффициенту вариации, который уменьшается с 0,89 – 2,17 до 0,51 – 1,35.

7. Установлено, что применение ступенчатого питателя позволяет снизить сопротивление канала послерешетной воздушной очистки до 9% с увеличением производительности до 21%.

8. Ступенчатый питатель второй аспирации улучшает качество работы зерноочистительной машины по показателю полноты разделения зерновой смеси, который увеличивается на 5-6 %.

## **5 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБА ЗАГРУЗКИ ПОСЛЕРЕШЕТНОЙ ВОЗДУШНОЙ ОЧИСТКИ В ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ**

### **5.1 Реализация результатов исследований и их экономическая эффективность**

В сложившейся экономической обстановке перед агропромышленным комплексом РФ стоит задача обеспечить страну продуктами питания. Производители нашей страны с каждым годом все больше увеличивают валовый сбор зерна. В последние два года Россия удерживает первое место в мире по экспорту пшеницы. В стратегии развития АПК РФ министр сельского хозяйства России наметил рост сбора зерна к 2020 году до 120 млн. тонн [126]. Принимая к сведению рост производства зерна в нашей стране и в мире в целом, остро стоит вопрос качественной обработки и последующего хранения убранных зернового вороха.

Технико-экономическое обоснование проведено с целью определения целесообразности применения предлагаемого устройства в качестве устройства для послерешетной пневмосепарации зернового вороха на серийной зерноочистительной машине. Предполагаемым эффектом применения предлагаемого питателя является увеличение производительности зерноочистительной машины при соблюдении агротехнических требований.

### **5.2 Общие положения методики расчета экономической эффективности**

При выполнении опытов было установлено, что применение разработанного питателя на лабораторной установке, имитирующей работу двухаспирационного воздушно-решетного сепаратора, позволило повысить производительность установки на 21% при одинаковой полноте выделения.

Расчет показателей экономической эффективности [37] проводим согласно ГОСТ Р 53056 – 2008 [36] и по рекомендациям [31,32,67,68]. Исходные данные для расчета экономической эффективности представлены в таблице 5.1, а результаты расчета сведены в таблицу 5.2.

Стоимость модернизации машины ОЗФ 50/20/10

$$C_{\text{мод}} = C_{\text{м}} + C_{\text{изг}} + C_{\text{сб}} + \Phi, \quad (5.1)$$

где  $C_{\text{м}}$  – затраты на материалы, из которых изготовлено устройство, руб.,

$C_{\text{изг}}$  – затраты на изготовление устройства, руб.,

$C_{\text{сб}}$  – затраты на сборку устройства и его установку на машину, руб.

$\Phi$  – Прочие прямые затраты, руб.

Для обеспечения эффективной работы пневмосистемы зерноочистительной машины ОЗФ, с разработанным питателем, необходимо заменить диаметральный вентилятор на радиальный ВЦ-14-46-4, стоимостью 39220 руб., это и будут прочие прямые затраты « $\Phi$ ».

Таблица 5.1 – Исходные данные для расчета экономической эффективности

Показатели	Обозначение	Базовый вариант	Проектируемый вариант
1. Количество обслуживающего персонала, чел.	n	1	1
2. Отчисление на реновацию, %	$\alpha$	11,1 8	11,1 8
3. Отчисление на ТО, ТР и КР, %	$N_p$	8	8
4. Мощность электродвигателей машины, кВт	$N_э$	13	13
5. Тарифная ставка оператора, руб/чел-час.	$З_{\text{оп}}$	115,5	115,5
6. Нормативная годовая загрузка, час.	$T_з$	400	400
7. Производительность, т/час.	Q	20	24,4
8. Цена машины, руб.	Ц	1050000	1092087
9. Учётная годовая ставка по кредитам банка или вкладу в банк, %	NS	18	18
10.Срок службы	T	9	9

Цена листовой стали (ст08пс 2,0 \*1250\*2500) на 01.09.2017 г. составляет 2546,34 руб. за 3,125 м<sup>2</sup>. При производстве устройства потребуется полоса стали размером 30x1500 мм, что составляет 0,45 м<sup>2</sup>.

Исходя из этого, затраты на материалы, необходимые для производства питателя составят

$$C_M = \frac{2546,34 \cdot 0,45}{3,125} = 366,67 \text{ руб.}$$

Затраты на изготовление устройства составят

$$C_{\text{изг}} = C_{\text{рез}} + C_{\text{гиб}} + C_{\text{св}}, \quad (5.2)$$

где  $C_{\text{рез}}$  – затраты на порезку заготовки;

$C_{\text{гиб}}$  – затраты на гибку заготовки;

$C_{\text{св}}$  – затраты на сверловку отверстий.

Допускаем, что организовано безотходное производство

Тогда затраты на изготовление устройства составят

$$C_{\text{изг}} = 14,88 + 56,98 + 88 = 159,86 \text{ руб.}$$

Затраты на работы по модернизации машины определяем по формуле

$$C_{\text{сб}} = Z_{\text{сб}} \cdot N_{\text{сб}}, \quad (5.3)$$

где  $Z_{\text{сб}} = 130 \text{ руб/ч}$  – средняя тарифная ставка слесаря-сборщика;

$N_{\text{сб}} = 16 \text{ чел.ч}$  – трудоемкость установки устройств на машину.

Установку устройства на зерноочистительную машину производят два слесаря-сборщика четвертого разряда. Тогда трудоемкость, приходящаяся на одного человека будет равна 8 чел.-ч, а затраты на сборку и установку составят

$$C_{\text{сб}} = 2 \cdot 130 \cdot 8 = 2080 \text{ руб.}$$

Питающее устройство устанавливается в конце решетного стана. Универсальный очиститель ОЗФ имеет 2 параллельных решетных стана, следовательно, для модификации машины необходимо изготовить и установить 2 питающих лотка.

Стоимость оснащения ОЗФ новым питающим устройством и радиальным вентилятором для обеспечения требуемого результата составит

$$C_{\text{мод}} = 2 \cdot (366,67 + 159,86 + 2080) + 39220 = 42087,19 \text{ руб.}$$

Стоимость машины, с учетом установленного на нее устройства для повышения эффективности воздушной очистки в канале послерешетной сепарации составит 1092087 руб.

### 5.3 Расчет экономической эффективности предложенного технического решения

Произведем расчет эксплуатационных издержек по предлагаемому способу модернизации машины ОЗФ-50/25/10. Экономия прямых эксплуатационных затрат на единицу наработки определяется исходя из изменения затрат на реновацию и затрат на текущий ремонт и на техобслуживание.

Расчет удельных затрат на оплату труда обслуживающего персонала

$$O_T = \frac{3_{оп} \cdot n}{Q} \quad (5.4)$$

$$O_{Тбаз} = \frac{115,5 \cdot 1}{20} = 5,8 \text{ руб/т.}$$

$$O_{Тпр} = \frac{115,5 \cdot 1}{24,4} = 4,7 \text{ руб/т.}$$

Удельные затраты на оплату труда обслуживающего персонала для базового варианта и проектируемого будут одинаковыми.

Удельные затраты на амортизацию

$$A = \frac{B \cdot a}{100 \cdot T_3 \cdot Q}, \text{ руб/т.} \quad (5.5)$$

где B - балансовая стоимость машин, руб; B=1,2·Ц,

Ц – цена машин, установленных в комплексе, руб;

a - отчисления на реновацию, %;

T<sub>3</sub> – годовая загрузка, час.

$$A_{баз} = \frac{1,2 \cdot 1092087 \cdot 11,11}{100 \cdot 400 \cdot 20} = 17,5 \text{ руб/т}$$

базовый вариант ;

$$A_{пр} = \frac{1,2 \cdot 1050000 \cdot 11,11}{100 \cdot 400 \cdot 24,4} = 14,9 \text{ руб/т}$$

проектируемый вариант.

Удельные затраты на ТО, ТР и КР

$$P = \frac{B \cdot N_p}{100 \cdot T_3 \cdot Q}, \quad (5.6)$$

где  $N_F$  - отчисления на ТО, текущий и капитальный ремонт, %.

базовый вариант 
$$P = \frac{1.2 \cdot 1092087 \cdot 8}{100 \cdot 400 \cdot 20} = 12,6 \text{ руб/т.}$$

проектируемый вариант 
$$P = \frac{1.2 \cdot 1050000 \cdot 8}{100 \cdot 400 \cdot 24,4} = 10,8 \text{ руб/т.}$$

Удельные затраты на электроэнергию

$$\Gamma = \frac{N_3 \cdot Ц_3}{Q}, \quad (5.7)$$

где  $N_3$  - мощность электродвигателей, кВт;

$Ц_3$  - стоимость электроэнергии, руб./кВт

$$\Gamma_{\text{баз}} = \frac{13 \cdot 5,5}{20} = 3,6 \text{ руб/т,}$$

$$\Gamma_{\text{пр}} = \frac{13 \cdot 5,5}{24,4} = 2,9 \text{ руб/т.}$$

Удельные эксплуатационные затраты, руб.

$$U = O_T + A + P + \Gamma; \quad (5.8)$$

базовый вариант 
$$U_{\text{баз}} = 10 + 5,8 + 12,6 + 3,6 = 39,5 \text{ руб/т;}$$

проектируемый вариант 
$$U_{\text{пр}} = 4,7 + 14,9 + 10,8 + 2,9 = 33,4 \text{ руб/т.}$$

Определяем размер экономии эксплуатационных издержек за сезон по проектируемой воздушной системе по формуле

$$\mathcal{E}_\Gamma = (U_{\text{баз}} - U_{\text{пр}}) \cdot Q \cdot T_3 = (39,5 - 33,4) \cdot 24,4 \cdot 400 = 59464,4 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений рассчитаем по выражению [31,32]

$$T_{\text{ок}} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{K_{\text{доп}} \cdot NS}{\mathcal{E}_\Gamma}\right)}{\ln(1 + NS)} \quad (5.9)$$

где  $K_{\text{доп}}$  - дополнительные капитальные вложения для реализации технологической линии, руб.;

$NS$  – коэффициент, отражающий учетную годовую ставку процента по кредитам банка или вкладу в банк ( $NS = 0,18$ ).

Дополнительные капитальные вложения для реализации предлагаемого технического решения определяем как разность в балансовой стоимости базового и экспериментального вариантов

$$K_{\text{доп}} = 1,2 (Ц_{\text{пр}} - Ц_{\text{баз}}), \text{ руб.}; \quad (5.10)$$

$$K_{\text{доп}} = 1,2 (1092087 - 1050000) = 50504,6 \text{ руб.}$$

Тогда срок окупаемости вложений составит

$$T_{\text{ок}} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{50504,6 \cdot 0,14}{59464,4}\right)}{\ln(1+0,14)} = 0,97 \text{ г.}$$

Определим экономический эффект за срок службы экспериментальной машины установленной на ЗАВ-40 по формуле

$$K_T = Э_r \cdot \frac{(1+NS)^T - 1}{NS}, \quad (5.11)$$

где  $T$  — срок службы объекта,

$$K_T = 59464,4 \cdot \frac{(1+0,14)^9 - 1}{0,14} = 1381244 \text{ руб.}$$

Годовой коэффициент эффективности капитальных вложений, показывающий среднюю годовую относительную величину прироста суммы экономического эффекта, определяем по формуле

$$E_t = \left(\frac{K_T}{K_{\text{доп}}}\right)^{\left(\frac{1}{9}\right)} - 1; \quad (5.12)$$

$$E_t = \left(\frac{1381244}{50504,6}\right)^{\left(\frac{1}{9}\right)} - 1 = 0,44.$$

Данные сравнительных показателей экономической эффективности от применения предложенного способа модернизации зерноочистительной машины представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Сравнительные показатели эффективности применения предложенного способа разделения зернового вороха в каналах сепарации зерноочистительной машины

Наименование показателей	Значение показателей по вариантам	
	базовый	экспериментальный
Затраты на реновацию на единицу наработки, руб./т	14,9	17,5
Затраты на текущий ремонт и техобслуживание на единицу наработки, руб./т	12,6	10,8
Затраты на оплату труда, руб./т	5,8	4,7
Затраты на электроэнергию, руб./т	3,6	2,9
Дополнительные капиталовложения, руб.		50504,4
Экономия прямых затрат на годовой объем работ, руб.		59464,4
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет		0,97
Экономический эффект за срок службы, руб.		1381244
Годовой коэффициент эффективности капитальных вложений		0,44

Как показал расчёт экономической эффективности, применение предложенного способа подачи обрабатываемого вороха в канал послерешетной воздушной очистки является целесообразным. Расчетный годовой экономический эффект, от внедрения этого способа, составил 59464,4 рублей. Размер экономического эффекта, который можно накопить за 9 лет эксплуатации, составит 1381244 рублей, а годовой коэффициент эффективности капитальных вложений – выше ставки банковского процента ( $(E_t = 0,44) > (NS = 0,14)$ ).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ работ по зерноочистке позволил установить, что применение питающего устройства, обеспечивающего равномерное распределение зернового вороха по глубине вертикального пневмосепарирующего канала, позволяет повысить эффективность пневмосепарации на 15-20%.

2. В результате теоретических исследований было установлено, что зерновой ворох, подаваемый в канал послерешетной аспирации сходом с колеблющегося решета, имеет разброс начальных скоростей частиц ввода от 0,3 до 0,5 м/с, что недостаточно для обеспечения равномерной загрузки пневмоканала по глубине. Установлено, что для обеспечения равномерного распределения обрабатываемого вороха по глубине канала необходимо подавать его с разбросом начальных скоростей от 0,1 до 0,6 м/с.

3. Теоретические исследования и математическое моделирование показали, о том, что равномерного распределения зернового вороха по глубине канала послерешетной аспирации можно добиться, подавая ворох ступенчатым питающим лотком, колеблющимся в режиме решетного стана.

4. По результатам моделирования и проведенных экспериментальных исследований было разработано и запатентовано «Устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха» (патент РФ №166514). Эмпирически определены рациональные параметры ступенчатой поверхности разработанного питателя для вороха озимой пшеницы: высота ступени 4 мм, ширина ступени 25 мм, и угол  $90 \pm 10^\circ$ .

5. Экспериментальные исследования работы канала со ступенчатым питателем подтвердили теоретические предпосылки о равномерности распределения зернового вороха по глубине аспирационного канала, которые выявили уменьшение тенденции к сгуживанию материала у дальней стенки канала по сравнению с контролем, что положительно отразилось на всех показателях работы установки.

6. Использование разработанного устройства снижает сопротивление канала послерешетной воздушной очистки до 9% , увеличивает равномерность распределения зернового вороха по глубине пневмоканала на 15% и повышает производительность зерноочистительной установки на 21% при равной полноте выделения.

7. Расчёт экономической эффективности показал, что применение предложенного способа подачи обрабатываемого вороха в канал послерешетной воздушной очистки является целесообразным. Расчетный годовой экономический эффект от внедрения этого способа составил 59464,4 рублей. Размер экономического эффекта, который можно накопить за 9 лет эксплуатации, составит 1381244 рублей, а годовой коэффициент эффективности капитальных вложений – выше ставки банковского процента ( $E_t = 0,44 > (NS = 0,14)$ ).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агротек, ОАО промышленная группа [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Воронеж, 2013. - Режим доступа: [http://www.agrtek.ru/product/grain\\_cleaning](http://www.agrtek.ru/product/grain_cleaning). (дата обращения: 01.08.2014).
2. Анискин, В.И. Новое в послеуборочной обработке зерна и подготовке семян [Текст] / В.И. Анискин // Техника и оборудование для села. – 1999. - № 6. – С. 12–14.
3. Бабченко, В.Д. Высокопроизводительные машины для очистки зерна / В.Д. Бабченко, А.М. Корн, А.С. Матвеев. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1982. – 50с.
4. Бодртдинов, А.З. Послеуборочная обработка зерна и семян / А.З. Бодртдинов. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2001. – 82 с.
5. Бодртдинов, А.З. Послеуборочная обработка зерна и семян / А.З. Бодртдинов. – Казань, 1998. – 72с.
6. Бурков, А.И. Совершенствование пневмосистем зерно- и семяочистительных машин / А. И. Бурков. - Киров, НИИСХ Северо-Востока, 1997.- 83 с.
7. Бурков, А.И. Машины для послеуборочной обработки семян трав / А.И. Бурков, Н.Л. Коньшев, О.П. Рошин. – Киров.: НИИСХ Северо-Востока, 2003. – 208с.
8. 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.
9. Бурков, А.И. Аспирационная пневмосистема семяочистительной машины [Текст]/ А.И. Бурков, Б.Г. Плехов // Тракторы и сельхозмашины. – 1991. - №10.- С.31 - 33.
10. Бурков, А.И. Зерноочистительные машины: конструкция, исследования, расчет и испытания / А.И. Бурков, Н.П. Сычугов // НИИСХ Северо-Востока. – Киров, 2000. – 261 с.

11. Бурков, А.И. Ресурсосберегающие машины для послеуборочной обработки семян / А.И. Бурков, В.Л. Андреев, О.П. Рошин // Сб. науч. тр./ ВИМ. – 2003. – Т. 148. – С. 162-171.
12. Бурков, А.И. Совершенствование пневмосистем зерно – и семяочистительных машин / А.И. Бурков. – Киров: НИИСХ Северо – Востока, 1998. – 83с.
13. Бушуев, Н.М. Семяочистительные машины. Теория, конструкция и расчёт / Н.М. Бушуев. – Москва – Свердловск: Машгиз, 1962. – 238с.
14. Быков, В.С. Повышение производительности плоских решет [Текст] / В.С. Быков// Механизация и электрификация с.-х. - 1991. - №1. - С.58-59.
15. Вайсман, М.Р. Вентиляционные и пневмотранспортные установки / М.Р. Вайсман, И.Я. Грубиян. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1984. – 367с.
16. Василенко В.В. История механизации земледелия: учебное пособие/В.В. Василенко. – Воронеж : ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2010. – 160 с.
17. Вахвахов, Г.Г. Работа вентиляторов в сети / Г.Г. Вахвахов. – М.: Стройиздат, 1987. – 101с.
18. Веселов, С.А. Проектирование вентиляционных установок предприятий по хранению и переработке зерна / С.А. Веселов. - М.: Колос, 1974. – 228с.
19. Волосевич, Н.П. Машины для послеуборочной обработки зерна / Н.П. Волосевич, А.В. Дружкин. – Саратов, 1973. – 84с.
20. Воронежмельсервис, ООО, научно-производственная фирма [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Воронеж, 2012 – Режим доступа: <http://www.vmels.com/>(дата обращения: 03.08.2014).
21. Воронежсельмаш, ОАО [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Воронеж, 2013.- Режим доступа: <http://www.vselmash.ru/catalog>. (дата обращения: 03.08.2014).
22. Воронов, Ю.И. Сельскохозяйственные машины / Ю.И. Воронов, Л.Н. Ковалев, А.Н. Устинов – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропром издат, 1990 – 254 с.

23. Гехтман, А.А. Машина МПО-50 для предварительной очистки зерна / А.А. Гехтман, В.В. Антюхин // Тракторы и сельхозмашины. – 1983. - №5. – С.24 - 25.
24. Гехтман, А.А. Семяочистительная машина МВО-20 / А.А. Гехтман, Н.К. Панкратов, М.Д. Правдивцева // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1990. - №11. – С.36 - 37.
25. Гиевский, А.М. Качественные показатели работы двухаспирационной пневмосистемы зерноочистительной машины с одним воздушным потоком / А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства, – 2015. – №9. – С. 15 – 17.
26. Гиевский, А.М. Обоснование размеров осадочных камер двухаспирационной пневмосистемы зерноочистительной машины / А.М. Гиевский, В.И. Оробинский, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков, Д.С. Тарабрин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – Вып. 4 (51). – С. 87-95.
27. Гиевский, А.М. Пневмоинерционный сепаратор вороха семенников трав / А.М. Гиевский, А.Н. Чибисов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. - №5. – С.8 - 9.
28. Гиевский, А.М. Повышение эффективности работы универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин/ Алексей Михайлович Гиевский: дис. ...докт. техн. наук.: 05.20.01. – Воронеж, 2017. – 364с.
29. Гималов, Х.Х. Пневмофракционная очистка семян / Х.Х. Гималов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1989. - №3. – С.50 - 52.
30. Гладков, Н.Г. Зерноочистительные машины / Н.Г. Гладков. – М.: Машгиз, 1961. – 368с.
31. Горланов, С.А. Методические указания по экономическому обоснованию дипломных проектов студентов инженерных факультетов/ С.А. Горланов, Н.Т. Назаренко, Е.В. Злобин. – Воронеж: ВГАУ. - 2000. – 37с.

32. Горланов, С.А. Экономическая оценка проектных разработок в АПК: Учебно-методическое пособие. Часть 1. Методические указания/ С.А. Горланов, Е.В. Злобин. – Воронеж: ВГАУ. - 2002. – 66с.
33. Гортинский, В.В. Процессы сепарации на зерноперерабатывающих предприятиях /В.В. Гортинский, А.Б Демский., М.А. Борискин - М.: Колос, 1980. - С. 257-285.
34. ГОСТ 12036-85 – 2011. Семена сельскохозяйственных культур. Правила приемки и методы отбора проб. –Введ. 30.06.1986. –М.: Стандартиформ, 2011. – 14 с.
35. ГОСТ 30483-97 – 2003. 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. 01.07.1998. –М.: Стандартиформ, 2003. –21 с.
36. ГОСТ Р 53056 – 2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Введ. 17.12.2008. – М.: Стандартиформ, 2009. – 19 с
37. ГОСТР53057 –2008. Машины сельскохозяйственные. Методы оценки конкурентоспособности. –Введ. 17.12.2008. –М.: Стандартиформ, 2009. –5 с.
38. Демский, А.Б. Комплектные зерноперерабатывающие установки / А.Б. Демский. – М.: Колос, 1978. – 256с.
39. Демский, А.Б. Основные направления совершенствования пневмосепарирующего зерноочистительного оборудования / А.Б. Демский, В.Ф. Веденьев. - М.: ЦНИИТЭлегпищемаш. - 1978. – 73с.
40. Дорошенко, А.А. Параметрическая оптимизация пневмосепаратора с двумя циклами сепарации в одном пневмоканале / А. А. Дорошенко // Инновации, экология и ресурсосберегающие технологии (ИнЭРТ-2014): тр. XI Международ. науч.-техн. форума [Электронный ресурс] / ДГТУ. - Ростов н/Д, 2014. - С. 365-377. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - - № гос. регистрации 0321403677.

41. Дринча, В.М. Технология и комплекс машин для очистки зерна и семян / В.М. Дринча, Л.М. Суконин // Земледелие. – 1997. - № 3. – С. 34-35.
42. Дрогалин, К.В. Очистка семян от трудноотделимых примесей / К.В. Дрогалин. - М.: Колос, 1978. – 126с.
43. Елизаров, В.П. Современные средства предварительной очистки зерна / В.П. Елизаров, А.С. Матвеев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. - №8. - С.60 - 64.
44. Ермольев, Ю.И. Технологические основы интенсификации процесса сепарации зерна воздушно-решётными зерноочистительными машинами и агрегатами: дис. ... д-ра техн. наук: 20.05.01 / Ермольев Юрий Иванович. - Ростов н/Д, 1989. - 699 с.
45. Еров, Ю.В. Высококачественные семена, получаемые на пневмосортировальной машине СМВО – основа стабильного и высокого урожая зерна / Ю.В. Еров, Д.З. Салахиев, А.А. Железнов//Научное обеспечение устойчивого ведения сельскохозяйственного производства в условиях глобального изменения климата: - материалы международной научно-практической конференции. – Казань: Фолиантъ. – 2010. – с. 479-482.
46. Захарченко, И.В. Послеуборочная обработка семян в нечернозёмной зоне / И.В. Захарченко. – М.: Россельхоз, 1983. – 263с.
47. Зеленко, В.И. Карусельные сушилки.—Тверь: ОГУП «Тверское областное книжножурнальное издательство», 2002,— 191 с.
48. Злочевский, В.Л. Пневмосепарация зерна в вихревом воздушном потоке / В.Л. Злочевский, А.Х. Тегельбаум //Науч. техн. бюл. Сиб.НИИМЭСХ, - Новосибирск.- 1977.- вып.6-7.- С.71-77.
49. Калинушкин, М.П. Вентиляторные установки / М.П. Калинушкин. – 7-ое изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1979. – 223с.
50. Карпенко, А.Н. Сельскохозяйственные машины / А.Н. Карпенко, В.М. Халанский. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 527с.
51. Карпов, Б.А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна. — М.: Агропромиздат, 1987. — 285 с.

52. Ковриков, И.Т. Повышение равномерности распределения семян по сечению пневмоканала и совершенствование питателей зерновых сепараторов / И. Т. Ковриков, И.Ш. Тавтилов // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2004. - №7. – С.9-11.
53. Кожуховский, И.Е. Исследование плоских решет при больших за-грузках / И.Е. Кожуховский //Тр. ВИМ.- М., 1960. - т.28. - С.40...50.
54. Кожуховский, Н.Е. Зерноочистительные машины. Конструкция, расчет и проектирование / Н.Е. Кожуховский. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение. – 1974. – 200с.
55. Королёв, А.И. Оценка работы двойного канала первой аспирации зерноочистительной машины / А.И. Королёв // Повышение эффективности использования, надёжности и ремонта сельскохозяйственных машин: Сб. . науч. тр. – Воронеж – 2005. – С.40 - 43.
56. Косилов, Н.И. Технологические возможности модернизации и создания перспективных поточных линий для послеуборочной обработки зерна /Н.И. Косилов, В.В. Пивень // Вестник Челябинского агроин-женерного университета. - Челябинск: Изд-во ЧГАУ, 2000. - Т. 31. - С. 28-31.
57. Косилов, Н.И. Влияние скорости воздушного потока, скорости и угла вбрасывания на характер движения компонентов зерносомомистого во-роха / Н.И. Косилов, С.А. Аристов // Совершенствование способов уборки и послеуборочной обработки зерна: Тр. /ЧИМСХ. – Челябинск, 1979. – Вып.151. – С.40 - 44.
58. Косилов, Н.И. Исследование и обоснование параметров сепаратора с противоточной подачей вороха во встречный воздушный поток / Н.И. Косилов, В.П. Нилов // Уборка и послеуборочная обработка зерна : тр. / ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1977. - Вып. 131. - С. 62-69.
59. Косилов, Н.И. Основные направления интенсификации процесса разделения зернового вороха в пневмоинерционных сепараторах / Н.И. Косилов // Совершенствование уборки зерновых культур: тр. / ЧИ-МЭСХ. - Челябинск, 1975. - Вып. 102. - С. 5-13.

60. Косилов, Н.И. Разворот частиц эллипсоидной формы на продольных перемычках / Н.И. Косилов, И.П. Лапшин // Челябинскому государственному агроинженерному университету - 70 лет : тез. докл. на XL на-уч.-техн. конф. / ЧГАУ. - Челябинск, 2001. - С. 186-188.
61. Косилов, Н.И. Уплотнение зерносоматистого вороха ленточными питающими устройствами пневмоинерционных сепараторов / Косилов Н.И., Аристов С.А. // Повышение производительности и качества работы зерноуборочных и зерноочистительных машин : науч. тр. / ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1984. - С.36-43.
62. Кузнецов, В.В. Некоторые вопросы конструирования пневмосепаратора зернового вороха с вентилятором без направляющего аппарата / В.В. Кузнецов / Зап. ВСХИ, - Воронеж, 1968. - Т.35 - С.267 – 268.
63. Кузнецов, В.В. Оптимизация зерновых потоков при послеуборочной обработке./ Кузнецов В.В., Шмидт А.В., Гаджимурадов М.С. – Воронеж: ВГАУ, 2001.-131с.
64. Малис, А.Я. Машины для очистки зерна воздушным потоком /А.Я. Малис, А.Р. Демидов. – М.: Машгиз, 1962, -176с.
65. Матвеев, А.С. О технологии и технических средствах очистки и сортирования зерна и семян / А. С. Матвеев // Сборник научных трудов "Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства". - М.: 1982. - С. 181-183.
66. Мельинвест, АО, [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Нижний новгород, 2017 – Режим доступа: <http://www.melinvest.ru/catalog/zernoочистительное-оборудование>. (дата обращения 30.10.2017).
67. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники / Драгайцев В.И., Тулапин П. Ф., Бутенко Т.Я. и др.; под ред. Шпилько А. В. – М. 1998. – 219с.
68. Методические указания о порядке и утверждения исходных требований на сельскохозяйственную технику. – М.: Изд-во стандартов, 1997. - 60с.
69. Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства.

- (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений)/ Тарасенко А.П. и др.-М.:Колос,2002г.-203 с.
70. Механизация процессов послеуборочной обработки зерна в Новосибирской области: Рекомендации / РАСХН. Сиб. Отд-ние. СИБИМЭ; Подгот. Иванов Н.М., Сеницын В.А., Климок А.И. и др. – Новосибирск, 2002. – 128с.
  71. Миронов, А.В. Расчет траектории движения компонентов зерно-вого вороха в воздушном потоке, состоящем из повернутых струй /А.В. Миронов // Тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск.- 1986. - С. 20-24.
  72. Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) Российской академии наук [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Санкт Петербург, 2017 – Режим доступа <http://www.kunstkamera.ru/> /.(дата обращения: 27.09.2017)
  73. Мяснянкин, К.В. Очистка гречихи на фотосепараторе Ф10.1 / К.В. Мяснянкин, А.А. Агеев, А.П. Тарасенко // Современные тенденции развития технологий и технических средств для АПК: материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов по актуальным проблемам АПК в области механизации, электрификации сельского хозяйства и переработки сельскохозяйственной продукции / Воронежский государственный аграрный университет. – Воронеж, 2014. – С. 14–18.
  74. Мяснянкин, К.В. Совершенствование процесса послеуборочной обработки гречихи/ К.В. Мяснянкин, Р.А. Путенко, А.П. Тарасенко, А.А. Агеев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета.- 2016. - № 2. – С. 118 – 124.
  75. Нелюбов, А.И. Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин / А.И. Нелюбов, Е.Ф. Ветров – М.: Машиностроение, 1977. – 192 с.
  76. Окнин, Б.С. Машины для послеуборочной обработки зерна / Б.С. Окнин, В.И. Горбачёв, А.А. Терехин, В.М. Соловьёв. – М.: Агропромиздат, 1987. – 238с.
  77. Олейников, В.Д. Агрегаты и комплексы для послеуборочной обработки зерна / В.Д. Олейников, В.В. Кузнецов, Г.И. Гозман. – М.: Колос, 1977. – 112с.

78. Оробинский, В.И. Улучшение качества очистки зерна в машине с диаметральной вентилятором / В.И. Оробинский, А.И. Королёв // Вестник ВГАУ, – 2005. – №10 - С.159 - 164.
79. Оценка качества очистки зерна на семяочистительной линии фирмы LMC / В.И. Оробинский [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – Вып. 4 (47) – С. 93-97.
80. Панов, А.А. Технология послеуборочной обработки семян зерновых культур / А.А. Панов. – М. : Колос. 1981. – 145 с.
81. Пат. RU 2228804, МПК7 В07В4/02. Пневмосепарирующий канал / Н.П. Сычугов, Н.В. Жолобов, Б.Ю. Блинов ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Вятская государственная сельскохозяйственная академия". - № 2002108083/12; заявл. 29.03.02, опубл. 20.05.04. - 4 с.
82. Пат. № 2240873 РФ, МПК7 В07В 4/02. Пневматический сепаратор / И. Т. Ковриков, И.Ш. Тавтилов (Россия); заявитель и патентообладатель Оренбург. гос. ун-т. – № 2003115894; заявл. 27.05.2003; опубл. 27.11.2004. Бюл. № 33. – 5с.
83. Пат. №166514 РФ, МПК В07В 4/00, В07В 11/06. Устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха / Д.С. Тарабрин А.П. Тарасенко, А.В. Лунёв; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ им. имени Петра I №2016108350/03; Заявл. 09.03.2016; Опубл. 27.11.2016. – Бюл. №33 – 2 с.
84. Пат. RU 120020, МПК В07В 4/02. Пневматический сепаратор для сыпучего материала / Ю.И. Ермольев, А.В. Бутовченко, А.А. Дорошенко ; заявитель и патентообладатель Федеральное 146 государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Донской государственный технический университет". - № 2012116693/03; заявл. 24.04.12, опубл. 10.09.12, бюл. №25. - 3 с.

85. Пат. RU 2380175, МПК В07В4/02000(2006.01) воздушно-решетная машина для фракционирования и очистки от примесей зернового материала/ Сысуев В.А. (RU), Савиных П.А.(RU), Казаков В.А. (RU), Сычугов Ю.В. (RU), Исапов В.И. (RU). Опубликовано: 27.01.2010.
86. Пат. RU 2392064 Российская Федерация, МПК В07В4/02; А01F12/44. Пневматический сепаратор / В.Е. Саитов, Н.П. Сычугов, И.Н. Лямшин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Вятская государственная сельскохозяйственная академия". - № 2009115380/03; заявл. 22.04.09, опубл. 20.06.10. - 4 с.
87. Пат. RU 2469525 Российская Федерация, МПК7 А01F 12/44 В07 В 4/02. Двухаспирационная пневмосистема зерноочистительной машины / А.П. Тарасенко, А.М. Гиевский; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ВГАУ им. К.Д. Глинки. - № 2011125251/13; заявл. 17.06.2011; опубл.20.12.2012; Бюл. № 35. - 4 с.: ил.
88. Пат. RU2385777 , МПК В07В4/02, В02В1/02. Устройство для подачи зерновой смеси в пневмосепарирующий канал зерноочистительной машины./ Сундеев А.А. (RU), Тарасенко А.П. (RU), Оробинский В.И. (RU), Гиевский А.М. (RU).Опубликовано: 10.04.2010.
89. Пат. RU2386487, МПК В07В4/02, А01F12/44 .Устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха./ Тарасенко А.П.(RU), Оробинский В.И. (RU), Сундеев А.А.(RU), Гиевский А.М.(RU). Радченко Р.С.(RU).Опубликовано: 20.04.2010.
90. Перцовский, Е. С. К теории очистки зерна в пневматическом сепараторе. – «Труды ВНИИЗ», 1970, вып. 1.
91. Пивень, А.В. Обоснование угла ввода зернового вороха в воздушный поток делительных камер пневмоинерционных сепараторов / А.В. Пивень, А.В. Миронов // Совершенствование технологий и технических средств для уборки урожая и послеуборочной обработки зерна: Тр./ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1987. – С.79 - 82.

92. Повышение качества зерна / А.П. Тарасенко [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. - №10 – С.7-10.
93. Повышение эффективности работы двухаспирационной пневмосистемы универсальной воздушно-решётной зерноочистительной машины / А.М. Гиевский [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2014 . – №5 . – С. 32-34.
94. РОСЭЛЕВАТОР, ООО [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. –Брянск, 2011- Режим доступа: <http://www.росэлеватор.рф/separator-zernoochistitelnyj-intex-k150.html>. (дата обращения: 12.08.2014).
95. Саитов, В.Е. Малогабаритная машина для первичной очистки зерна / В.Е. Саитов, Р.Г. Гатауллин // Техника в сельском хозяйстве. - 2011. - № 4. - С. 7-10.
96. Саитов, В.Е. Регулирование скорости воздуха в пневмосистеме зерноочистительных машин / В.Е. Саитов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2008. - № 3. - С. 38-39.
97. Саитов, В.Е. Совершенствование машины предварительной очистки зерна / В.Е. Саитов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 4. – С. 17-20.
98. Саитов, В.Е. Совершенствование технологического процесса воздушно-решетных зерно- и семяочистительных машин (рекомендации) / В.Е. Саитов. – Киров: Вятская ГСХА, 2008. - 87 с.
99. Свиридов, Л.Т. Инновационный технологический комплекс машин и оборудования для обработки и извлечения лесных семян из околоплодников / Л.Т. Свиридов, А.В.Синельников// Вестник Воронежского государственного аграрного университета. - 2015. - №1(44).- С. 65-71.
100. Свиридов, Л.Т. Свойства лесных семян, плодов-бобов и обоснование технологий конструкций и параметров семяочистительных машин / Л.Т. Свиридов // Международный журнал экспериментального образования. - 2015. - №1-1. - С. 67-68.
101. Сморгонский завод оптического станкостроения, ОАО [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Республика Беларусь: Гродненская обл., Сморгонский район, Сморгонь, ул. Советская, 10. (дата обращения: 12.08.2014).

- гонь,2010 - Режим доступа: <http://szos.by/node>. (дата обращения: 11.08.2014).
102. Совершенствование механизации производства семян зерновых культур (рекомендации). – М.: ФГБНУ «Росинформатех», 2014. – 60 с.
  103. Сычугов, Н.П. Механизация послеуборочной обработки зерна и семян трав / Н.П. Сычугов, Ю.В. Сычугов, В.И. Исупов. - Киров: ФГУИПП «Вятка», 2003. 368 с.
  104. Сычугов, Н.П. Замкнутые пневмосистемы семяочистительных машин / Н.П. Сычугов [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 1988. - №8. - С.28 - 31.
  105. Сычугов, Ю.В. Энергосберегающие технологические линии и технические средства для обработки продукции зерновых культур на северо-востоке европейской части Российской Федерации: автореф. дис.... д-ра техн. наук / Юрий Владимирович Сычугов. – Киров, 2011. – 40 с.
  106. Сычугов, Н.П. Воздушные системы машин послеуборочной обработки зерна ( технологические схемы, теория, расчет ): дис. ... док. тех. наук: 05.20.01 / Н.П. Сычугов. – Киров, 1987. – 527с.
  107. Сычугов, Н.П. Регулирование скорости воздуха в аспирационных каналах зерноочистительных машин с замкнутой пневмосистемой / Н.П. Сычугов, А.И. Бурков, Н.И. Грабельковский // Тракторы и сельхозмашины. – 1982. - №10.- С.23 - 26.
  108. Сычугов, Н.П. Регулирование скорости воздуха в пневмосепарирующем канале машины МПО-50 / Сычугов Н.П. [и др.]// Методы и средства повышения эффективности процессов с.-х. машин: Сб. научн. тр. - Л.,1983. - С. 48-50.
  109. Сычугов, Ю.В. Новые технологии и технические средства послеуборочной обработки зерна /Ю.В. Сычугов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 6. – С. 22-25.
  110. Талиев, В.Н. Аэродинамика вентиляции / В.Н. Талиев. – М.: Стройиздат, 1979. – 295с.
  111. Тарабрин, Д.С. Opportunity to improve the efficiency of aftersieve pneumatic separation. / Д.С. Тарабрин, А.П. Тарасенко // материалы международной

- заочной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов на иностранных языках.— Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – 129-133 с.
112. Тарабрин, Д.С. Конструкции вертикальных пневмосепарирующих каналов: Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства // материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета.— Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2015.
113. Тарабрин, Д.С. Направление совершенствования аспирационных систем зерноочистительных машин: Агропромышленный комплекс на рубеже веков / Д. С. Тарабрин, А.П. Тарасенко. // материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию.— Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2015. – 22-26 с.
114. Тарабрин, Д.С. Распределение зернового вороха в вертикальном пневмосепарирующем канале: Наука вчера, сегодня, завтра / Д.С. Тарабрин, А.П. Тарасенко, А.М. Гиевский // материалы научно-практической конференции. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 2016 – 434 с.
115. Тарабрин, Д.С. Расслоение в псевдооживленном слое. / Д.С. Тарабрин, А. П. Тарасенко // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 65-й студенческой научной конференции. – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2014. с.52 – 54.
116. Тарабрин, Д.С. Совершенствование процесса послерешетной пневмосепарации зернового вороха в зерноочистительных машинах // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – Вып. 1 (51). – С. 102-109.
117. Тарасенко, А.П. Результаты государственных периодических и сертификационных испытаний машин семейства ОЗФ / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский //Вестник ВГАУ,- 2008, -№ 3-4. –с.32-39.

118. Тарасенко, А.П. Совершенствование воздушно-решётной семяочистительной машины / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.А. Сундеев, В.В. Шередекин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. - №4. - С.3 - 5.
119. Тарасенко, А.П. Совершенствование процесса пневмосепарации в зерноочистительной машине с центробежным вентилятором / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.А. Сундеев, В.В. Шередекин, А.И. Королёв // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. - №9. - С.7 - 9.
120. Тарасенко, А.П. Современные машины для послеуборочной обработки зерна и семян / А.П. Тарасенко.— М. : КолосС, 2008 .— 232 с.
121. Теленгатор, М.А. Мастер по очистке семян / М.А. Теленгатор; -М.: Колос, 1975. – 112с.
122. Технологии и средства механизации сушки и послеуборочной обработки зерна: учебное пособие / К.Р. Казаров [и др.]; под ред. К.Р. Казарова. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – С.310
123. Тиц, З.Л. Машины для послеуборочной поточной обработки семян. Теория и расчет машин, технология и автоматизация процессов / З.Л. Тиц, В.И. Анискин, Г.А. Баснакьян и др. - М.: Машиностроение, 1967.— 448 с.
124. Тишанинов, Н.П. Авторегулируемый делитель потока зерна жалюзийного типа / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. // Сельский механизатор. - 2016. - № 1. - С. 10 - 11.
125. Тишанинов, Н.П. Теоретическое обоснование параметров делителей потока зерна с шибберным отводом / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, / К.Н. Тишанинов // Наука в центральной России. - 2015. - № 2(14). - С. 67 -76.
126. Ткачёв, А.Н. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – М, 2016 – Режим доступа:[http://government.ru/dep\\_news/23629/](http://government.ru/dep_news/23629/)(дата обращения: 27.09.2017)
127. Халанский, В.М Сельскохозяйственные машины /. В.М. Халанский, И. В. Горбачев. —М.: КолосС, 2003. - 624 с.
128. Чижиков, А.Г. Послеуборочная обработка зерна в колхозах и совхозах / А.Г. Чижиков, Н.А. Добычин, В.С. Косихин, Г.И. Синьков. - М.: Колос, 1971. – 232с.

129. Чумаков, В.Г. Оценка эффективности работы пневморешётного сепаратора с рассредоточенным вводом зернового вороха в воздушный поток / В.Г. Чумаков // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2010. – № 4. – С. 92–94.
130. Blenk, H. Die Sortierung von Saatgut mit gleichmässigem Querwind //Grundlagen des Landtechnik, Heft 2/1951.- S. 5-12.
131. Cimbria Heid, GmbH [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Дания: Thisted, 2014 – Режим доступа: <http://www.cimbria.com/en-GB/Home/Solutions/Seed-Processing.aspx>. (дата обращения: 10.11.2014).
132. Denis, GmbH [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – France: Brou, 2014 – Режим доступа: <http://www.denis.fr/nettoyage/gamme>. (дата обращения: 10.10.2014).
133. PETKUS Wutha Technologie, GmbH [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Германия: Wutha-Farnroda, 2013 – Режим доступа: <http://russian.petkus.de/produkte/-/info/sortieren/reiniger>. (дата обращения: 05.10.2014).
134. ROEBER Institut, GmbH [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Германия: Wutha-Farnroda, 2013 – Режим доступа: <http://www.roeber-institut.de>. (дата обращения: 08.09.2014).
135. Wessel, J. Verfahren des Siebens und des Windsichtens // Grundlagen des Landtechn. Bd. 18 (1 968) Nr. 4. - S. 151-157.
136. Westrup A/S [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Denmark: Slagelse, 2013 – Режим доступа: <http://www.westrup.com/Products/>.(дата обращения: 06.09.2014).

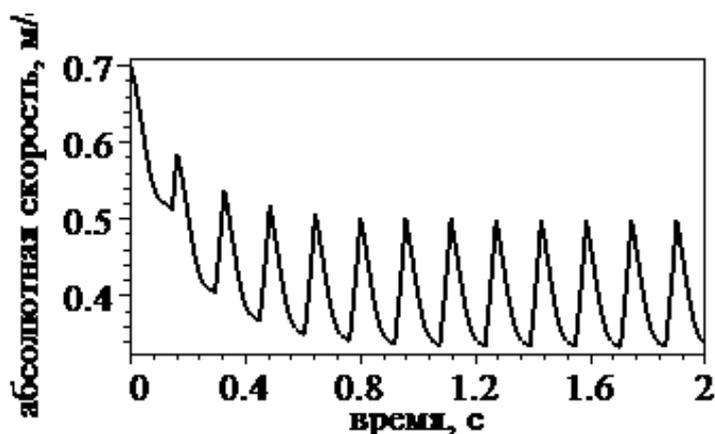
## ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Программа "Решето абсолют"

```

> restart:
al:=9*Pi/180:
om:=40:
r:=.015:
h:=.0002:
N:=tt->9.81*cos(al)+om^2*r*sin(om*tt)*sin(al):
plot(N(t),t=0..2*Pi/om,labels=[`время, с`, `нормальная реакция,
н`],labeldirections=[HORIZONTAL,VERTICAL],font=[TIMES,ROMAN,14],axes=bo
xed,style=line,linestyle=1,thickness=2,color=black);
t[0]:=0:v(t[0])=.7:
for i from 0 to 15000 do
t[i+1]:=t[i]+h:
if evalf(v(t[i]))>evalf(r*om*cos(om*t[i])*cos(al)) then f:=.3 else f:=-.3 fi:
v(t[i+1]):=evalf(v(t[i])+h*(9.81*sin(al)-f*N(t[i]))+h*.25*v(t[i])^2): od:
t2:=[seq(t[s],s=0..15000)]:
x2:=[seq(v(t[s]),s=0..15000)]:
pp:=(t2,x2)->[t2,x2]:a:=zip(pp,t2,x2,2):
with(plots):
plot(a,0..2,labels=[`время, с`, `абсолютная скорость,
м/с`],labeldirections=[HORIZONTAL,VERTICAL],font=[TIMES,ROMAN,14],axes=b
oxed,style=line,linestyle=1,thickness=2,color=black);

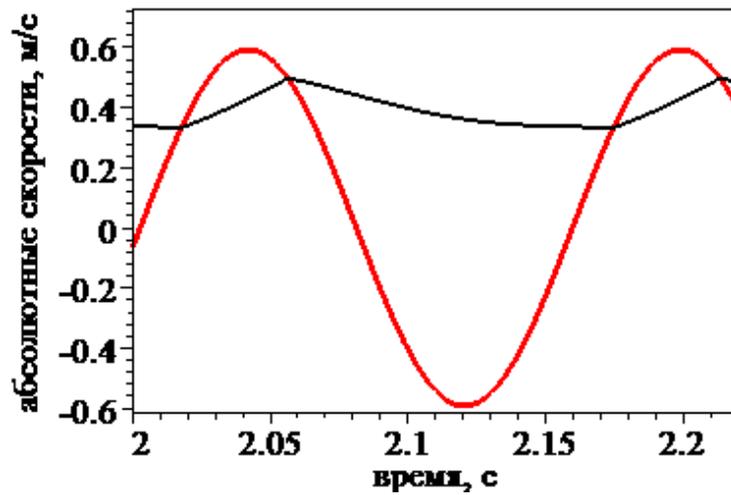
```



```

> gr1:=plot(a,2.0..2.22,labels=[`время, с`, `абсолютные скорости,
м/с`],labeldirections=[HORIZONTAL,VERTICAL],font=[TIMES,ROMAN,14],axes=b
oxed,style=line,linestyle=1,thickness=2,color=black):
gr2:=plot(r*om*cos(om*tt)*cos(al),tt=2.0..2.22,style=line,linestyle=1,thickness=3,color
=red):
display(gr1,gr2);

```

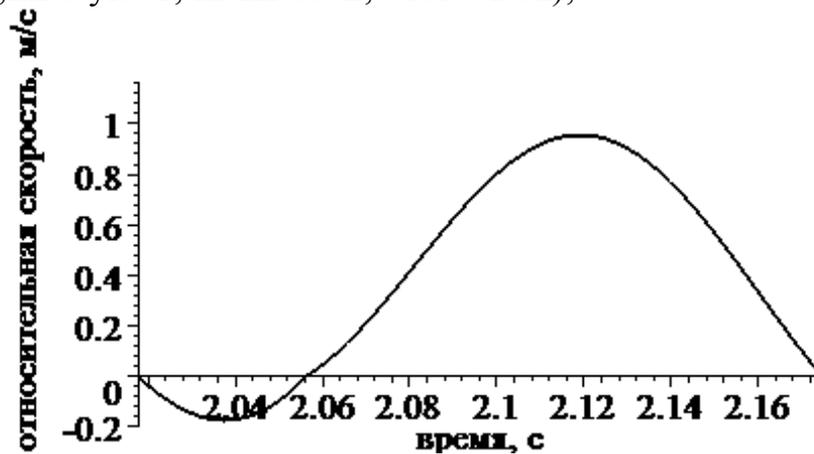


```
> t2:= [seq(t[s],s=0..15000)]:
```

```
x3:= [seq(v(t[s])-r*om*cos(om*t[s])*cos(a1),s=0..15000)]:
```

```
pp1:=(t2,x3)->[t2,x3]:a1:=zip(pp1,t2,x3,2):
```

```
plot(a1,2.018..2.175,labels=['время, с', `относительная скорость, м/с`],  
labeldirections=[HORIZONTAL,VERTICAL],font=[TIMES,ROMAN,14],axes=normal,  
style=line,linestyle=1,thickness=2,color=black);
```



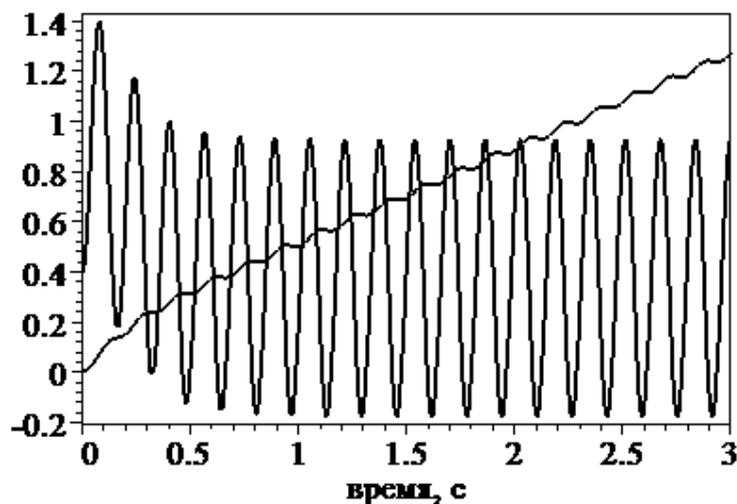
## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

## Программа "Решето относит"

```

> restart:
al:=9*Pi/180:
om:=370*2*Pi/60:
r:=.015:
h:=.0002:
N:=tt->9.81*cos(al)+om^2*r*sin(om*tt)*sin(al):
#plot(N(t),t=0..2*Pi/om);
t[0]:=0:x[0]:=0:x[1]:=0.4*h:
for i from 0 to 15000 do
t[i+1]:=t[i]+h:
if (x[i+1]-x[i])/h>=0 then f:=.3 else f:=-.3 fi:
x[i+2]:=2*x[i+1]-x[i]+h^2*(evalf(9.81*sin(al)+r*om^2*sin(om*t[i])-f*N(t[i]))):
od:
t2:=[seq(t[s],s=1..15000)]:
x2:=[seq(x[s],s=1..15000)]:
pp:=(t2,x2)->[t2,x2]:a:=zip(pp,t2,x2,2):
v2:=[seq((x[s]-x[s-1])/h,s=1..15000)]:
pp1:=(t2,v2)->[t2,v2]:a1:=zip(pp,t2,v2,2):
with(plots):
plot([a,a1],0..3,labels=[`время, с`, `относительная координата, м; скорость,
м/с`],labeldirections=[HORIZONTAL,VERTICAL],font=[TIMES,ROMAN,14],axes=b
oxed,style=line,linestyle=1,thickness=2,color=black);

```



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

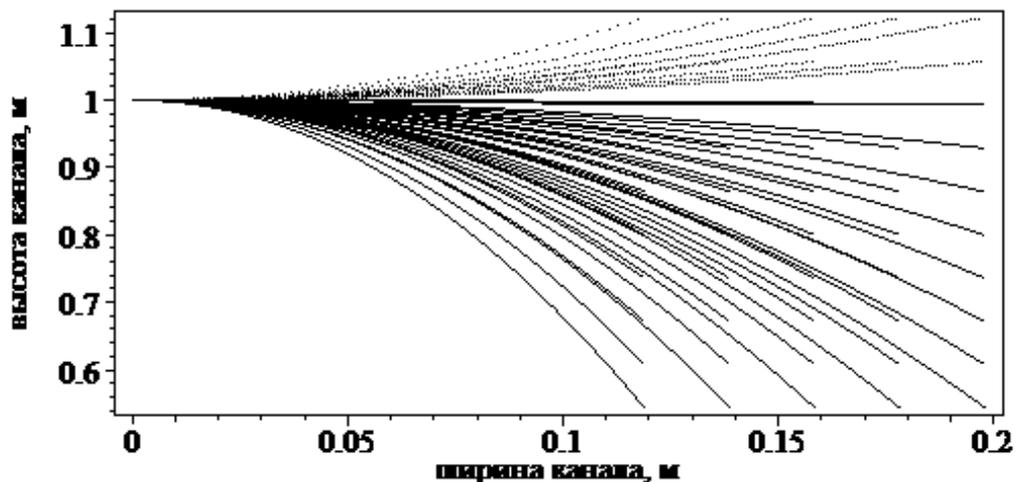
## Программа "Полет массива"

```

> restart: with(plots):
> k:=.05: sch:=0:
#Угол наклона решета
al:=0: al:=3.141*al/180:
#Высота схода
H:=1: g:=9.81:
> T:=.4:
#Скорость восходящего потока воздуха
VVV:=9: i:=0:
#Циклы по парусности и по скорости
for par from .05 to .14 by .01 do
for sk from .30 to .5 by .05 do usk:=g-par*VVV^2:
if usk>0 then W:=1 else W:=2: print (par):sch:=sch+1 fi:
#Начальные условия
v:=x(0)=0,y(0)=H,D(x)(0)=sk*cos(al),D(y)(0)=sk*sin(al):
#Система дифференциальных уравнений полета частиц
> uu:=diff(x(t),t$2)+par*diff(x(t),t)*((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)^.5=0,
diff(y(t),t$2)+par*diff(y(t),t)*((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)^.5+usk=0;
deg:={x(t),y(t)}:
P1:=dsolve({uu,v},deg,numeric,output=listprocedure):
gr[i]:=plots[odeplot](P1,[x(t),y(t)],t=0..T, labels=['ширина канала, м', 'высота канала,
м'],labeldirections=[HORIZONTAL,VERTICAL],font=[TIMES,ROMAN,12],axes=boxed,style=line,linestyle=W,thickness=1,color=black):
i:=i+1 od od:
procent:=evalf(sch*100/(i-1)); display(gr[ii]$ii=0..i-1);

```

*procent := 20.40816327*



## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

## Программа «Полет частицы»

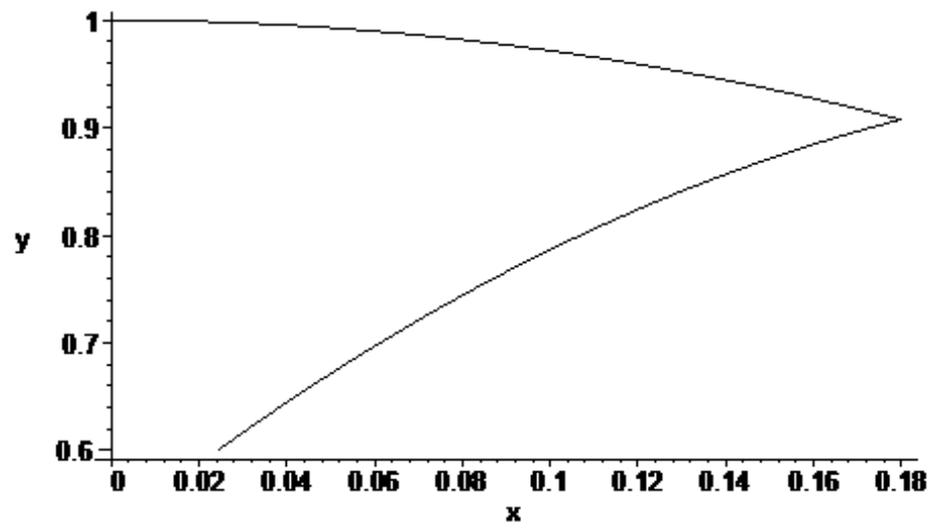
```

> restart:
with(plots):
> par:=.084:
al:=0:
al:=3.141*al/180:
sk:=.5:
H:=1:
> VVV:=10:
k_otr:=.7:
#Начальные условия и система дифференциальных уравнений полета
v:=x(0)=0,y(0)=H,D(x)(0)=sk*cos(al),D(y)(0)=sk*sin(al):
> uu:=diff(x(t),t$2)+par*diff(x(t),t)*((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)^.5=0,
diff(y(t),t$2)+par*diff(y(t),t)*((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)^.5+9.81-par*VVV^2=0:
deg:={x(t),y(t)}:
P:=dsolve({uu,v},deg,numeric,output=listprocedure):
> X:=subs(P,x(t)):Y:=subs(P,y(t)):VX:=subs(P,diff(x(t),t)):VY:=subs(P,diff(y(t),t)):
T:=fsolve(Y-.6,0..2):
#Проверка попадания на нижнюю часть канала
if X(T)<.18 then ris:=1:print(X(T)):                               else
ris:=2:
#Нахождение точки попадания на заднюю стенку канала
T:=fsolve(X-.18,0..1):
gr1:=plots[odeplot](P,[x(t),y(t)],t=0..T, color=black):
VVX:=VX(T):VVY:=VY(T):
v_gor:=-VVX:v_ver:=VVY:
#Начальные условия и система дифференциальных уравнений отраженного полета
v:=x(0)=.18,y(0)=Y(T),D(x)(0)=k_otr*v_gor,D(y)(0)=k_otr*v_ver:
P:=dsolve({uu,v},deg,numeric,output=listprocedure):
X:=subs(P,x(t)):Y:=subs(P,y(t)):
T1:=fsolve(Y-.6,0..1):print(X(T1)):
gr2:=plots[odeplot](P,[x(t),y(t)],t=0..T1, color=black)          fi:
if ris=1 then plots[odeplot](P,[x(t),y(t)],t=0..T, color=black) fi;
if ris=2 then display(gr1,gr2) fi;

>

```

0.0242357392893732



## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Программа расчета распределения частиц по ширине воздушного канала (**гладкий лоток**)

```

> restart: with(plots):
Угол наклона решета
> al:=9: al:=3.141*al/180:
Высота схода H:=1:
for i from 1 to 18 do zon[i]:=0 od:
Скорость восходящего потока воздуха VVV:=9:
Коэффициент отражения
k_otr:=.65:
Циклы по коэффициенту парусности и по скорости схода
for par from .06 to .13 by .002 do
for sk from 0.3 to .5 by .01 do
Начальные условия полета
v:=x(0)=0,y(0)=H,D(x)(0)=sk*cos(al),D(y)(0)=sk*sin(al):
Система дифференциальных уравнений полета
> uu:=diff(x(t),t$2)+par*diff(x(t),t)*((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)^.5=0,
diff(y(t),t$2)+par*diff(y(t),t)*((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)^.5+9.81-par*VVV^2=0:
deg:={x(t),y(t)}:
Встроенная процедура решения системы
P:=dsolve({uu,v},deg,numeric,output=listprocedure):
Выделение функций закона движения и скоростей
> X:=subs(P,x(t)):Y:=subs(P,y(t)):VX:=subs(P,diff(x(t),t)):VY:=subs(P,diff(y(t),t)):
Определение времени полета до нижней кромки канала
T:=fsolve(Y-.6,0..1):
Условный оператор, определяющий характер траектории полета: падение на основание или полет соотражением оот задней стенки канала
if X(T)<.18 then ris:=1: i:=round(X(T)*100): zon[i]:=zon[i]+1:
else ris:=2:
T:=fsolve(X-.18,0..1):
VVX:=VX(T):VVY:=VY(T):
v_gor:=-VVX:v_ver:=VVY:
Начальные условия и система уравнений, описывающие отраженное движение
v:=x(0)=.18,y(0)=Y(T),D(x)(0)=k_otr*v_gor,D(y)(0)=k_otr*v_ver:
P:=dsolve({uu,v},deg,numeric,output=listprocedure):
X:=subs(P,x(t)):Y:=subs(P,y(t)):
T1:=fsolve(Y-.6,0..1):i:=round(X(T1)*100): zon[i]:=zon[i]+1:fi: od od:
Печать распределения по зонам. S-суммарное количество частиц. Окончание циклов.
S:=sum(zon[ii],
ii=1..18);print(`Всего частиц`, S);
for i from 1 to 18 do print(i,evalf(zon[i]/S*100)) od:
Формирование двумерного массива для графика
x:=seq(i,i=1..18):

```

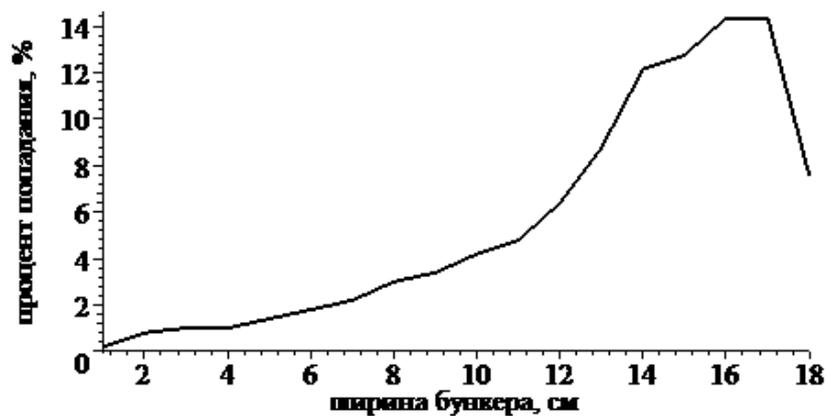
```

y:=seq(zon[i]/S*100,i=1..18):
pp:=(x,y)->[x,y]:a:=zip(pp,x,y,2):
plot(a,1..18,labels=['`ширина бункера, см`, `процент попадания,
%`'],labeldirections=[HORIZONTAL,VERTICAL],font=[TIMES,ROMAN,12],style=li
ne,linestyle=1,thickness=2,color=black );

```

$S := 502$

1, 0.1992031873  
2, 0.7968127490  
3, 0.9960159363  
4, 0.9960159363  
5, 1.394422311  
6, 1.792828685  
7, 2.191235060  
8, 2.988047809  
9, 3.386454183  
10, 4.183266932  
11, 4.780876494  
12, 6.374501992  
13, 8.764940239  
14, 12.15139442  
15, 12.74900398  
16, 14.34262948  
17, 14.34262948  
18, 7.569721116



## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Программа "Полет с уступа"

> restart:

with(plots):

> par:=.05:

al:=9: al:=3.141\*al/180:

r:=.015:

om:=40:

g:=9.81:

t0:=2.17:

v0:=.17:

> v:=x(t0)=0,y(t0)=.006,D(x)(t0)=v0,D(y)(t0)=0:

> uu:=diff(x(t),t\$2)-

r\*om^2\*sin(om\*t)+par\*diff(x(t),t)\*((diff(x(t),t)+r\*om\*cos(om\*t))^2+diff(y(t),t)^2)^.5-9.81\*sin(al)=0,

diff(y(t),t\$2)+par\*diff(y(t),t)\*((diff(x(t),t)+r\*om\*cos(om\*t))^2+diff(y(t),t)^2)^.5+9.81\*cos(al)=0:

deg:={x(t),y(t)}:

P:=dsolve({uu,v},deg,numeric,output=listprocedure):

X:=subs(P,x(t)):Y:=subs(P,y(t)):VX:=subs(P,diff(x(t),t)):

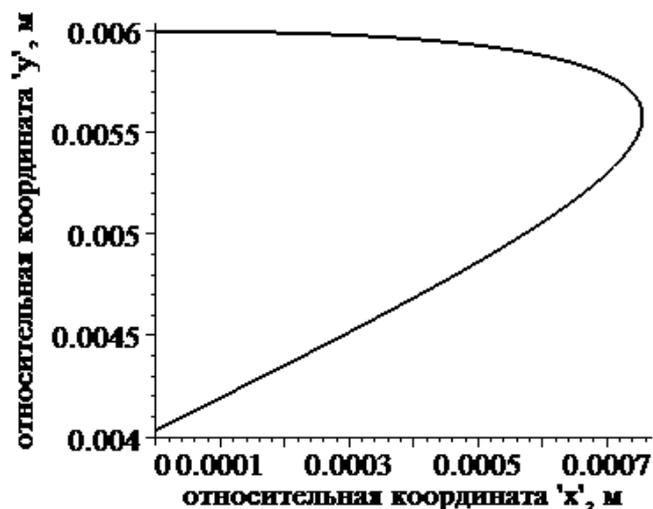
T:=fsolve(Y,t0..t0+.3):

T-t0; X(T); VX(T);

if X(T)<0 then T1:=fsolve(X,t0+.00001..t0+.03) fi;

plots[odeplot](P,[x(t),y(t)],t=t0..T1,labels=['относительная координата 'x', м`,`,'относительная координата 'y',

м`,`],labeldirections=[HORIZONTAL,VERTICAL],font=[TIMES,ROMAN,14],axes=normal,style=line,linestyle=1,thickness=2,color=black);



## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Программа расчета распределения частиц по ширине воздушного канала (**ступенчатый лоток**)

> restart:

with(plots):

Угол наклона решета

> al:=9:

al:=3.141\*al/180:

Высота схода

H:=1:

for i from 1 to 18 do zon[i]:=0 od:

Скорость восходящего потока воздуха

> VVV:=9:

Коэффициент отражения

k\_otr:=.5:

Циклы по коэффициенту парусности и по скорости схода

for par from .06 to .11 by .0002 do sk:=6:

Начальные условия полета

v:=x(0)=0,y(0)=H,D(x)(0)=sk\*cos(al),D(y)(0)=sk\*sin(al):

Система дифференциальных уравнений полета

> uu:=diff(x(t),t\$2)+par\*diff(x(t),t)\*((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)^.5=0,  
diff(y(t),t\$2)+par\*diff(y(t),t)\*((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)^.5+9.81-par\*VVV^2=0:  
deg:={x(t),y(t)}:

Встроенная процедура решения системы

P:=dsolve({uu,v},deg,numeric,output=listprocedure):

Выделение функций закона движения и скоростей

> X:=subs(P,x(t)):Y:=subs(P,y(t)):VX:=subs(P,diff(x(t),t)):VY:=subs(P,diff(y(t),t)):

Определение времени полета до нижней кромки канала

T:=fsolve(Y-.6,0..1):

Условный оператор, определяющий характер траектории полета: падение на основание или полет соотражением оот задней стенки канала

if X(T)<.18 then ris:=1: i:=round(X(T)\*100): zon[i]:=zon[i]+1:

else

ris:=2:

T:=fsolve(X-.18,0..1):

VVX:=VX(T):VVY:=VY(T):

v\_gor:=-VVX:v\_ver:=VVY:

Начальные условия и система уравнений, описывающие отраженное движение

v:=x(0)=.18,y(0)=Y(T),D(x)(0)=k\_otr\*v\_gor,D(y)(0)=k\_otr\*v\_ver:

P:=dsolve({uu,v},deg,numeric,output=listprocedure):

X:=subs(P,x(t)):Y:=subs(P,y(t)):

T1:=fsolve(Y-.6,0..1):i:=round(X(T1)\*100): zon[i]:=zon[i]+1:fi:od:

for par from .06 to .11 by .003 do

for sk from 0.34 to .49 by .01 do

```

v:=x(0)=0,y(0)=H,D(x)(0)=sk*cos(al),D(y)(0)=sk*sin(al):
uu:=diff(x(t),t$2)+par*diff(x(t),t)*((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)^.5=0,
diff(y(t),t$2)+par*diff(y(t),t)*((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)^.5+9.81-par*VVV^2=0:
deg:={x(t),y(t)}:
Встроенная процедура решения системы
P:=dsolve({uu,v},deg,numeric,output=listprocedure):
Выделение функций закона движения и скоростей
X:=subs(P,x(t)):Y:=subs(P,y(t)):VX:=subs(P,diff(x(t),t)):VY:=subs(P,diff(y(t),t)):
Определение времени полета до нижней кромки канала
T:=fsolve(Y-.6,0..1):
Условный оператор, определяющий характер траектории полета: падение на ос-
нование или полет соотражением оот задней стенки канала
if X(T)<.18 then ris:=1: i:=round(X(T)*100): zon[i]:=zon[i]+1:
else
ris:=2:
T:=fsolve(X-.18,0..1):
VVX:=VX(T):VVY:=VY(T):
v_gor:=-VVX:v_ver:=VVY:
Начальные условия и система уравнений, описывающие отраженное движение
v:=x(0)=.18,y(0)=Y(T),D(x)(0)=k_otr*v_gor,D(y)(0)=k_otr*v_ver:
P:=dsolve({uu,v},deg,numeric,output=listprocedure):
X:=subs(P,x(t)):Y:=subs(P,y(t)):
T1:=fsolve(Y-.6,0..1):i:=round(X(T1)*100): zon[i]:=zon[i]+1:fi:od od:
for par from .06 to .11 by .002 do
for sk from 0.25 to .34 by .006 do
v:=x(0)=0,y(0)=H,D(x)(0)=sk*cos(al),D(y)(0)=sk*sin(al):
uu:=diff(x(t),t$2)+par*diff(x(t),t)*((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)^.5=0,
diff(y(t),t$2)+par*diff(y(t),t)*((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)^.5+9.81-par*VVV^2=0:
deg:={x(t),y(t)}:
Встроенная процедура решения системы
P:=dsolve({uu,v},deg,numeric,output=listprocedure):
Выделение функций закона движения и скоростей
X:=subs(P,x(t)):Y:=subs(P,y(t)):VX:=subs(P,diff(x(t),t)):VY:=subs(P,diff(y(t),t)):
Определение времени полета до нижней кромки канала
T:=fsolve(Y-.6,0..1):
Условный оператор, определяющий характер траектории полета: падение на ос-
нование или полет соотражением оот задней стенки канала
if X(T)<.18 then ris:=1: i:=round(X(T)*100): zon[i]:=zon[i]+1:
else
ris:=2:
T:=fsolve(X-.18,0..1):
VVX:=VX(T):VVY:=VY(T):
v_gor:=-VVX:v_ver:=VVY:
Начальные условия и система уравнений, описывающие отраженное движение
v:=x(0)=.18,y(0)=Y(T),D(x)(0)=k_otr*v_gor,D(y)(0)=k_otr*v_ver:

```

```

P:=dsolve({uu,v},deg,numeric,output=listprocedure):
X:=subs(P,x(t)):Y:=subs(P,y(t)):
T1:=fsolve(Y-.6,0..1):i:=round(X(T1)*100): zon[i]:=zon[i]+1:fi:od od:
Печать распределения по зонам. S-суммарное количество частиц. Окончание цик-
лов.                                     S:=sum(zon[ii],
ii=1..18);print(`Всего частиц`, S);
for i from 1 to 18 do print(i,evalf(zon[i]/S*100)) od:
Формирование двумерного массива для графика
x:=seq(i,i=1..18):
y:=seq(zon[i]/S*100,i=1..18):
pp:=(x,y)->[x,y]:a:=zip(pp,x,y,2):
plot(a,1..18,labels=[`ширина бункера, см`, `процент попадания,
%`],labeldirections=[HORIZONTAL,VERTICAL],font=[TIMES,ROMAN,12],style=li
ne,linestyle=1,thickness=2,color=black );

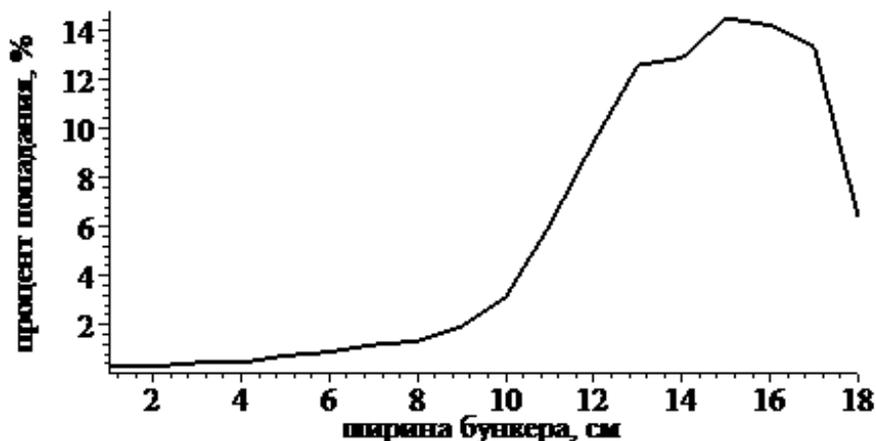
```

S := 676

```

1, 0.2958579882
2, 0.2958579882
3, 0.4437869822
4, 0.4437869822
5, 0.7396449704
6, 0.8875739645
7, 1.183431953
8, 1.331360947
9, 1.923076923
10, 3.106508876
11, 6.065088757
12, 9.467455621
13, 12.57396450
14, 12.86982249
15, 14.49704142
16, 14.20118343
17, 13.31360947
18, 6.360946746

```



ПРИЛОЖЕНИЕ И  
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 166514

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОСЛЕРЕШЕТНОЙ  
ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное Учреждение высшего образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1" (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2016108350

Приоритет полезной модели 09 марта 2016 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 10 ноября 2016 г.

Срок действия патента истекает 09 марта 2026 г.

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** <sup>(11)</sup>**166 514** <sup>(13)</sup> **U1**

(51) МПК

*B07B 11/06* (2006.01)*B07B 4/00* (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2016108350/03, 09.03.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.03.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.03.2016

(45) Опубликовано: 27.11.2016 Бюл. № 33

Адрес для переписки:

394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ВГАУ, зав.  
сектором защиты интеллектуальной  
собственности Балбековой Л.В.

(72) Автор(ы):

Тарабрин Дмитрий Сергеевич (RU),  
Тарасенко Александр Павлович (RU),  
Лунёв Алексей Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

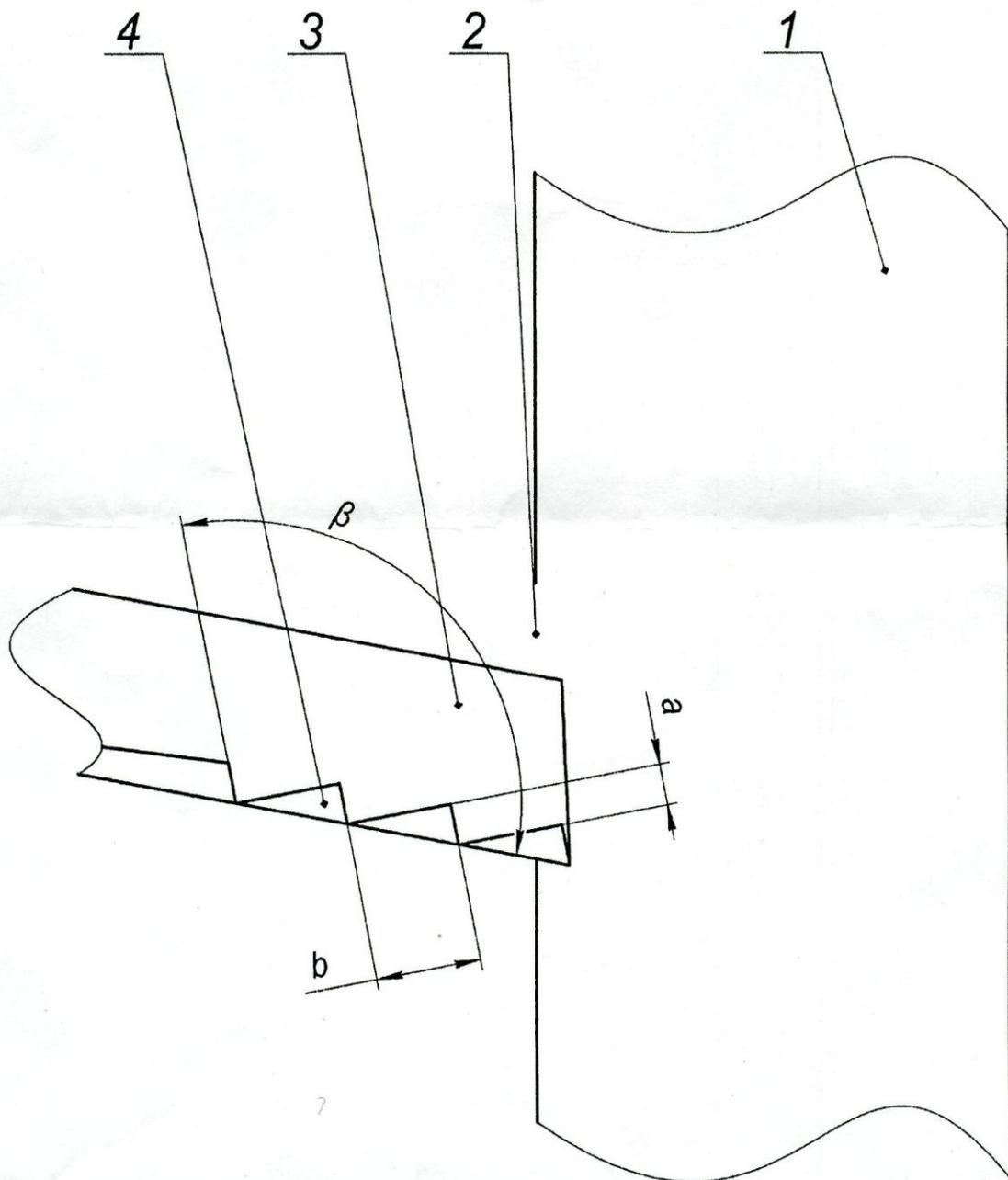
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное Учреждение высшего  
образования "Воронежский государственный  
аграрный университет имени императора  
Петра 1" (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ)  
(RU)**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОСЛЕРЕШЕТНОЙ ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА**

(57) Формула полезной модели

Устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха, включающее вертикальный пневмосепарирующий канал с поперечным окном для ввода очищаемого материала, в котором установлен питатель, отличающееся тем, что питатель выполнен в виде колеблющегося лотка со ступенчатой скатной поверхностью, ширина  $b$  ступеней выбирается меньше или равной амплитуде колебаний самого питателя.

RU 166514 U1

RU 166514 U1



RU 166514 U1

RU 166514 U1



душно – решетных зерноочистительных машин при обеспечении равномерной загрузки канала послерешетной аспирации;

- схему устройства для послерешетной пневмосепарации зернового вороху (Пат. 166514 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В07 В 4/00 В07 В 11/06);

- рекомендации по выбору рациональных параметров и режима работы предлагаемого технического решения для различных сельхоз культур.

Переданные материалы исследований представляют несомненный практический интерес, используются ООО «Агроимпульс СПС» при модернизации зерноочистительных машин в хозяйствах региона. Модернизация модельного ряда, выпускаемых воздушно-решетных сепараторов с установкой предлагаемой системы послерешетной аспирации включена в перспективный план разработки и постановки на производство на 2018 – 2019 годы.

Инженер ООО «Агроимпульс СПС»

А.А. Петров

Заведующий кафедрой  
сельскохозяйственных машин,  
тракторов и автомобилей  
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ,  
д. с-х. н., профессор

В.И. Орбинский

Аспирант кафедры  
сельскохозяйственных машин,  
тракторов и автомобилей  
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ

Д.С. Тарабрин