

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

На правах рукописи

ГИЕВСКИЙ Алексей Михайлович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
УНИВЕРСАЛЬНЫХ ВОЗДУШНО-РЕШЕТНЫХ
ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Диссертация на соискание учёной степени
доктора технических наук

Научный консультант –
доктор сельскохозяйственных наук
Оробинский В.И.

Воронеж – 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1. Проблема поточной обработки зернового вороха и задачи исследований	14
1.1. Фракционная технология послеуборочной обработки зернового вороха, как один из путей сохранения зерна.....	14
1.2. Современное состояние системы послеуборочной обработки зерна в стране.....	22
1.3. Мировые тенденции развития универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин.....	29
1.4. Проблема повышения эффективности воздушной очистки зернового вороха	57
1.5. Краткий обзор теоретических исследований по пневмосепарации.....	78
1.6. Содержание проблемы и задачи исследования	80
2. Прогнозирование повышения производительности универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин	84
2.1. Распределение зернового вороха по толщине и скорости витания компонентов, как система двух случайных величин.....	84
2.2. Определение вероятности содержания в ворохе компонентов подлежащих выделению в фуражную фракцию по классам.....	89
2.3. Определение вероятности выделения компонентов вороха в фуражную фракцию по классам	101
2.4. Влияние режима работы канала дорешетной аспирации и доли сортировальных решет в станах на производительность машин и полноту выделения фуражной фракции	106
2.5. Влияние режима работы канала дорешетной очистки и доли сортировальных решет в станах на качество зерна основной фракции	122
2.6. Выводы.....	136
3. Обоснование принципиальной схемы пневмосистемы и ее элементов.....	139
3.1. Последовательное использование воздушного потока, как один из путей снижения энергозатрат на работу пневмосистемы.....	139
3.2. Моделирование работы двухаспирационной пневмосистемы с одним воздушным потоком.....	147
3.3. Обоснование основных параметров и режима работы устройства для подачи вороха в канал дорешетной аспирации.....	159
3.4. Выводы.....	175
4. Программа и методика экспериментальных исследований.....	177
4.1. Программа экспериментальных исследований.....	177

4.2. Экспериментальные установки, приборы и оборудование	177
4.3. Методика проведения исследований и обработки экспериментальных данных	190
4.3.1. Общая методика проведения исследований и обработки экспериментальных данных	190
4.3.2. Методика проведения исследований и обработки экспериментальных данных по определению сопротивления элементов пневмосистемы и скорости воздушного потока в осадочных камерах	198
5. Экспериментальные исследования двухаспирационной пневмосистемы с одним воздушным потоком	201
5.1.Обоснование основных параметров подачи вороха в канал дорешетной аспирации	201
5.2.Влияние высоты канала дорешетной аспирации на показатели выделения фуражной фракции	212
5.3.Влияние дополнительного забора воздуха на качественные показатели работы пневмосистемы	215
5.4. Влияние глубины предварительной зоны канала послерешетной аспирации на показатели выделения фуражной фракции	218
5.5. Обоснование рационального сечения канала послерешетной аспирации и режима работы пневмосистемы при различной подаче	223
5.6. Распределение скоростей воздушного потока в осадочных камерах пневмосистемы	233
5.7.Влияние подачи вороха на качественные показатели работы пневмосистемы	237
5.8. Влияние режима работы пневмосистемы на сопротивление и затраты мощности	240
5.9. Влияние подачи вороха на сопротивление пневмосистемы и затраты мощности	246
5.10. Выводы	251
6. Экспериментальные исследования по обоснованию параметров решетной очистки	253
6.1.Схемы размещения решет в решетных станах современных воздушно-решетных зерноочистительных машин	253
6.2.Влияние подачи и длины сортировальных решет на сепарацию фуражных фракций зернового вороха	259
6.3.Обоснование типа и длины колосовых решет	266
6.4. Влияние вывода нижнего слоя зерна с конца сортировальных решет на качественные показатели очистки зерна	274

6.5. Выводы.....	280
7. Реализация результатов исследований и экономическая эффективность применения универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин.....	282 282
7.1. Принципиальная схема универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин.....	282
7.2. Фракционная технология товарной очистки зерна на базе разработанных машин.....	285
7.3. Реализация результатов исследований и определение эффективности применения машины производительностью 65 т/ч.....	286
Заключение	291
Список условных обозначений.....	294
Список литературы	297
Приложение А	338
Приложение Б.....	339
Приложение В	340
Приложение Г	341
Приложение Д	353
Приложение Ж.....	354
Приложение З	355
Приложение К	356
Приложение Л	358
Приложение М.....	359

Введение

Актуальность темы. Увеличение производства зерна носит системообразующий характер для других отраслей сельского хозяйства и является основой для устойчивого функционирования всего агропромышленного комплекса и обеспечения продовольственной безопасности России. Это вытекает из «Стратегии социально-экономического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2020 г. (научные основы)» и «Стратегии машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2020 года», разработанных Министерством сельского хозяйства и Российской академией сельскохозяйственных наук.

Залогом получения высококачественного товарного зерна и семян, наряду с современными сортами и применяемыми технологиями возделывания, является незамедлительная, без промежуточного хранения, послеуборочная обработка поступающего с поля вороха с его разделением на фракции: основную, фуражную и неиспользуемых отходов. Такое разделение вороха на самой ранней стадии обработки возможно с использованием универсальных двухаспирационных воздушно – решетных зерноочистительных машин, работающих по фракционной технологии очистки.

Имеющаяся в сельском хозяйстве отечественная зерноочистительная техника, включая воздушно-решетные зерноочистительные машины, имеет невысокую производительность, зачастую работает по устаревшим технологиям очистки, морально устарела, физически изношена и не может составить конкуренцию лучшим мировым образцам. По этим причинам современные поточные зерно- и семяочистительные линии оборудуются большей частью технологическим оборудованием зарубежных производителей, что увеличивает себестоимость послеуборочной обработки зерна.

Поэтому обеспечение технической безопасности в области послеуборочной обработки зерна за счет использования машин отечественного сельхозмашиностроения при существенном (в 2,0...2,5 раза) повышении произ-

водительности и совершенствовании технологий их работы является одной из актуальных проблем.

Работа выполнена в рамках следующих программ НИР и договоров:

- инновационного проекта № 4691 «Разработка и организация производства технических средств для внедрения перспективной технологии послеуборочной подготовки высококачественных семян» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «Старт»;

- государственного контракта "Исследование в производственных условиях влияния современных зерноочистительных машин и оборудования отечественного и зарубежного производства на качество семян и выбор наиболее перспективных для разработки и реконструкции семяочистительных линий" (государственный контракт № 3, 2008 г., главное управление аграрной политики Воронежской области);

- 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. Оробинский, 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. Невысокие качественные показатели работы пневмосистем сдерживают рост производительности

сти универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин и приводят к высокой удельной энергоемкости, достигающей 0,45...0,5 кВт/т.

Цель исследования:

Повышение производительности универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин, работающих по фракционной технологии за счет совершенствования рабочих органов и режимов их работы.

Для достижения поставленной цели нами была выдвинута **научная гипотеза** о возможности значительного повышения производительности универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин, работающих по фракционной технологии за счет последовательного использования воздушного потока в двухаспирационной пневмосистеме с выделением фуражной фракции в обеих аспирациях и рационального соотношения решет в решетном стане.

С учетом поставленной цели и сформулированной научной гипотезы решали следующие **задачи исследования**:

1) аналитически обосновать и подтвердить пути повышения производительности универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин, работающих по фракционной технологии, выдвинутые в научной гипотезе;

2) разработать принципиальную конструктивно-технологическую схему двухаспирационной пневмосистемы с одним воздушным потоком позволяющую повысить эффективность выделения примесей без увеличения расхода воздуха и энергозатрат, обосновать ее рациональные параметры и режим работы;

3) на основании аналитических и экспериментальных исследований обосновать рациональное соотношение площади решет в решетных станах, исходя из их назначения, и схему их размещения в решетных станах;

4) разработать и обосновать общую конструктивно-технологическую схему универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин разной производительности;

5) установить взаимосвязь качественных выходных параметров зернового вороха при его фракционировании с параметрами и режимами работы рабочих органов;

6) обосновать технологию фракционной очистки зернового вороха в поточной линии на основе разработанных универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин.

Научная новизна:

- вероятностный подход, отличающийся использованием методов анализа и синтеза и позволяющий выявить направления повышения производительности воздушно-решетных зерноочистительных машин;

- математические закономерности, позволяющие установить взаимосвязь качественных показателей очистки зерна с параметрами исходного зернового вороха и полнотой разделения на фракции рабочими органами воздушно-решетных машин;

- моделирование движения воздушного потока в пневмосистеме, отличающееся применением конечно-объемного метода решения уравнений гидродинамики на прямоугольной адаптивной сетке и позволяющее определить основные размеры элементов пневмосистемы;

- фракционная технология обработки зернового вороха, реализуемая на универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машинах и отличающаяся разделением на основную, фуражную, отходовую фракции двухаспирационной пневмосистемой и фракции крупных примесей, основную и фуражную на решетной очистке;

- двухаспирационная пневмосистема, отличающаяся последовательным использованием воздушного потока в послерешетной и дорешетной аспирациях;

- конструктивно-технологическая схема универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин, отличающаяся комплектованием решетных станков колосовыми и сортировальными решетками с их расположением в отдельных ярусах.

Теоретическую значимость имеют:

- аналитически и экспериментально доказанные положения о возможности повышения производительности воздушно-решетных зерноочистительных машин в 1,6...2,0 раза за счет рационального выбора и размещения решет в решетных станах и выделения части фуражных примесей дорешетной аспирацией;
- математические зависимости, позволяющие прогнозировать взаимосвязь качественных показателей очистки зерна с параметрами исходного зернового вороха, полнотой разделения на фракции решетной очисткой и пневмосистемой машин;
- доказанное положение о возможности использования моделирования с применением конечно-объемного метода решения уравнений движения воздушного потока в пневмосистеме на стадии ее проектирования;
- результаты решения уравнений движения воздушного потока в пневмосистеме, позволяющие определить параметры основных элементов пневмосистемы;
- математические модели для определения геометрических и режимных параметров устройства ввода вороха в горизонтальный воздушный поток.

Практическую значимость имеют:

- принцип последовательного использования воздушного потока в аспирационных системах послерешетной очистки с вертикальным каналом и дорешетной очистки с горизонтальным каналом и секционной осадочной камерой, позволяющий улучшить качественные показатели воздушной очистки при снижении общего расхода воздуха пневмосистемой на 25...40%;
- фракционная технология обработки зернового вороха, реализуемая на универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машинах с разделением на основную, фуражную и отходовую фракции двухаспирационной пневмосистемой и фракции крупных примесей, основную и фуражную на решетной очистке;

- технические решения, позволяющие повысить эффективность работы воздушной и решетной очисток;

- практические рекомендации по выбору конструктивно-технологических схем универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин разной производительности;

Объект исследования: рабочий процесс универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин с последовательным использованием воздушного потока в двухаспирационной пневмосистеме.

Предмет исследования: закономерности изменения качественных и количественных показателей фракционной очистки зернового вороха в двухаспирационной воздушно-решетной зерноочистительной машине и ее основных элементах при последовательном использовании воздушного потока в аспирациях и оборудовании решетной очистки решетками двух типов.

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

Положения, выносимые на защиту:

- вероятностный подход, позволяющий аналитически обосновать возможность повышения производительности воздушно-решетных зерноочистительных машин в 1,6...2,0 раза за счет рационального выбора и размещения решет в решетных станах и выделения части фуражных примесей дорешетной аспирацией;

- математические зависимости, устанавливающие взаимосвязь качественных показателей очистки зерна с параметрами исходного зернового вороха, полнотой разделения на фракции рабочими органами машин;

- математическая модель движения воздушного потока в пневмосистеме и конечно-объемный метод решения уравнений модели на прямоугольной адаптивной сетке с локальным измельчением;

- принцип последовательного использования воздушного потока в аспирационных системах послерешетной очистки с вертикальным каналом и дорешетной очистки с горизонтальным каналом и секционной осадочной камерой, позволяющий улучшить качественные показатели воздушной очистки без повышения энергозатрат;

- результаты экспериментальных исследований разделения зернового вороха двухаспирационной пневмосистемой при последовательном использовании воздушного потока в аспирациях и решетной очисткой при разных схемах размещения решет;

- конструктивно-технологические схемы универсальных машин с последовательным использованием воздушного потока в двухаспирационной пневмосистеме и фракционная технология первичной очистки с разделением на основную, фуражную и отходовую фракции двухаспирационной пневмосистемой и фракции крупных примесей, основную и фуражную на решетной очистке.

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты полученных при теоретических исследованиях, подтверждается данными лабораторных 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 работы доложены и обсуждены: на международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (Воронеж, ноябрь 2015 г.); на международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (Россия, Воронеж, 25 декабря 2015 г.); на Воронежском промышленном форуме (Воронеж, сентябрь 2012 г.); на научных конференциях Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (2008-2016 г.г.).

Результаты работы внедрены ГК «АгроТехХолдинг», ООО «Агроимпульс СПС» при проектировании, строительстве линий и комплексов послеуборочной обработки зерна, модернизации зерноочистительных агрегатов в хозяйствах региона. В хозяйствах Липецкой и Воронежской областей внедрена фракционная технология послеуборочной обработки зернового вороха и двухаспирационная пневмосистема с последовательным использованием воздушного потока в аспирациях на универсальных зерноочистительных машинах семейства ОЗФ. ООО «Агроимпульс СПС» универсальная двухаспирационная воздушно-решетная машина производительностью до 65 т/ч включена в перспективный план разработки и постановки на производство на 2017...2018 годы.

Личный вклад. Автор принимал непосредственное участие на всех этапах работы: обоснование актуальности выбранной темы, формулировка цели и задач исследований, а также научной гипотезы для их решения, выбор и разработка новых математических моделей методов их реализации, составление программы проведения экспериментов и анализа полученных эмпирических данных, обоснованию новых технических решений по пневмосистеме и решетной очистке универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин, обоснованию рациональных параметров и режимов работы. По результатам исследований им сформулированы выводы и проведена работа по оформлению диссертации и автореферата.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 45 научных работ, в том числе 28 работ – в изданиях, рекомендованных для опубликования результатов докторских диссертаций, получено двенадцать патентов РФ на изобретения.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, семи разделов, заключения, списка литературы из 346 наименований и приложений. Диссертация изложена на 364 страницах, включая 103 рисунка и 25 таблиц.

Автор выражает искреннюю благодарность доктору технических наук, профессору, заслуженному деятелю науки и техники Российской Федерации А.П. Тарасенко, доктору сельскохозяйственных наук, научному консультанту В.И. Оробинскому соавторам многих совместных публикаций; кандидату технических наук, доценту В.В.Шередекину, ведущему инженеру А.В. Луневу за помощь в изготовлении экспериментальных установок; кандидатам технических наук, доцентам И.В. Баскакову и А.В. Чернышову за помощь в проведении экспериментальных исследований; сотрудникам Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I за ценные замечания и предложения при апробации результатов исследований.

1. Проблема поточной обработки зернового вороха и задачи исследований

1.1. Фракционная технология послеуборочной обработки зернового вороха, как один из путей сохранения зерна

В России в последние годы выросло производство зерна, особенно пшеницы, которая занимает основную долю экспорта. Однако качество зерна оставляет желать лучшего, тем более для страны, претендующей на роль ведущего экспортера зерна в мире [219]. Причина такого положения состоит не только в нехватке высокопродуктивных сортов, несовершенстве агротехники, технологий возделывания, но и в качестве и своевременности проведения уборки и работ по послеуборочной обработке зерна [75, 87, 86, 92, 137, 179, 246].

В свежесобранном ворохе кроме сорных примесей и незерновых компонентов содержится часть зерна основной культуры, не отвечающей требованиям, установленным к товарному и семенному зерну. По данным многих исследований [44, 92, 246, 254] содержание сорных примесей в последние годы имеет тенденцию к снижению, в связи с переходом на современные технологии и стабилизацию парка уборочной техники. Некачественная часть зерна основной культуры, куда входят мелкие, недоразвитые, щуплые, поврежденные, раздавленные, дробленые зерна, как и сорные примеси и незерновые компоненты, является средой, содержащей значительное количество микроорганизмов. Хранение такого вороха даже при кондиционной влажности и небольшой продолжительности ведет к снижению товарных и посевных качеств [285].

Важнейшей задачей послеуборочной обработки зерна является незамедлительная, по мере поступления зернового вороха с поля, очистка от сорных примесей, незерновых компонентов, дробленого и биологического неполноценного зерна, которые являются благоприятной средой для развития микроорганизмов, снижающих товарные и посевные качества.

В настоящее время в сельскохозяйственных предприятиях России, с учетом состояния системы послеуборочной обработки зерна, применяют точную, периодическую с использованием отдельных машин, двухэтапную и фракционную технологии послеуборочной обработки зерна [36, 73, 76, 83, 106, 117, 140, 144, 146, 165, 178, 184, 207, 218, 266, 270, 283].

Для зон с достаточным увлажнением В. И. Анискин, В. П. Елизаров, А. Н. Зюлин [13], А.Д. Галкин, В.Д. Галкин, А.М. Гузаиров [52], Е.М. Зимин [99], Б.А. Карпов [117], Н.И. Косилов [140], А.А. Панов [188], Н. П. Сычугов, Ю. В. Сычугов, В. И. Исупов [255]; Ф. Н. Эрк, А. Е. Иванов, В. В. Леонтьев, И. Д. Павлов [283], П. В. Яговкин [325] и др. предлагают применять двухэтапную технологию обработки зерна. По такой технологии в уборочный период проводится сушка исходного материала и его предварительная очистка. послеуборочный - окончательную очистку и сортирование предлагается проводить после уборки. Такая технология уменьшает потребность в рабочей силе в наиболее напряженное время, снижает удельные капиталовложения и эксплуатационные затраты вследствие использования машин меньшей производительности более продолжительное время. В то же время, при данной технологии требуются дополнительные погрузочно-разгрузочные операции и наличие большего количества складских помещений для хранения партий семенного зерна.

Научные основы фракционной технологии очистки зерна семенного и продовольственного назначения впервые предложены Н.Н. Ульрихом [294]. Суть этой технологии состоит в выборе наилучшего признака разделения основного полноценного зерна и биологически неполноценного зерна и примесей.

Выбор основного признака при фракционной технологии до настоящего времени не находит единого мнения у исследователей, разработчиков зерноочистительной техники и практиков [34, 41, 53, 79, 85, 89, 92, 97, 107, 115, 136, 139, 180, 185, 209, 213, 220, 248, 266, 274, 294, 297, 302, 303, 304, 310, 326, 327].

Основной причиной различия в выборе признаков фракционирования, по мнению многих исследователей, является наличие в зерновом ворохе различных примесей, которые не всегда имеют коррелированные признаки разделения [73, 79, 107, 159, 178]. Обоснование признака фракционирования должно проводиться с учетом универсальности создаваемых машин и технологических линий, возможности эффективной обработки по этой схеме целого ряда культур, возделываемых в регионе. Это условие по нашему мнению должно быть одним из определяющих при выборе признаков фракционирования. В противном случае, как машины, так и технологические линии должны иметь модульную конструкцию, с возможностью изменения положения любого технологического модуля в машине и линии, что на сегодняшний день практически не осуществимо. Поэтому фракционирование в настоящий момент должно проводиться на рабочих органах имеющих сопоставимую производительность, а признаки разделения подходящими для целого ряда культур.

На основе аналитических и экспериментальных исследований в зависимости от физико-механических свойств зерна основной культуры и примесей чаще всего предлагаются фракционные технологии с разделением на решетках, в пневмосепарирующих каналах, и реже на триерах и пневмосортировальных столах [20, 85, 107, 139, 182, 215, 220, 249, 283 и др.].

Для северных и северо-восточных регионов установлена возможность разделения влажного вороха на пневмоинерционных сепараторах на фракции до сушки [133, 136-138, 140, 174, 180, 208, 218, 249, 255, 266]. Крупные компоненты предлагается выделять перед подачей вороха в воздушный поток, что улучшает условия разделения [130].

А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский и другие [183, 186, 268, 271, 303] доказали необходимость разделения зернового вороха на самой ранней стадии обработки на две фракции: основного назначения и фуражную. В фуражную фракцию необходимо выделять биологически неполноценное зерно основной культуры, которое наряду с мелкими засорителями имеет повышенную

влажность и ведет к снижению товарных качеств продовольственного и посевных - семенного зерна. Для этой цели предлагается использовать универсальные двухаспирационные воздушно-решетные зерноочистительные машины, имеющие производительность сопоставимую с производительностью машин предварительной очистки. Машины с принципиально новой компоновкой решетных станков и производительностью 40 и 20 т/ч при первичной очистке были разработаны ООО «СемМаш» и учеными кафедры сельскохозяйственных машин ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ» при содействии государственного фонда поддержки малых предприятий в наукоемкой сфере «Старт».

Ю.В. Сычуговым [263, 266, 268] обоснована и разработана технологическая линия и зерноочистительные машины с фракционированием зерна машиной предварительной очистки. По данным автора, при очистке семян озимой ржи при подаче 6,2...18,0 т/ч получены элитные семена (фракция крупных зерен) и репродукционные семена (фракция мелких зерен), полнота выделения сорных примесей в этих фракциях составила соответственно 95,7...99,4 % и 24,1...32,0%, , содержание сорных семян в крупной фракции - 15...20 шт/кг. Эффективность очистки равнялась 57,4...93,7%, удельный расход электроэнергии - 0,30...0,92 кВт ч/т.

Раздельную обработку в канале послерешетной аспирации фракций зернового вороха, получаемых на решетном стане, предлагают и другие ученые [102, 163, 166].

А.Г. Чумаковым [312 - 317] обоснованы и разработаны технологические схемы обработки зернового вороха на зерноочистительно-сушильных комплексах на основе его фракционирования и формирования потоков зерна по технологическому назначению. С целью рационального использования воздушного потока зерновой ворох предварительно разделяется на решетках. Для реализации технологии разработан пневморешетный сепаратор с тремя последовательно установленными решетками (подсеивное, разделительное, колосовое) и наклонным, расширяющимся в вертикальном направлении пнев-

мосепарирующим каналом с приемниками фракций крупного, среднего и мелкого зерна.

Большинство ученых считают целесообразным проводить разделение зернового вороха на фракции в пневмосепараторах [101, 103, 133, 209, 211, 302, 307]. Для разделения по размерам, по их мнению, на решетный стан следует подавать более тяжелую фракцию вороха, включающую основную часть примесей и засорителей которые могут быть выделены по размерным характеристикам.

Наиболее полноценная фракция, не требующая дальнейшей очистки, может быть выделена только с использованием воздушного потока в пневмоинерционном сепараторе без последующей обработки на воздушно-решетных машинах и в триерах [133, 209]. Это позволит минимизировать механические воздействия на наиболее качественное зерно и снизить его травмирование.

В.Л. Злочевский, А.Х. Тегельбаум, В.Г. Чумаков [101, 102, 314] предлагают фракционировать зерновой ворох по аэродинамическим признакам, как в вертикальном, так и горизонтальном воздушных потоках перед подачей зернового вороха на решетные станы для выделения фракции наиболее качественного зерна.

Раздельная обработка фракций, получаемых при фракционировании зернового вороха по аэродинамическим признакам, является одним из рациональных путей снижения механических воздействий на зерновой ворох и повышения производительности имеющегося оборудования [108,317].

П.В. Яговкин [326] предлагает фракционную технологию с разделением зернового вороха на решетках на три фракции, а затем крупную и мелкую фракции отдельно в овсюжном и кукольном триерных цилиндрах соответственно. Сход со среднего яруса решет - фракция крупного зерна, помимо этого, обрабатывается в воздушном потоке [47, 85, 90].

Ряд ученых: В.Д. Бабченко, А.М. Корн, А.С. Матвеев [24], В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин [62], А.Н. Зюлин [110] считают более

рациональным рассматривать технологии очистки, где основная цель выделение зерна, а не примесей, что позволит снизить травмирование семян.

По мнению В.М. Дринча, Л.М. Суконкина [72] очистка засоренного зернового вороха с наличием трудноотделимой сорной и зерновой примеси (содержание основного зерна не более 96%) возможна только с использованием воздушно-решетной машины, триерных блоков и вибропневмосепаратора.

В случае обработки засоренного вороха или при превышении интенсивности его поступления над производительностью линии А.Д. Галкин, В.Д. Галкин и другие [46] для снижения затрат на очистку предлагают проводить поточную обработку на машине первичной очистки, триерных цилиндрах, а фракционирование уже на машине вторичной очистки. Однако, сдерживающим фактором для реализации такой технологии является несоответствие производительности существующих машин первичной очистки и триерных блоков.

Использование универсального каскадного решетного сепаратора в качестве машины для очистки зерна позволяет очистить основную часть зерна (60...80%) от всех примесей одновременно [327 - 330].

Обоснована возможность разделения зерновых смесей по интенсивности прохода частиц в отверстия решет, обладающих высокой пропускной способностью [106, 110]

В. Е. Саитов, А.И. Бурков, А.Н. Суворов и другие [33, 34, 220, 248, 266] предлагают проводить пневмофракционирование зернового вороха по аэродинамическим свойствам уже на стадии предварительной очистки. Для этой цели разработаны машины предварительной очистки, работающие по схемам пневмофракционирования МПО-50П, МПО-50Ф, МПО-50Р и МПО-25Ф с решетным станом.

А.П. Тарасенко, В.В. Шередкин, Р.А. Тарасенко [276] сравнивали посевные качества семян пшеницы при фракционировании зерновой смеси по толщине и аэродинамическим свойствам. В результате определения лабора-

торной всхожести они пришли к выводу, что разделение семян на фракции по скорости витания в большей степени влияет на всхожесть семян, чем разделение по размерам. Для получения качественных семян пшеницы скорость воздушного потока при фракционировании должна быть более 8,0...8,5 м/с, что не всегда реализуемо в каналах послерешетной аспирации отечественных воздушно-решетных машин.

Н.Э. Гарипов [47] приходит к аналогичному выводу при разделении трех сортов яровой пшеницы. Им исследовалось влияние способа сортировки трех сортов яровой пшеницы на полевую всхожесть семян. При разделении по толщине использовались решета с шириной отверстий 2,2...2,8 мм, при разделении воздушным потоком выход семян обеспечивался в пределах 50... 80 %. В результате исследований было установлено преимущество сортировки по аэродинамическим свойствам по сравнению с сортировкой по толщине. При этом полевая всхожесть семян повышается на 4,5...6,9 %, а по сравнению с сортировкой на решетках на 2,3...5,9 % в зависимости от сорта. Полевая всхожесть при сортировке на решетках 2,4 и 2,6 мм возрастает на 2,6...3,1 и 2,7...3,2 % соответственно. Рост урожайности в трехлетних опытах при сортировке на решетках 2,4 и 2,6 мм составил 5,1...11,5 % и 6,0...12,1 % соответственно. При выделении 70% исходного вороха в семена по аэродинамическим свойствам прибавка урожайности составила 7,3...18,9 %, а уменьшение доли вороха направляемой в семенную фракцию до 50% дополнительно увеличивает прибавку урожайности до 11,7...21,5 % в зависимости от сорта. Увеличение толщины зерновок (сход с решет 2,8 мм) ведет уже к снижению прироста урожайности по сравнению с использованием сортировальных решет 2,4;2,6 мм до 2,2... 4,8 % в зависимости от сорта.

Преимущества разделения семенного материала на фракции по аэродинамическим свойствам после очистки отмечается А.Н. Зюлиным, В.М. Дринча, В.Е. Сайтовым, Ю.В. Сычуговым, А. Г. Чумаковым, Ю.В. Еровым и другими учеными [75, 91, 104, 230, 263, 312].

Ю.В. Еров, Д.З. Салахияев, А.А. Железнов [92] отмечают, что разделение зерна на две фракции по аэродинамическим свойствам после очистки на ЗАВ увеличивает массу 1000 зерен перед посевом на 6,4 г и полевую всхожесть на 8...10 %, ведет к появлению дружных всходов на 8 день, количество колосьев на 1 м² увеличивается на 30 штук, количество зерен в колосе - на 0,6 штук и коэффициент кустистости на 0,4 единицы.

А.И. Климок, Н.Ф. Конченко [126] рассматривая в качестве основного признака при фракционировании пшеницы все известные признаки, рекомендуют выбирать толщину.

П.В. Яговкин, С. С. Ямпиллов и др. [326, 328] также предлагают использовать толщину зерновки в качестве обобщенного признака сепарирования.

Предпочтение в выборе размерной характеристики зерновки отдают также В.Д. Галкин, А.Д. Галкин, А.М. Гузаиров, В. Ф. Евтягин, С.П. Прокопов [46, 79]. Но в качестве признака сепарации они выделяют ширину зерновки.

А.Н. Зюлин [110] отмечает, что в условиях загрузки решет с круглыми отверстиями толстым слоем длина оказывается более значимой, чем ширина.

Ф.Ш. Шайхутдинов, И.М. Сержанов, И.И. Майоров, А.Р. Сафин [318] в результате исследования влияния крупности, выравненности и нормы высева семян яровой пшеницы на урожай в условиях лесостепной зоны Республики Татарстан пришли к заключению о необходимости выделения мелкой фракции. Ими было установлено, что в среднем за 2 года доля мелких семян составляла 20,7 %. Масса 1000 зерен этой фракции составляет 31,2 г, что на 11,5...13,0 г меньше массы средней и крупной фракции. Лабораторная всхожесть семян мелкой фракции на 4...5% ниже контроля, энергия роста меньше на 3,6...4,0 %. Снижение урожайности составило в среднем за два года 7,4 ц/га или 24 %.

По данным В.М. Дринча, И. А. Пехальского, и других [71, 74, 75, 76] предпочтение следует отдавать фракционированию семенного вороха по плотности. Не случайно, последней технологической операцией в поточных

семяочистительных линиях без исключения является фракционирование на пневмосортировальных столах.

Ю.И. Ермольев [85] для очистки зерна семенного назначения отдает предпочтение пневмосепарации.

Л.Т. Свиридовым [240, 241] исследованы свойства семян большого количества древесных пород, используемых в лесном хозяйстве. Эти исследования послужили основой для обоснования технологий очистки и сортирования, создания рабочих органов и машин.

Таким образом, фракционная технология послеуборочной обработки является наиболее перспективной с точки зрения снижения механических воздействий на зерно и его повреждения, снижения затрат труда и энергии на послеуборочную обработку.

В зависимости от физико-механических свойств зерна основной культуры и примесей в качестве основных признаков фракционирования чаще всего предлагаются разделение по аэродинамическим свойствам в пневмосепарирующих каналах и по размерным характеристикам на решетках.

Разделение зернового материала на фракции необходимо проводить уже на этапе первичной очистки зерна с выделением в отдельные фракции крупных и мелких примесей, мелкого, щуплого и биологически неполноценного зерна основной культуры.

1.2. Современное состояние системы послеуборочной обработки зерна в стране

Повышение эффективности послеуборочной обработки зерна имеет особенно большое значение для Российской Федерации, производящей ежегодно более 75...80 млн. тонн зерна. Для исключения потерь собранного урожая, сохранения хлебопекарных, пивоваренных, семенных и других технологических качеств зерна необходимо организовать своевременную и качественную очистку. Зерновой ворох, поступающий от зерноуборочных ком-

байнов, кроме сорных примесей и растительных остатков содержит зерно основной культуры разного качества и состояния [107, 117].

Влажность вороха в зависимости от зоны и погодных условий может достигать 25...30%. Как правило, более высокую влажность кроме засорителей и органических примесей, имеет биологически неполноценное зерно основной культуры. Поэтому, даже при невысокой влажности ворох от комбайнов обязательно подвергается послеуборочной обработке [27, 183, 248].

Послеуборочная обработка зернового вороха представляет собой комплекс технологических операций для доведения зерна до состояния, отвечающего требованиям товарного или семенные назначения. Она решает две взаимосвязанные задачи - очистку вороха, и доведение до кондиционной влажности. После очистки и сушки зерно может храниться длительное время без ухудшения своих качественных показателей. Если в зонах повышенного увлажнения в структуре себестоимости зерна до 40% приходится на послеуборочную обработку, а затраты труда достигают 50% от общих затрат, то в зонах с засушливым климатом этот показатель снижается соответственно до 10...15 и 15...20% [180, 310].

Предварительная очистка зернового вороха применяется для выделения, в основном, легких и крупных примесей с целью обеспечения благоприятных условий главным образом при сушке. При этом в очищенном зерновом ворохе снижается содержание влаги, увеличивается его сыпучесть, частично повышается устойчивость зерна к самосогреванию при временном хранении в насыпи. Предварительная очистка используется для свежееубранного зерна влажностью до 35 % [136, 137, 143].

Предварительная очистка при приеме свежееубранного зерна давно признана эффективной и широко применяется практически во всем мире. Однако, в отечественной практике во многих случаях поступивший зерновой ворох очищают только от крупных (грубых) и частично от легких (выделяемых воздушным потоком) примесей. Мелкие же примеси остаются в зерновой массе, нанося большой вред при хранении [283, 285].

Известно, что снижение качества зернового вороха при хранении обусловлено засоренностью поступающего с поля зерна мелкими сорными примесями. Эти примеси в процессе засыпки в хранилище концентрируются в определенных местах, где закупоривают межзерновое пространство, препятствуют естественной и принудительной вентиляции и тем самым образуют очаги самосогревания и порчи [286]. Кроме того, мелкая сорная примесь - основной носитель бактериальной флоры [268, 278].

Поэтому свежесобранный зерновой ворох должен быть незамедлительно очищен не только от легких и крупных, но и от мелких примесей. В связи с этим возрастает роль первичной очистки зерна уже на этапе приемки вороха, а также универсальных воздушно – решетных зерноочистительных машин.

Во многих странах, где наблюдается значительно меньшая засоренность комбайнового вороха в связи с переходом на энергосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур с расширением применения химических средств, предварительная очистка практически уступила место первичной очистке.

При первичной очистке из вороха выделяется биологически неполноценное зерно основной культуры, щуплое, и дробленое зерно основной культуры. Общеизвестно, что щуплые, биологически неполноценные зерновки с низкими посевными и товарными качествами более склонны к поражению микроорганизмами, чем полноценные. Наличие части засорителей в ворохе совместно с биологически неполноценными зерновками в конечном итоге ведет к снижению качества зерна. Поэтому одновременно с выделением на самом раннем этапе легких, крупных и мелких примесей, необходимо проводить разделение вороха на основную и фуражную фракции.

При этом необходимо учесть, что, начиная с 2006 г. введен новый ГОСТ по качеству зерна, где требования на влажность и чистоту более жесткие, чем были раньше.

Если даже хозяйство не сдает зерно в хлебозаготовительные организации, то на хранение необходимо засыпать чистое и сухое зерно. Только в

этих случаях можно добиться качественного хранения без потери массы и технологических качеств зерна.

Национальный стандарт Российской Федерации на семена сельскохозяйственных растений ГОСТ Р 52325-2005 «Сортовые и посевные качества» был принят в 2005 году [63], а в следующем, 2006 году принят новый ГОСТ Р 52554-2006 на зерно мягкой пшеницы [64].

Согласно стандарту для семян в зависимости от категории регламентируется сортовая чистота, чистота семян, содержание семян других растений, в том числе и сорняков, примесь головнёвых образований и склеротий спорыньи, всхожесть.

Продовольственные ресурсы, основой которых является зерно, и особенно пшеница, становится ведущим фактором мировой политики. Выход России на мировой рынок зерна требует улучшение показателей к качеству пшеницы. Согласно ГОСТ Р 52554-2006 введены новые требования для пшеницы 3 и 4 классов по содержанию белка, ужесточены требования по содержанию зерновой и сорной примеси, а для пшеницы 3 класса дополнительно ужесточены требования по стекловидности и натуре.

Сжатые сроки предварительной и первичной обработки больших объемов зернового вороха выдвигают особые требования к производительности и технологической надежности машин, применяемых для этих целей. Фракционный принцип очистки на этой стадии, реализуемый на машинах дает возможность максимального выхода качественного зерна во фракцию основного назначения (семена или товарное зерно) [327, 333].

В настоящее время послеуборочная обработка зерна на товарные цели в основном проводится на зерноочистительных агрегатах и зерносушильных комплексах, спроектированных в 60...70 годы прошлого столетия. [18, 76, 146]. Зерноочистительные агрегаты, несмотря на различие в производительности имеют общий принцип строения и горизонтальной компоновки технологического оборудования непосредственно над бункерами получаемых фракций. Такая компоновка поточных линий предусматривает обязательное

использование транспортирующего оборудования, как для подачи зерна на обработку, так и его передачи от машины к машине [179, 180]. Наличие значительного количества транспортирующих органов ведет к повышению количества механических воздействий на зерно и к увеличению степени его травмирования.

Вопросам исследования травмирования зерна посвящены работы В.И. Анискина [17], В.П. Глотова [60], Г.И. Креймермана [147], В.В. Кузнецова [149], В.И. Оробинского [183], А.А. Панова [188, 189, 190], И.А. Пехальского [206], В.Ф. Плаксина [212], А.Н. Пугачева [216], А.П. Тарасенко [268 - 271], И.А. Чудина [311] и других.

Травмирование зерна происходит как на этапе уборки зерноуборочными комбайнами, так и последующих операций по послеуборочной обработке, его транспортированию и перемещению транспортирующими средствами. Если принять общее повреждение семян за 100%, то травмирование их при уборке комбайнами достигает 20..35%, машинами послеуборочной обработки – 25...50%, посевными машинами – 2...6% [212, 248].

Срок службы у большей части имеющихся в хозяйствах зерноочистительных агрегатов и семяочистительных линий, вследствие длительной эксплуатации, практически исчерпан. В настоящее время, при изменившихся системе хозяйствования и экономических условиях, должна быть обеспечена возможность не только послеуборочной обработки, но и достаточно длительного хранения очищенного зерна до его реализации непосредственно у производителей. Так, по данным Ю.В. Ерова и других [91, 92] очистка и сушка одной тонны зерна на хлебозаготовительных предприятиях для хозяйств Республики Татарстан, сдающих зерно, обходится в 552 рубля. В то же время при проведении этих же работ в самих хозяйствах им обходится в 209 рублей (по ценам 2010 года).

Основные недостатки отечественных зерноочистительных агрегатов следующие:

- расположение основного технологического оборудования на одном уровне, что требует вертикального перемещения зерна при переходе на следующую машину;
- отсутствие оборудования для длительного хранения очищенного зерна, что требует постоянного использования автотранспорта, дополнительного складского оборудования и перегрузочных операций;
- отсутствие в базовой комплектации технологического оборудования позволяющего вести подготовку зерна на семенные цели;
- ограниченные площади для размещения основного и вспомогательного оборудования, что затрудняет модернизацию агрегатов и установку более производительных машин;
- отсутствие возможности разгрузки транспорта всех видов и любой грузоподъемности;
- повышенная длина перемещения зерна в линиях и как следствие его травмирование.

Часть этих недостатков учтены при модернизации агрегатов и их реконструкции. Проводимая в настоящее время реконструкция зерноочистительных агрегатов и семяочистительных линий наряду с увеличением объема приемных устройств, возможности доставки зернового вороха и обслуживания линий с использованием большегрузных транспортных средств, предусматривает также замену основного технологического оборудования. Услуги по реконструкции агрегатов предлагаются как специализированными предприятиями, выпускающими зерноочистительную технику, такими как ГСКБ Зерноочистка, Воронежсельмаш, Техника – Сервис, Мельинвест, и другими, так и организациями, не имеющими опыта проектирования и производства зерноочистительной техники [42, 43, 223, 242, 243, 282, 325].

Создание или подбор перспективной техники должно базироваться на принципах, обеспечивающих обработку и хранение зерна и семян на месте их производства, возможность реализации фракционной технологии обработки зернового вороха с минимальным количеством механических воздей-

ствий на семена [283]. Уровень технологий послеуборочной обработки и состояние зерноочистительного оборудования непосредственно влияют на качество получаемого товарного и семенного зерна [40].

В крупных агропромышленных предприятиях России в настоящее время успешно работают поточные зерно- и семяочистительные линии (семенные заводы) как спроектированные Российскими проектными организациями и оборудованные большей частью технологическим оборудованием ведущих фирм производителей зерноочистительной техники, так и построенные ведущими фирмами производителями зерноочистительной техники «под ключ» [40]. Отличительной особенностью таких линий является наличие оборудования для временного и длительного хранения зерна с возможностью активного вентилирования, подача очищаемого материала после первичной очистки на временное или длительное хранение, возможность подготовки семян с их протравливанием перед затариванием в потоке или при возврате зернового вороха из хранилищ после первичной очистки. Последняя отмеченная особенность объясняется несоответствием производительности, как специальных семяочистительных машин, так и воздушно – решетных семяочистительных машин при их работе в режиме семенной очистки производительности универсальных воздушно – решетных зерноочистительных машин. Вместимость оборудования для хранения, как правило, соответствует годовой (сезонной) загрузке линии.

Таким образом, обработка поступающего вороха в потоке без применения перевалочных операций, с выделением большей части не только крупных, легковесных и мелких примесей, но и мелкого и биологически неполноценного зерна основной культуры может служить гарантией получения высококачественного продовольственного зерна и семян.

Поточная технология послеуборочной обработки может быть реализована с использованием универсальных воздушно – решетных зерноочистительных машин, производительность которых увеличена в 1,5...2,0 раза.

1.3. Мировые тенденции развития универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин

Основу поточных линий для послеуборочной обработки зерна составляют универсальные воздушно-решетные машины. Предпочтение отдается универсальным воздушно-решетным машинам с плоскими решетками и пневмосистемами имеющими, как каналы дорешетной, так и каналы послерешетной очистки. В частности, используются два вида таких машин: предварительной и первичной очистки, и машины первичной и вторичной очистки зерна. Применение универсальных машин сокращает номенклатуру оборудования зерноочистительных линий, уменьшает стоимость и повышает надежность линий.

Зарубежные производители не делают различий между машинами данных типов, указывая на их универсальность [335- 340, 343, 344]. Универсальные машины могут быть использованы для получения, как продовольственного зерна, так и семенного материала при соответствующей компоновке решетной очистки. В отдельных случаях данный тип машин используется и для предварительной очистки зернового вороха.

Принципиальное отличие между воздушно-решетными машинами первичной и вторичной очистки заключается в том, что первые имеют один пневмосепарирующий канал, устанавливаемый в начале технологического процесса очистки, в то время как машины вторичной очистки снабжены двумя каналами – до и после решетных станов [33, 136, 254, 277, 334]. Такое различие присуще в большей мере машинам отечественного производства. Среди машин первичной очистки наиболее распространены воздушно-решетные сепараторы с наклонными и реже вертикальными пневмосепарирующими каналами и плоскими качающимися решетками.

Характерными примерами такой компоновки являются машины ЗВС-20А, СВТ-30, СВТ-40 [43] и машина МОЗ-50 [9]. Машины СВТ-30, СВТ-40 комплектуются встроенным диаметральной вентилятором собственного

%. Относительно небольшая доля колосовых решет ограничивает производительность машины при первичной очистке зернового вороха, а отсутствие пневмосистемы послерешетной аспирации не позволяет эффективно использовать машину при вторичной очистке и сортировке.

Пневмосистема машин ЗВС-20А обслуживается радиальным вентилятором низкого и среднего напора. Машина имеет два параллельно работающих решетных стана с двухъярусным расположением четырех различных по назначению решет [43].

К машинам с одним пневмосепарирующим каналом относятся и барабанные сепараторы. Примером таких машин может служить барабанные сепараторы серии CR фирмы Denis [338], серии SDS фирмы Buhler (Германия) [335].

Производительность машин серии CR с аспираторами NA составляет от 5 до 250 т/ч на пшенице. Диаметр барабана изменяется от 0,46 до 1,26 м, а количество решет по его длине составляет от двух до пяти. Машины имеют возможность регулировки угла наклона цилиндра с решетами и его частоты вращения. На рисунке 1.2 представлена технологическая схема барабанного сепаратора.

Работа сепаратора протекает следующим образом. Зерновой материал 3 подается в загрузочный бункер 5 коробки всасывания 2. При помощи распределительной заслонки 7 с противовесами обеспечивается равномерность подачи зернового вороха в нижнюю наклонную часть канала 6, через которую проходит воздух, всасываемый радиальным вентилятором 10. Воздушным потоком из зернового материала выделяются пыль и легковесные примеси, которые частично осаждаются в осадочной камере 13 и выгружаются шнеком 12. Пылевидные частицы выносятся в циклон или фильтр радиальным вентилятором 10. Регулирование скорости воздуха в канале проводится заслонкой 11, позволяющей регулировать размер всасывающего окна для забора холостого воздуха без изменения оборотов вентилятора.

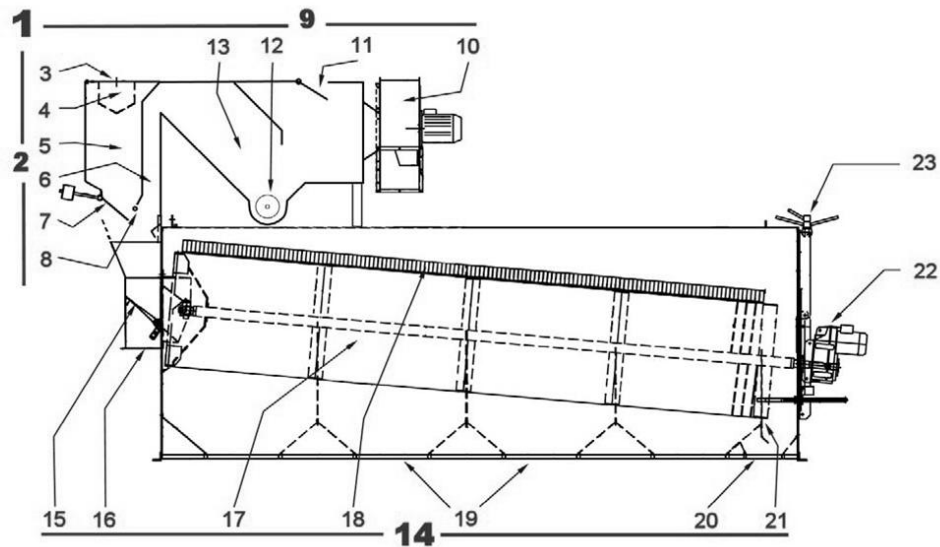


Рисунок 1.2 – Схема барабанного сепаратора серии CR фирмы Denis:

1 – загрузочный блок; 2 – коробка всасывания; 3 – загрузка зернового материала; 4 – дозирующее устройство; 5 – загрузочный бункер; 6 – канал аспирации; 7 – распределительная заслонка с противовесами; 8 – питающий валик; 9 – пневмосистема серии NA; 10 – вентилятор (или фильтр); 11 – заслонка регулировки скорости воздушного потока; 12 – выгрузной шнек осадочной камеры; 13 – осадочная камера; 14 – барабанный сепаратор; 15 – заслонка прямого выхода; 16 – прямой выход; 17 – решета; 18 – механизм очистки решет; 19 – выход зернового материала или мелких примесей/битого зерна; 20 – подвижная заслонка; 21 – выход крупных примесей; 22 – мотор-редуктор (опция: регулирование скорости вращения решетного цилиндра); 23 – регулирование угла наклона решетного цилиндра (опция)

На машинах предусмотрена возможность очистки только в аспирационном блоке 9 и прямого выхода 16 зернового материала без очистки в барабанном сепараторе при открытой заслонке прямого выхода 15.

Частота вращения решетного цилиндра изменяется в пределах 10...25 мин⁻¹ (заводская установка 14 мин⁻¹). Угол наклона решетного цилиндра варьируется от 1,5° до 5° (заводская установка 3°). Специальные лопатки внутри решетного цилиндра распределяют зерновой материал по всей поверхности решет. Решета с мелкими отверстиями рекомендуется устанавливать для выделения мелких примесей и дробленого зерна. Решета с крупными отверстиями устанавливаются для выполнения операции предваритель-

ной сортировки и отделения крупных примесей. Машины могут использоваться как для очистки только от мелких примесей, так и только от крупных примесей, одновременной очистки от тех и других, а также сортировки по размерам.

Из-за конструктивных особенностей, площадь решетной поверхности барабанных машин с горизонтальными и наклонными осями вращения используется не более чем на 50%. Существует мнение, что происходит усиленное травмирование зерна в машинах такого типа, однако производители таких машин, ссылаясь на результаты исследований, считают его ошибочным [335, 338].

Принцип действия барабанной вертикальной зерноочистительной машины можно рассмотреть на примере зерноочистительной машины Prof — Seed, немецкой торговой марки RIELA (рисунок 1.3) [341].

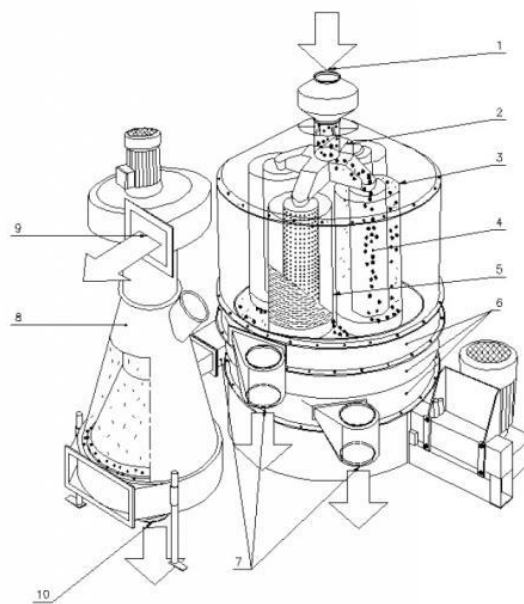


Рисунок 1.3 – Схема машины PROF-SEED: 1 – приемное устройство; 2 – делитель потока; 3 – цилиндрические решетки; 4 – ось цилиндрической решетки; 5 – ось блока цилиндрических решет; 6 – сборники выделенных фракций; 7 – выходы фракций; 8 – конусный аспиратор; 9 – выход воздуха с легковесными примесями; 10 – выход очищенного зерна

Аналогичную зерноочистительную машину под маркой Sigma выпускает фирма Damas [337]. Зерноочистительную машину Sigma допускается устанавливать вне помещения, без устройства фундамента, на плоской площадке.

В отличие от машин с плоскими решетными станами, эта машина имеет блок вращающихся цилиндрических решет установленных вертикально.

Машина состоит из пневматического конусного аспиратора и механических сепараторов — барабанных сит. Конструкционные элементы изготовлены из стали и покрыты специальной защитной краской. Неочищенное зерно подается в головку 1 и через разделитель 2 направляется в отдельные очистные ситовые барабаны 3, состоящие из внутреннего 4 и внешнего 5 сит.

Ситовой сепаратор вращается вокруг оси машины, а барабаны — вокруг своей оси. Центробежная сила отбрасывает зерно в сторону внешнего сита барабана, где происходит разделение на фракции. Большие по размеру примеси задерживаются на внутренних ситах, а частично очищенное зерно проходит следующую стадию очистки на внешних ситах. Мелкие примеси проходят через отверстия внешних сит и остаются между ними и внешним кожухом. Выделенные фракции собираются в кольцевых каналах 6 и выводятся из машины через разгрузочные желоба 7. Очищенный по размерам от мелких и крупных примесей зерновой ворох по каналам попадает в воздушный сепаратор AIR SEED, где выделяется пыль и легковесные примеси, которые вентилятором 9 направляются в циклон. Очищенное зерно подается на выход 10, а выделенные фракции из разгрузочных желобов 7 чаще всего направляются в расположенные под машиной бункера.

По мнению производителей, такие машины имеют следующие преимущества: позволяют лучше очищать зерно и уничтожать плесень, грибки, бактерии и пыль, по сравнению с сепараторами, в которых применяются горизонтальные сита; занимают гораздо меньшую площадь, по сравнению с традиционными сепараторами подобных технологических параметров; работают без вибрации, так как используют только вращательные движения элементов;

Основным существенным недостатком машин этого типа является достаточно большая энергоемкость. Так, для привода рабочих органов при производительности 25 т/ч затрачивается 11 кВт и отдельно вентилятора 5,5 кВт, а при производительности 100 т/ч уже 30 и 15 кВт соответственно [336].

Наибольшее распространение получили универсальные воздушно - решетные зерноочистительные машины с плоскими решетками, устанавливаемыми, как правило, в двух решетных станах. Общей особенностью в конструкции таких машин многих ведущих зарубежных фирм является их оборудование двухаспирационной пневмосистемой с идентичной конструктивной компоновкой независимо от назначения машин. Отличие в конструкциях заключается, как правило, в глубине каналов, производительностях вентиляторов и режимах работы пневмосистем [218].

При работе таких универсальных машин в режиме первичной очистки скорость воздуха в воздушных каналах устанавливается выше, чем при предварительной очистке, как за счет меньшей удельной подачи зернового вороха, так и за счет регулирования режима работы самой пневмосистемы. В этом случае отделяются не только легкие примеси, но и те, скорость витания которых близка к скорости витания основной культуры или частично перекрывает её.

Работа обоих каналов пневмосистем обеспечивается преимущественно одним радиальным вентилятором. Крышные радиальные вентиляторы устанавливаются непосредственно сверху на пневмосистеме машин. Такую компоновочную схему имеют пневмосистемы машин фирмы Cimbria Heid [336], машин серии NSD фирмы Denis [338], машин большинства серий фирмы Westrup [344], машины ИНТЕХ K150 [42].

Фирма Cimbria Heid [336] выпускает весь спектр машин и оборудования для послеуборочной обработки зерна, включая сушку и сортировку. Значительную долю из них занимают воздушно – решетные машины, которые выпускаются несколькими сериями в зависимости от назначения и типа используемой пневмосистемы (разомкнутая, разомкнуто – замкнутая с рецир-

куляцией основной части воздуха, разомкнутая с дополнительными нагнетательными вентиляторами). Последний тип пневмосистемы устанавливается на машинах для вторичной очистки и сортирования зернового материала. В этом случае пневмосистема, как правило, оборудуется дополнительной осадочной камерой канала послерешетной аспирации для выделения зерна меньшей плотности по аэродинамическим свойствам (2 сорт). Решетные станы машин изготавливаются из влагостойкой высокопрочной березовой фанеры. Отличительной особенностью решетной очистки машин большинства серий является так называемый «Z» поток перемещения зернового вороха. Такое решение позволяет использовать подсевные решета для выделения мелких примесей на установленной между станами с обратным наклоном скатной поверхности. Решетные полотна монтируются на отдельных рамках имеющих одинаковые размеры для всех машин: длина 0,8 м и ширина 1,25 м. Исключение составляют машины первичной очистки серии Mega, которые имеют размер сменных рамок 1,0 × 1,8 м и другую схему размещения решет. Для подачи и распределения зернового вороха используются питающие валики, виброклапаны с ворошителями, а на машины серии Mega качающие распределители с приводом от отдельного электродвигателя.

Машины DELTA серий 100; 110 и 120 предназначены для вторичной очистки и сортировки и имеют в зависимости от производительности площадь решетной очистки до 24 м² и часовой расход воздуха до 15 тыс. м³/ч.

Большой интерес представляют универсальные воздушно – решетные машины 140 серии, которые могут применяться как для предварительной очистки с выделением мелких примесей, так первичной и вторичной очистки.

Одним из характерных примеров универсальных воздушно – решетных машин, выпускаемых фирмой, является универсальный сепаратор DELTA 146 Combi (рисунок 1.4).

Основным назначением машины является товарная очистка зерна, а при соответствующей компоновке решетных станов и изменении режима ра-

боты машина может успешно использоваться для подготовки семян и сортировки.

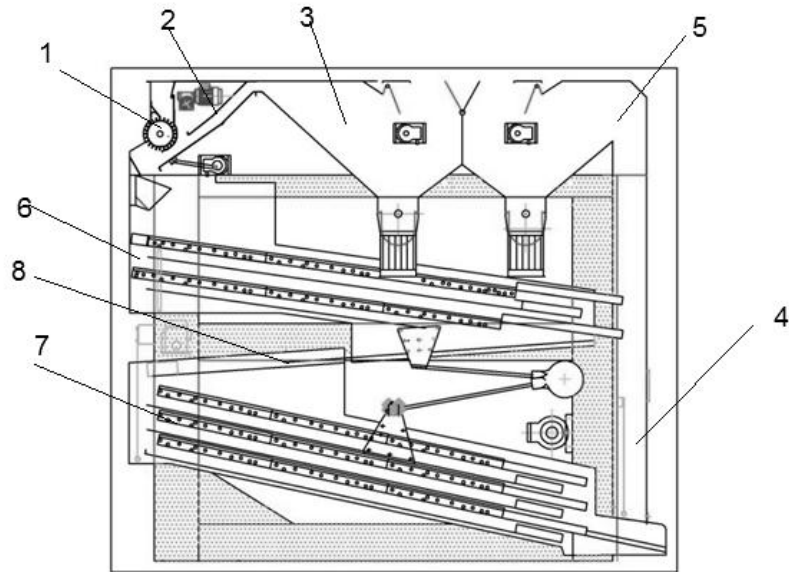


Рисунок 1.4 - Схема машины DELTA 146 Combi фирмы Cimbria Heid:

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

Работу аспирационных систем обеспечивает крышной радиальный вентилятор. В качестве дорешетной очистки применяется относительно короткий наклонный канал с боковым забором воздуха. Вертикальный канал послерешетной очистки имеет большую длину с вводом вороха, посредством качающейся наклонной сетки, закрепленной на нижнем решетном стане.

Решета имеют шариковую очистку отверстий и располагаются в двух станах. Очистка зернового вороха от крупных и мелких примесей производится при его последовательном прохождении через верхний и нижний станы за счет глухой скатной возвратной поверхности, установленной между ними. Причем для очистки от мелких примесей количество и площадь решет больше в 1,5 раза, чем от крупных. Общая площадь решетной очистки составляет 15 м^2 , а часовой расход воздуха аспирациями $15000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Практически такую же конструктивную схему имеет универсальная воздушно – решетная машина ИНТЕХ К150 (рисунок 1.5). Причем, производители не скрывают, что образцом для создания машины послужили машины серии DELTA фирмы Cimbria Heid [42].

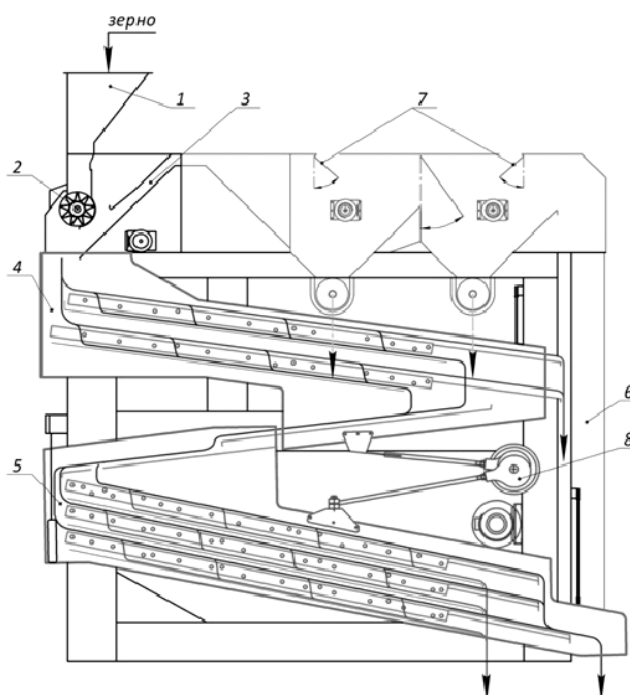


Рисунок 1.5 - Схема машины ИНТЕХ К150:

1 – приемный бункер; 2 – питающий валик; 3 – канал дорешетной аспирации; 4 – верхний решетный стан; 5 – нижний решетный стан; 6 – канал послерешетной аспирации; 7 – клапаны открытия воздухозаборных окон (регулировки скорости воздушного потока в каналах); 8 – эксцентриковый привод станков

Машина оборудована двухаспирационной пневмосистемой 3 и 6 с внешним радиальным вентилятором или крышным, устанавливаемым непосредственно на осадочных камерах пневмосистемы. Распределение и подача зернового вороха в наклонный пневмосепарирующий канал 3 дорешетной очистки осуществляется питающим валиком 2 с регулируемой частотой вращения. Верхний решетный стан 4 имеет два яруса колосовых решет, а нижний 5 – три яруса. В каждом ярусе нижнего стана в зависимости от режима работы устанавливаются подсевные или сортировальные решета. Сход с нижних решет подается посредством колеблющейся воздухопроницаемой

поверхности в вертикальный канал послерешетной аспирации 6. На машине предусмотрена возможность изменения углов наклона решетных станов в зависимости от вида обрабатываемой культуры, состава зернового вороха и режима очистки. При площади решетной очистки 15 м^2 расход воздуха для работы пневмосистемы достигает $15000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Пневмосистема машин серии NSD фирмы Denis практически идентична пневмосистемам машин фирмы Cimbria, за исключением загрузочного устройства [338]. В качестве дозирующего и загрузочного устройства для подачи зернового вороха в канал дорешетной аспирации используется гравитационный клапан. Модульная конструкция очистителя-сепаратора DENIS позволяет использовать все решета только для проведения операции предварительной очистки без выделения мелких примесей, или только операции калибровки на две фракции без выделения крупных примесей. Такое переоборудование позволяет вдвое увеличить производительность.

Отличительной особенностью универсальных воздушно – решетных зерноочистительных машин серий VIBAM и OMEGA, выпускаемых датской фирмой Damas является возможность переключения режима работы решетных станов с параллельного на последовательный режим при переходе от предварительной очистки к первичной и вторичной очистке и сортировке [337]. В машинах серии OMEGA в первом случае верхний ярус решет обоих станов используется для удаления крупных примесей, а нижние ярусы для удаления мелких примесей. При последовательном режиме работы на верхнем стане производится удаление крупных примесей на всех ярусах решет, а на ярусах нижнего стана выделение мелких примесей или сортировка зерна и выделение мелких примесей. В машинах серии VIBAM в стане устанавливается три яруса решет и при предварительной очистке два верхних яруса используются для удаления крупных примесей, а нижний ярус для удаления мелких примесей. При первичной очистке и сортировке нижний и средний ярусы используются для удаления мелких примесей или мелкого зерна основной культуры и мелких примесей.

Пневмосистемы машин поставляются как разомкнутого типа, так и замкнутого с рециркуляцией отработавшего воздуха. Производительность машин серии OMEGA при предварительной очистке с выделением мелких примесей составляет от 90 до 300 т/ч, товарной – от 45 до 150 т/ч, вторичной - от 7 до 34 т/ч при площади решетной очистки от 9 до 30 м².

Фирма Westrup (Дания) [344] наряду с машинами, предназначенными для предварительной и вторичной очистки, выпускает в основном универсальные зерноочистительные машины. Общей особенностью, присущей машинам выпускаемым фирмой, является изготовление решетных станов из высокопрочной влагостойкой ламинированной фанеры. Пружинные подвески решетных станов изготавливаются из стекловолокна. На большинстве серий машин используется крышной радиальный вентилятор, устанавливаемый непосредственно сверху пневмосистем машин. Решетные станы могут устанавливаться с разными углами наклона при установке в них решет различного назначения. Некоторые модели имеют возможность регулирования глубины каналов дорешетной и послерешетной очисток. Пневмосистемы машин имеют, как правило, два пневмосепарирующих канала: дорешетной и послерешетной аспираций. Отдельные серии машин предварительной очистки могут иметь одну общую осадочную камеру. Практически все решетные станы машин предварительной и первичной очисток имеют в своем составе подсевные и сортировальные решёта для удаления мелких примесей на самой ранней стадии очистки. Исключение составляют машины предварительной очистки серии HG производительностью от 80 до 250 т/ч, предназначенные для обработки влажного с высокой засоренностью невеяного или очесанного вороха, которые оборудуются двумя скальпирующими барабанами с размерами ячеек 30 и 25 мм. Изменение производительности внутри серий ведется за счет ступенчатого изменения рабочей ширины машин от 0,6 до 2,5 м. При ширине машин до 1,0 м питающее устройство представляет собой грузовой клапан, свыше 1,0 м питающий валик с клапаном или виброклапаном. Выпускаемые формой несколько серий машин охватывают практически весь

спектр производительности при обработке пшеницы от 25 до 250...270 т/ч [344].

Машины относительно небольшой производительности серии AS - 1000/1500 имеют идентичную машинам МЗС -25 технологическую схему с двумя решетными станами имеющими встречный наклон решет, что позволяет располагать рядом каналы дорешетной и послерешетной аспираций. Верхний решетный стан оборудуется двумя ярусами колосовых решет для выделения крупных примесей и имеет угол наклона 9° , а наклон двухъярусного нижнего стана составляет 11° . При площади решетной очистки 4 м^2 производительность машины AS -1000 составляет 25т/ч, а машины AS -1500 при площади решет 6 м^2 – 40 т/ч [344].

Особенность машин серии РС (-600; -1000; -1250; - 1500) отсутствие пневмосистемы и наличие одного двухъярусного решетного стана с возможностью независимого ступенчатого изменения наклона каждого яруса решет в пределах: 4, 6, 8 и 11° .

Один решетный стан имеют и машины серии SAB (-600; -800; -1000; -1250; - 1500) , оборудованные аспирационной пневмосистемой с двумя каналами, одной осадочной камерой и крышным радиальным вентилятором. В решетном стане решета устанавливаются в три яруса: в верхнем коротком ярусе одно колосовое решето, в среднем два колосовых решета и в нижнем два подсевных или сортировальных.

Машины серии UB (-600; - 1000; - 1250; - 1500) и серии UC (-600; - 1000; - 1250; - 1500) предназначены для вторичной очистки и сортировки зерновых и других культур и отличаются наличием одного решетного стана (по аналогии с серией РС) или двух решетных станом (по аналогии с серией SP) [344]. В решетной очистке машин серии UC используется так называемый «Z» поток перемещения зернового вороха (рисунок 1.6).

Возвратный ярус решет 7 относится к нижнему решетному стану и служит в основном для выделения мелких примесей. Два яруса 6 верхнего решетного стана служат для выделения крупных примесей, а нижние ярусы 9

нижнего решетного стана для сортировки или сортировки и выделения мелкого зерна и мелких примесей (при работе в режиме получения двух сортов основного назначения).

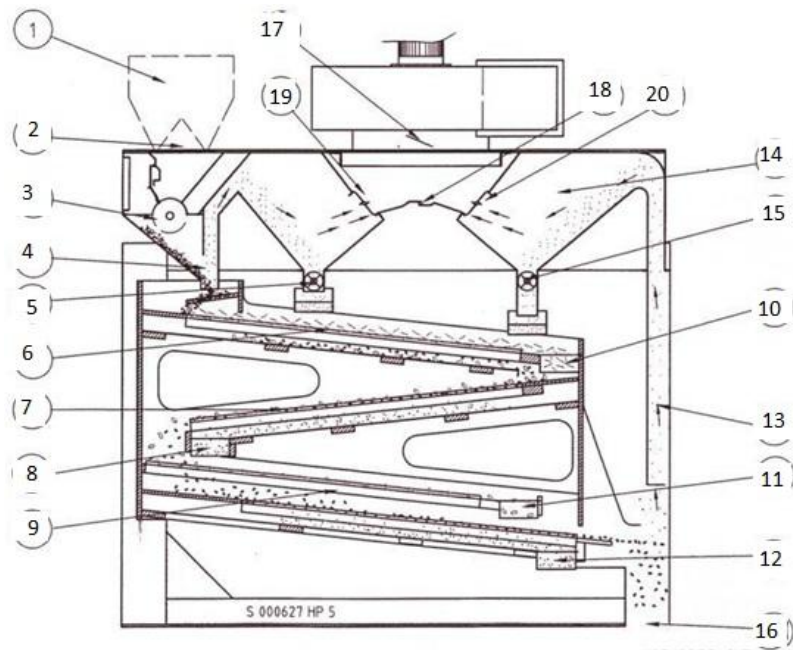


Рисунок 1.6 - Схема машин серии UC фирмы Westrup:

1 – приемный бункер; 2 – дозирующий клапан; 3 – питающий валик; 4 – канал дорешетной очистки; 5 – шнек осадочной камеры канала дорешетной очистки; 6 – колосовое решето верхнего решетного стана; 7 – возвратный ярус нижнего стана; 8 – лоток вывода мелких примесей; 9 – колосовое решето нижнего стана; 10, 11 – лотки крупных примесей; 12 – лоток вывода мелких примесей (фуража); 13 – канал послерешетной аспирации; 14 – осадочная камера канала послерешетной аспирации; 15 – шнек осадочной камеры; 16 – выход очищенного зерна; 17 – радиальный вентилятор; 18 – заслонка забора атмосферного воздуха; 19, 20 – заслонки регулировки скорости воздуха в каналах

Аналогичный режим работы решетной очистки может быть реализован и на машине МВР-3 (СВУ-5Б) [98]. Машины предварительной и первичной очисток серии SI (-50; -70) [345] по рабочим органам и компоновке близки к машине МВР-7(МВУ-70), выпускаемой ОАО ГСКБ Зерноочистка [98]. Дозированная подача вороха в машины осуществляется питающим валиком с грузовым клапаном. На входе в машины установлен барабан – скельператор и короткое колосовое решето. Основная очистка по размерным характери-

кам производится на двух параллельно работающих двухъярусных станах. Пневмосистема машин имеет одну общую осадочную камеру, наклонный канал дорешетной очистки и двойной канал послерешетной очистки с отдельной подачей вороха с каждого стана в свою секцию канала.

Производительность машины SI -50 при рабочей ширине 1,0 м площади решет 8 м² и часовом расходе воздуха до 8 тыс. м³/ч составляет 50...55 т/ч. Машина SI -70 при рабочей ширине 1,5 м площади решет 12 м² и часовом расходе воздуха до 10,5 тыс. м³/ч имеет производительность 70...80 т/ч.

Большой удельный вес в выпуске машин фирмы Westrup (Дания) занимают машины модульной конструкции [344]. В состав таких машин как отдельные модули входят: устройство приема, дозирования, и подачи вороха в канал дорешетной очистки; аспирационная система с осадочными камерами, устройствами вывода примесей и вентилятором; канал послерешетной аспирации; решетная очистка с основной рамой машины. Обозначение модулей, входящих в состав машин приведено в марке машины после серии и рабочей ширины в мм. Модульные очистители серий SB и UP с рабочей шириной 1,0; 1,25; 1,5; 1,75 и 2,0 м и производительностью при товарной очистке пшеницы до 60 т/ч имеют в решетной очистке один решетный стан. На машинах серии SB используется одна схема размещения решет, которая включает короткий верхний ярус с колосовым решето длиной 0,8 м, длинный средний с колосовыми решетками длиной 2,4 м и длинный нижний с подсевными или сортировальными решетками той же длины. Машины серии UP уже имеют возможность изменения модуля решетной очистки. В дополнение к схеме решетной очистки применяемой на машинах предыдущей серии может добавляться дополнительный длинный нижний ярус решет. Этот ярус может работать по параллельной схеме с вышестоящим сортировальным или подсевным решето или использоваться для выделения мелких примесей при работе машины на два сорта основной фракции. Площадь решетной очистки машин серии SB составляет от 5,6 до 11,2 м² в зависимости от рабочей ширины, а машин серии UP при установке модуля с тремя длинными ярусами от

8,0 до 16,0 м². В аспирационной системе могут устанавливаться как модули с постоянной глубиной каналов дорешетной и послерешетной очисток, так и с регулируемой. Осадочная камера может использоваться для обслуживания обоих каналов, а также каждый пневмосепарирующий канал может оборудоваться своей осадочной камерой.

Универсальные воздушно – решетные машины модульной конструкции серии SP имеют два решетных стана, с установкой в каждом четырех ярусов по два решета длиной каждого 1,0 м. Производительность машин при предварительной очистке, с отделением мелких примесей, составляет от 100 до 256 т/ч при рабочей ширине от 1,0 до 2,5 м. Решетные полотна выпускаются шириной от 1,0 до 1,75 м, поэтому в решетных станах машин шириной до 1,75 м применяется однорядное расположение решет в ярусе, а в решетных станах машин шириной 2,0 и 2,5 м двухрядное. Общее количество решетных полотен в станах машин с рабочей шириной до 1,75 м составляет 16, а машинах с шириной 2,0 и 2,5 м - 32. Общая площадь решетной очистки изменяется при этом от 16 до 40 м².

Модульная конструкция машин позволяет использовать устройство загрузки с питающим роликом, с питающим роликом и одним или двумя барабанами для удаления крупных солоmistых примесей, с загрузочными шнеками или с роликом и виброклапаном. Канал предварительной аспирации может быть фиксированным или с регулируемой глубиной; с разомкнутой стандартной пневмосистемой или с системой рециркуляции воздуха. Канал послерешетной аспирации может быть фиксированным или с регулируемой глубиной. Также возможен вариант двойного канала с отдельно регулируемой глубиной [344].

Особого внимания заслуживают выпускаемые фирмой универсальные машины модульной конструкции серии FR с рабочей шириной от 1,0 до 2,5 м и длиной решетной очистки 2,4 м. Отличительной особенностью этой серии машин от предыдущей является возможность установки в качестве решетной очистки шести различных вариантов с двумя решетными станами. В

зависимости от варианта решетной очистки количество ярусов в верхнем стане может составлять от 2 до 4, а в нижнем от 2 до 5 (таблица 1.1).

Таблица 1.1 - Площадь решетной очистки машин серии «FR» в зависимости от решетных модулей

Тип решетных модулей	Количество ярусов в станах	Площадь решет, м ²					
		FR-1000	FR-1250	FR-1500	FR-1750	FR-2000	FR-2500
E3+E4	2+2	9,6	12,0	14,4	16,8	19,2	24,0
E5+E6	3+3	14,4	18,0	21,6	25,2	28,8	36,0
E7+E8	4+3	16,8	21,0	25,2	29,4	33,6	42,0
E9	3+4	16,8	21,0	25,2	29,4	33,6	42,0
E14	4+4	19,2	24,0	28,8	33,6	38,4	48,0
E15	4+5	21,6	27,0	32,4	37,8	43,2	54,0

При минимальном количестве ярусов в станах общая площадь решет изменяется от 9,6 до 24,0 м², а при использование модуля с четырьмя ярусами в верхнем и пятью ярусами в нижнем стане общая площадь меняется от 21,6 до 54,0 м². Производительность машин при ширине 2,5 м и установке девяти ярусов решет в станах при предварительной очистке достигает 350 т/ч. В зависимости от применяемых модулей решетной очистки предусмотрена возможность параллельной или последовательной работы станов, что имеет большое значение для универсальных машин при изменении вида очистки зернового вороха [344].

Фирма PETKUS Technologie GmbH [340] является одним из ведущих предприятий мира в области разработки и производства зерноочистительной техники и семяочистительных заводов с полной их оснасткой оборудованием собственного производства. Значительные средства вкладываются в исследования и разработку современных технологий послеуборочной обработки и зерноочистительных машин. Одним из подразделений фирмы является ROEBER Institut GmbH [342]. Междисциплинарный коллектив инженеров этого института в последние годы занимается поиском новых технических концепций, прежде всего в таких областях как методы оптической сортировки и анализа. Фирма выпускает универсальные воздушно – решетные сепараторы как предварительной и первичной очистки серии V, универсальные очистители

тели серий А и U, так и универсальные мультиочистители серии М, предназначенные в основном для вторичной очистки.

Схема универсального очистителя серии U12 2,4/U15 2,4 фирмы PETKUS представлена на рисунке 1.7.

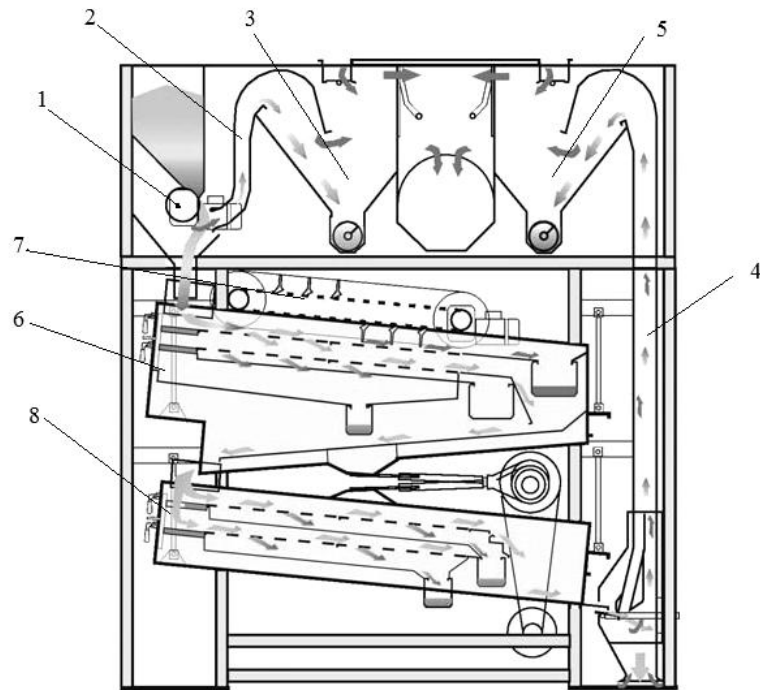


Рисунок 1.7 - Схема машин PETKUS U12/U15: 1 – питающий валик; 2 – пневмо-сепарирующий канал дорешетной очистки; 3 – осадочная камера пневмоканала дорешетной очистки; 4 – пневмоканал послерешетной очистки; 5 – осадочная камера пневмоканала послерешетной очистки; 6 – верхний решетный стан; 7 – транспортер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

Подача вороха в пневмосистему производится питающим валиком 1 с подпружиненным клапаном. В канале дорешетной аспирации производится выделение пыли и легковесных примесей. Канал послерешетной аспирации 4 выполнен как двухканальный сепаратор с регулируемой впускной заслонкой. В канале послерешетной аспирации производится выделение щуплого зерна и легких компонентов. Для регулирования скорости воздушного потока в каналах применяют как заслонку изменяющую сечение канала дорешетной аспирации, так и заслонки осадочных камер, которые обеспечивают дополнительный забор внешнего воздуха без изменения режима работы вентилятора.

Удельный расход воздуха аспирационными системами машин для вторичной очистки зерна серии М в 1,4...1,5 раз выше, чем машин предварительной и первичной очисток серий U и V. Пневмосистемы всех машин унифицированы по конструктивному исполнению и обслуживаются одним радиальным вентилятором, устанавливаемым за пределами машин. В зависимости от схемы технологической линии может использоваться как верхний, так и боковой забор воздуха. Расход воздуха при рабочей ширине машины 0,9 м (машина марки А09) составляет 7 тыс. м³/ч, при рабочей ширине 1,2 м для всех серий 9 тыс. м³/ч, и при рабочей ширине 1,5 м – 12 тыс. м³/ч.

Машины серии V имеют два одинаковых параллельно работающих решетных стана, а машины серий U и М – два стана работающих последовательно. Верхний решетный стан машин серий U и М оснащен двумя ярусами решет. Отделение крупных примесей осуществляется в основном на верхнем ярусе. Для улучшения очистки верхний ярус оснащен скребковым транспортом-очистителем. Особенность этой универсальной очистки базируется на комбинации очистительных шариков под решетной поверхностью и скребкового транспортера очистителя. Поток легкосыпучего материала может быть замедлен на поверхности решета, а плохо сыпучий материал лучше распределяется по всей решетной площади. Нижний ярус решет верхнего стана может использоваться как для выделения крупных, так и мелких примесей.

Нижний стан имеет от двух (серия U) до четырех (серия М) параллельно работающих ярусов решет, которые могут служить как для выделения мелких примесей, так и сортировки зерна.

Оба стана машин предварительной и первичной очистки серии V оснащаются тремя ярусами решет. Верхний ярус оснащен скребковым транспортом-очистителем и колосовыми решетками и однозначно служит для выделения крупных примесей. Нижний – отделения мелких примесей, а средний – в зависимости от состава вороха и назначения очистки или для выделения крупных, или мелких примесей, или сортировки зерна. Площадь решетной очистки у машин с рабочей шириной 1,2 м составляет: серия U - 6,72

м², серия V – 13,44 м², серия М – 15,2 м². При рабочей ширине 1,5 м площадь решетной очистки увеличилась до 8,4; 16,8 и 18,9 м² соответственно.

Машины серии A09/A12 имеют один решетный стан с тремя ярусами решет и общей площадью решетной очистки 3,78 и 5,04 м² при рабочей ширине 0,9 и 1,2 м соответственно. Верхний ярус служит для выделения крупных примесей и может оснащаться, как и у других моделей, скребковым транспортером-очистителем. Нижний ярус решет отделяет мелкие примеси, а средний, как и у машин серии V, служит для выделения крупных, мелких примесей или сортировки зерна.

Универсальные очистители могут использоваться как для предварительной очистки с выделением мелких примесей, так и первичной очистки, а при установке соответствующих решет нижнего стана и вторичной очистки или сортировки посевного материала.

В Белоруссии налажено совместное производство с фирмой Petkus универсальных машин МЗУ-40 и МЗУ-60, которые являются аналогами машин U 40-4G и U 60-6G [245].

В России освоено производство универсальных машин серии РВС (-20; -40; -60), которые аналогичны знаменитым зерноочистительным машинам Петкус-Гигант (рисунок 1.8).

Производительность машин при первичной очистке составляет соответственно 10, 30 и 40 т/ч. Пневмосистемы машин оборудуются радиальными вентиляторами низкого и среднего напора серии ВР 85-77 с расходом воздуха соответственно не более 8, 10 и 12 тыс. м³/ч. Амплитуда колебаний решетных станов составляет 18 ± 2 мм при частоте 375 мин⁻¹. Регулировка скорости воздушного потока в пневмосепарирующих каналах производится путем регулировки размеров всасывающих окон с помощью клапанов 10, что аналогично настройке пневмосистем машин фирмы Petkus. Дополнительно предусмотрена возможность изменения наклона отражательных козырьков осадочных камер. Отличительной особенностью пневмосепарирующей пневмо-

системы послерешетной аспирации машин этой серии является возможность регулировки глубины канала в пределах 0,14...0,37 м [340].

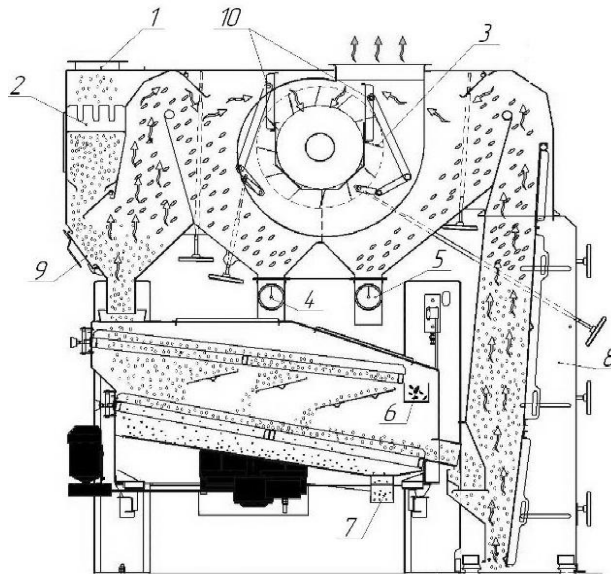


Рисунок 1.8 – Схема работы машин серии РВС: 1 – приемное устройство; 2 – распределитель вороха; 3 – вентилятор; 4, 5 – шнеки вывода примесей из осадочных камер; 6 – лоток вывода крупных примесей; 7 – лоток вывода мелких примесей; 8 – регулируемый канал послерешетной аспирации; 9 – магнитное устройство для удаления металлических примесей; 10 – клапаны изменения подачи воздуха

Обеспечение работы двухаспирационных пневмосистем одним радиальным вентилятором, устанавливаемым вне основной рамы машины, применяется и на отечественных машинах серии МВР [98].

При этом на машинах предварительной и первичной очистки МВР-6 (ОЗС-50); МВР-7 (МВУ-70) используется одна осадочная камера для аспирационных каналов дорешетной и послерешетной очистки. Для выделения крупной примеси до пневмосепарирующего канала дорешетной очистки на входе в машины установлены барабаны - скальператоры. В решетной очистке машины МВР-7 (МВУ-70) установлены два параллельно работающих двухъярусных решетных стана, с верхним ярусом колосовых решет, нижним – подсевных и шариковой очисткой отверстий решет. Сход основной фракции каждого решетного стана подается в отдельный канал послерешетной аспирации.

рации. Машина МВР-6 (ОЗС-50) имеет четыре решетных стана, работающих параллельно. В каждом стане последовательно размещены три решета, что аналогично схемам размещения решет машин предварительной и первичной очистки СТВ-40, СТВ-30 и универсальной машины СВУ-60 [43].

Эта схема размещения трех различных по назначению решет в одном ярусе является, по мнению многих ученых наименее эффективной [73, 110, 144, 208]. Соотношение между решетками различного назначения одинаковое, что не рационально для товарной и семенной очисток и снижает потенциальные возможности повышения производительности.

Универсальная машина МВР-3 (СВУ-5Б) имеет двухаспирационную пневмосистему с отдельными осадочными камерами для каждого пневмосепарирующего канала и радиальным вентилятором. Решетная очистка включает четыре одноярусных решетных стана с планчатым транспортером очистителем верхнего стана по аналогии с машинами фирмы Petkus. Нижний стан служит для выделения мелких примесей и оборудуется подсевными решетками. В средних станах в зависимости от схемы работы могут устанавливаться разделительные (второй) и сортировальные (третий) решета или только сортировальные. Для лучшей загруженности начала решет нижележащего стана используются скатные листы с обратным уклоном. Очистка отверстий решет от застрявшего зерна производится шарами [98]. Машина МВР-4 (МВУ-1500) имеет тоже назначение, что и предыдущая, а по технологической схеме близка к машинам DELTA 108 фирмы Cimbria (Дания). Канал послерешетной аспирации имеет дополнительную осадочную камеру для выделения части легковесного зерна, вынесенного воздушным потоком отдельно от фуражной фракции. В решетной очистке используется скатная поверхность для возврата вороха на делитель потока, установленный в начале двухъярусного нижнего решетного стана.

В продукции фирмы Schmidt Seeger (в настоящее время владелец технологическая компания Buhler (Швейцария)) значительный удельный вес занимают универсальные воздушно – решетные машины серии TAS, предна-

значенные для первичной и основной очисток [335, 343]. Наряду с ними выпускаются универсальные решетные сепараторы серии SMA, а также сортировочные высокопроизводительные воздушно – решетные машины серии TAS для работы в солодовом производстве и сортировке зернового материала по размерам. Для работы с посевным материалом предназначена специальная универсальная машина Seed Selektor. Схема пневмосистемы машины аналогична пневмосистемам универсальных машин большинства ведущих фирмы. Машина имеет пневмосистему с двумя пневмосепарирующими каналами и осадочными камерами с забором воздуха общим вентилятором из осадочных камер. Решетная очистка представлена одним изготовленным из металла трехъярусным решетным станом с эксцентриковым приводом, и имеет ширину 1,0 м, что обеспечивает общую площадь решет 6 м^2 и производительность при семенной очистке 5 т/ч. Для очистки отверстий решет применяются шары.

Универсальные решетные сепараторы серии SMA имеют площадь решетной очистки от 1,5 до 24 м^2 , что обеспечивает производительность при первичной очистке от 12 до 220 т/ч. Пневмосистема машин SMA – 05/10/20 одноаспирационная, причем очистка воздушным потоком проводится не на входе в машины как общепринято для одноаспирационных машин, а на выходе с решетных станов. Сепараторы SMA – 05/10/20 отличаются рабочей шириной и имеют два яруса решет в решетном стане, который совершает круговые колебания. Сепараторы SMA – 203-3 и SMA – 206-6 в решетном стане имеют соответственно три и шесть параллельных потоков, очистку каждого обеспечивает последовательно работающие колосовое и подсевное или сортировальное решета. Пневмосистема этих машин уже двухаспирационной с отдельными осадочными камерами.

Заслуживают внимания машины серии TAS фирмы Schmidt Seeger, выпускаемые как для первичной очистки, так и для сортировки, в том числе и на солодовом производстве. Производительность машин составляет от 60 до 250 т/ч при товарной очистке пшеницы. Отличительные особенности ма-

шин этой серии следующие: круговые колебания решетного стана с размахом 0,03 м; расположение в ярусе решет только одного функционального назначения с площадью 4 м²; внешний забор воздуха каналом послерешетной очистки с его последовательным использованием в канале дорешетной очистки.

Принципиальным отличием пневмосистемы машин этой серии от двухаспирационных пневмосистем других машин является последовательное использование одного и того же воздушного потока в аспириционных каналах послерешетной и дорешетной очисток. Решета устанавливаются в одном решетном стане, который представляет собой отдельный герметичный блок. В зависимости от производительности и назначения очистки изменяется количество ярусов решет различного назначения в стане.

Площадь решетной очистки машин этой серии составляет от 12 м² (машина TAS 152A-2 производительностью 60 т/ч) до 48 м² (машина TAS 206A-6 производительностью 250 т/ч). Часовой расход воздуха изменяется от 8400 м³/ч до 23400 м³/ч у машины TAS 206A-6.

Примером универсальных машин фирмы может служить TAS 206A-2-6, технологическая схема которого представлена на рисунке 1.9.

Оба пневмоканала обслуживаются одним воздушным потоком, который последовательно проходит через каналы послерешетной и дорешетной аспираций. Машина имеет особенно большие поверхности основных сит. Общая площадь решет составляет 32 м², из них площадь колосовых решет – 8 м², а сортировальных или подсевных 24 м². Поэтому, машина TAS 206A-2 особенно эффективна при использовании на солодовнях и при подготовке посевного материала. Производительность при первичной очистке пшеницы составляет 150 т/ч, вторичной – 45 т/ч.

Для подготовки посевного материала и сортировки после первичной очистки фирма выпускает специальные машины TAS 210A-1 и TAS 200A-III. Первая машина имеет в решетном стане один ярус колосовых решет и десять ярусов сортировальных при общей площади решетной очистки 44 м².

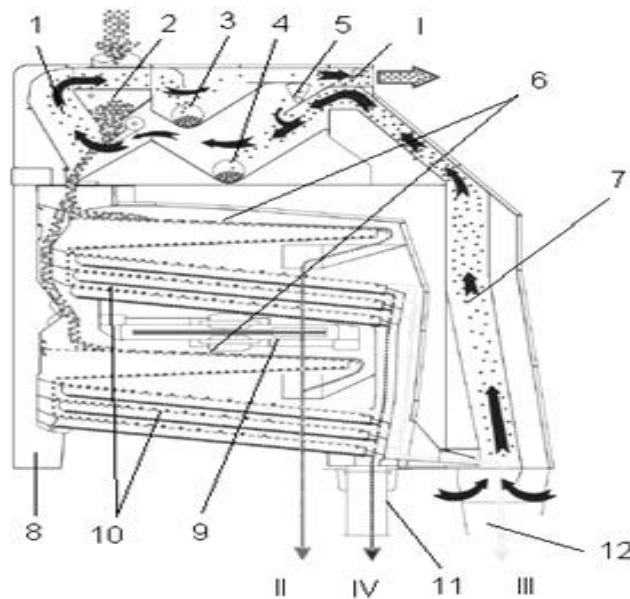


Рисунок 1.9 - Технологическая схема работы машины TAS-206A-2-6:

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 – решета 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

Решетный стан второй машины включает один ярус колосовых решет, семь ярусов сортировальных и два яруса подсевных решет при общей площади очистки 40 м². Такие машины находят широкое применение на солодовом производстве, где требуется высокая полнота разделения на фракции по размерам. Причем машина TAS 200A-III позволяет получать два сорта очищенного зерна. Пневмосистема машин унифицирована с пневмосистемами других машин этой серии.

Меньшее распространение на российском рынке нашли зерноочистительные машины производства США [325, 339]. Как и у большинства евро-

пейских фирм, значительную долю занимают универсальные зерноочистительные машины с плоскими решетками. Они выпускаются несколькими сериями, отличающимися как основным назначением (первичная или вторичная очистка), так и производительностью, и возможностью расширения функциональных возможностей за счет установки дополнительных рабочих органов. Общими особенностями, присущими практически всем машинам независимо от производительности и серии являются следующие:

- изготовление решетных станов из высокопрочной многослойной фанеры с электронно – регулируемым приводом решетных станов;
- установка в одном ярусе решет одного назначения с унифицированными размерами решетной рамки (ширина 1,372 м; длина 2,235 м; по два решетных полотна в длину);
- изменение производительности в основном за счет увеличения количества ярусов решет в решетных станах и производительности вентиляторов без изменения рабочей ширины решетки и воздушной очистки;
- установка колосовых решет в отдельном решетном стане с наклоном противоположно основным решетам, что дает возможность размещения пневмосепарирующих каналов с одной стороны машин;
- использование различных углов наклона станов с колосовыми и основными решетками;
- регулировка скорости подачи материала на очистку за счет изменения частоты вращения питающего валика с виброклапаном;
- покрытие лотков, поддонов и стыковочных мест полиуретаном, что позволяет уменьшить углы их наклона;
- использование унифицированных пневмосепарирующих систем с вентиляторами, что вызывает необходимость увеличения их количества при росте производительности.

Характеристика машин серии LEGEND [325, 339] представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Техническая характеристика машин серии Legend

Марка машины	Производительность, т/ч	Мощность на привод эл. двигателей, кВт	Количество ярусов решет, шт	Общая площадь решет, м ²	Кол-во вентиляторов, шт	Расход воздуха, м ³ /ч
LEGEND 588 – 2R/S	163,3	12,5	5	15,33	1	7650
LEGEND 588 – 4R/S	163,3	18,2	5	15,33	1	7650
LEGEND 688	163,3	11,0	6	18,39	2	15294
LEGEND 888	218,1	11,0	8	24,53	2	15294
LEGEND 888 – 4R/S	218,1	17,7	8	24,53	1	7650
LEGEND 1088	163,6	18,7	10	30,66	4	30588
LEGEND 1288	218,1	18,7	12	36,80	4	30588
LEGEND 1488	272,7	18,7	4*+10	45,70	4	30588

*- размер яруса 1372×2744 мм.

Как видно из таблицы производительность машин при первичной очистке составляет от 160 до 270 т/ч при изменении площади решетной очистки от 15,33 до 45,7 м² и расхода воздуха с 7650 до 30588 м³/ч. Часть машин этой серии имеющие в маркировке буквенное обозначение R/S оборудуются скальпирующими барабанами на входе, что дает возможность обработки сильно засоренного солоmistыми примесями вороха без использования специальных машин предварительной очистки. Доля, занимаемая колосовыми решетками, составляет от 33 до 40 %, остальную площадь решетной очистки занимают параллельно работающие подсевные или сортировальные решета. Установка в решетных станах одновременно сортировальных и подсевных решет для получения двух сортов целевого назначения не практикуется. Универсальные воздушно решетные машины серии Dakota имеют аналогичное устройство, но площадь колосовых решет в их решетных станах уменьшена до 25...30 %.

Универсальные воздушно решетные машины серии Century предназначены в основном для вторичной очистки и сортировки зернового материала, но также могут использоваться при первичной очистке. Количество ярусов решет в станах изменяется от 4 до 6, что составляет общую площадь решетной очистки от 12,26 до 24,5 м². Расход воздуха меняется в зависимости от площади решетной очистки от 15294 до 21738 м³/ч, а производительность на вторичной очистке от 11,3 до 22,5 т/ч.

Использование одного встроенного диаметрального вентилятора для обеспечения работы двухаспирационных пневмосистем применяется преимущественно на отечественных зерноочистительных машинах, таких как ОЗФ-80, ОЗФ-50; МВО-8Д; МВО-7С; МЗУ-20Д; МПО -25Ф [223, 227, 235, 256, 262, 267, 275, 278].

Разработке и исследованиям пневмосистем с диаметральным вентилятором и самих вентиляторов посвящены работы ученых под руководством Н. П. Сычугова и А. И. Буркова [29- 34, 256 -267]. Ими обоснованы основные параметры размещения вентиляторов в осадочной камере послерешетной аспирации, положения разделительной стенки между осадочными камерами, отражательных козырьков, высоты и глубины осадочных камер.

При разработке наиболее производительных на сегодняшний день машин серии ОЗФ были учтены результаты исследований двухаспирационных пневмосистем с диаметральными вентиляторами [185 - 187, 246 – 247, 250].

Проведенный обзор зерноочистительных машин для товарной очистки зерна показал:

- предварительная очистка зерна, при которой выделяется часть крупной и легковесной примеси, в настоящее время практически уступила место первичной очистке с выделением на этом этапе кроме перечисленных примесей также основной части мелких;

- для реализации поточной технологии первичной очистки зерна зарубежные фирмы выпускают целые серии универсальных машин производительностью от 10...20 т/ч до 150...250 т/ч, в то время как отечественные ма-

шины имеют максимальную производительность не более 40...50 т/ч, что является одной из причин низкого качества товарного зерна и семян;

- предпочтение отдается универсальным машинам с пневмосистемами дорешетной и послерешетной аспираций, которые при соответствующей настройке могут использоваться для предварительной очистки и даже подготовке семенного материала;

- подавляющее большинство высокопроизводительных машин ведут разделение зернового вороха по размерам на три фракции, с выделением крупных, мелких примесей или крупных примесей и фуражного зерна;

- общей тенденцией в конструкции высокопроизводительных машин является установка в одном ярусе решет одного назначения с выносом колосовых решет в отдельный ярус или даже отдельный решетный стан со своим углом наклона;

- изменение производительности как за счет увеличения количества ярусов решет в решетных станах и производительности вентиляторов, так и путем изменения рабочей ширины решетной и воздушной очисток и производительности вентиляторов.

1.4. Проблема повышения эффективности воздушной очистки зернового вороха

Пневмосепарирующие системы являются неотъемлемой частью универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин и служат не только для выделения легковесных примесей значительно отличающихся по аэродинамическим свойствам от зерна основной культуры, но и для выделения биологически неполноценных, недомолоченных зерновок основной культуры и части засорителей. Разделение зерновой смеси воздушным потоком имеет ряд преимуществ перед другими способами очистки - это простота конструкции, достаточно высокая удельная производительность, небольшое по сравнению с другими рабочими органами травмирование семян. Однако энергоемкость процесса в несколько раз превышает энергоемкость решетной

очистки. Так, по данным приведенным производителями в технической характеристике машин удельная энергоемкость на привод вентилятора составляет от 0,1 до 0,45...0,5 кВт/т. Меньшие значения соответствуют машинам серии TAS фирмы Schmidt Seeger, большие - машинам серии U12 /U15 фирмы PETKUS и некоторым отечественным машинам. Для привода решетной очистки удельные энергозатраты составляют от 0,045 до 0,1...0,15 кВт/т [335, 337, 338, 340, 343].

По данным многочисленных исследований только воздушным потоком, при скорости близкой к скорости витания полноценного зерна основной культуры, в пневмосепарирующих каналах может быть выделено щуплое, биологически неполноценное зерно, основная часть недомолоченных зерновок и значительная часть засорителей, в том числе и овсюг [29, 30, 32, 33, 47, 49, 62, 67, 75, 77, 89, 92, 103, 104, 108, 115, 124, 132, 137, 162, 172, 175, 182, 209, 229, 263, 271, 273, 278, 296]. Поэтому от качества работы пневмосепарирующих систем универсальных зерноочистительных машин в значительной степени зависят качественные показатели получаемых семян и зерна продовольственного назначения.

Качество работы пневмосепарирующих систем зависит от многих параметров, часть из которых изменяется во времени. К таким параметрам многие исследователи относят: состав зернового вороха, удельную зерновую нагрузку, скорость воздушного потока, зависящую напрямую от создаваемого напора, скорость и угол ввода материала, угол наклона воздушного потока, равномерность распределения скоростного поля воздушного потока, время взаимодействия компонентов зернового вороха с воздушным потоком и другие [10, 14, 19, 24, 26, 33, 47, 62, 67, 75, 94, 101, 111, 124, 127, 132, 156, 162, 169, 172, 204, 207, 222, 250, 256, 262, 296, 308]. Пневмосепарирующие системы должны иметь возможность управляемого изменения технологически необходимых скоростей воздушного потока в достаточно широких пределах. Это условие дает возможность обработки практически всех сельскохозяйственных культур при любых требуемых режимах очистки. Технологически

необходимые скорости воздушного потока, установленные в каналах не должны изменяться при прогнозируемых колебаниях состава вороха, его влажности и подачи. При высокой удельной нагрузке существенное влияние на процесс сепарации оказывают также силы взаимного столкновения и сцепления составных частей вороха.

Достаточно полная классификация пневмосистем дана в целом ряде работ [124, 156, 172, 205, 257, 284 и др.]

Универсальные воздушно-решетные машины оборудуются, как правило, двухаспирационной пневмосепарирующей системой: дорешетной и послерешетной аспираций. Предпочтение на многих машинах отдается аспирационному всасывающему потоку, в силу его общеизвестных, конструктивных и эксплуатационных преимуществ [29, 37, 39, 52, 66, 77, 92, 115, 293, 306, 336, 339, 340, 343, 344].

Обе аспирационные системы могут быть разомкнутыми, с внешним забором воздуха каждым пневмосепарирующим каналом отдельно [19, 47, 58, 98], разомкнуто – замкнутые с рециркуляцией большей части воздуха [43, 156, 224, 262] или реже замкнутыми [32, 43, 159, 256].

Пневмосистемы первого типа, при использовании всасывающего рабочего потока воздуха, могут включать только пневмосепарирующие каналы и осадочные камеры, а вентиляторы и пылеотделяющие устройства устанавливаются, как правило, за пределами машин или даже помещений. Однако, из-за повышенного воздухообмена с атмосферой помещений, где установлены машины, вызывает неудобство их обслуживания при эксплуатации в холодное время года. Несмотря на повышенные энергозатраты, на работу таких пневмосистем по сравнению с пневмосистемами замкнутого и разомкнуто – замкнутого типов они находят более широкое применение. Объяснением этому служит их основное преимущество, заключающееся в значительно меньшем количестве пыли, осаждаемой на очищенных компонентах вороха, что имеет существенное значение в условиях повышенного использования средств химической защиты растений.

Последние два типа предусматривают установку вентилятора непосредственно в пневмосистемах самих машин, а также применение малогабаритных высокоэффективных пылеотделяющих устройств. Машины с такими типами пневмосистем занимают меньшее место и среди универсальных машин зарубежных фирм. Основной причиной этому является повышенная стоимость машин оборудованных такими пневмосистемами. Кроме того, не всегда достигается высокая эффективность пылеотделения, а работа высокоэффективных компактных пылеотделяющих устройств зачастую требует достаточно высоких затрат энергии, что сводит на нет их преимущество по энергоемкости работы.

Работа обоих пневмосепарирующих каналов двухаспирационных пневмосистем обеспечивается чаще всего одним вентилятором, и значительно реже работа каждого пневмосепарирующего канала в отдельности обеспечивается своим вентилятором. Один радиальный вентилятор для пневмосистем имеют машины таких фирм как Cimbria [336], Schmidt Seeger [343], Petkus [340], машины серии NSD фирмы Denis [338], машины большинства серий фирмы Westrup [344], многие машины фирмы Damas [337], машина ИНТЕХ К150 [42], большинство двухаспирационных машин серии МВР [98] и часть машин производства Воронежсельмаш [43]. Использование отдельного вентилятора для каждого пневмосепарирующего канала применяется на машинах серий VIBAM и OMEGA, выпускаемых фирмой Damas [337], машин серии Legend, Dakota и Century производства США [339], МС- 4,5 и СВУ-60 производства Воронежсельмаш [43].

Общий расход воздуха вентилятором при его использовании на обеспечение работы каналов дорешетной и послерешетной очисток и забором воздуха каждым каналом в отдельности представляет собой сумму расходов через каналы. Сопротивление пневмосистемы в случае параллельного соединения определяется сопротивлением наиболее протяженного канала, которым является канал послерешетной аспирации. Во втором канале, как правило, методом дросселирования обеспечивается необходимая скорость воз-

душного потока при условии равенства его сопротивления сопротивлению канала послерешетной аспирации. Технически это решается за счет изменения соотношения сечения воздухозаборных окон между осадочными камерами, открытием дополнительных, сообщающихся с атмосферой, окон в осадочных камерах, дросселированием сечения канала дорешетной аспирации [42, 43, 98, 170, 236, 256, 264, 315, 337, 341]. Использование внешнего вентилятора или вентилятора, устанавливаемого непосредственно на осадочных камерах, позволяет обходиться общей пылеотделительной системой и одним воздуховодом. Однако, минимизировать затраты электроэнергии на привод вентилятора удастся не в полной мере из-за повышенного общего расхода воздуха при сопротивлении соответствующем сопротивлению наиболее протяженного канала. Уменьшение длины пневмосепарирующего канала позволяет снизить сопротивление пневмосистемы послерешетной аспирации и затраты электроэнергии на привод вентилятора. Такие исследования были проведены и в Воронежском ГАУ на лабораторной установке оборудованной диаметральной вентилятором, которая являлась уменьшенной по ширине копией пневмосистемы машины ОЗФ – 80 [58]. Длина канала послерешетной аспирации на машине и установке составляла 1,85 м, глубина канала 0,18 м. Выделение легковесных примесей дорешетной очисткой проводилось в спаренных вертикальных каналах, которые одновременно являлись лотками для подачи вороха после делителя потока на решетные станы [58]. В результате исследований было установлено, что уменьшение длины канала второй аспирации на 0,7 м приводит к незначительному снижению сопротивления и увеличению скорости воздушного потока на 0,15 м/с при частоте вращения вала вентилятора до 830 мин⁻¹ и холостом режиме работы пневмосистемы. Одновременно наблюдалось снижение скоростей воздушного потока в спаренных каналах дорешетной аспирации и незначительно общего расхода воздуха при уменьшении удельных затрат мощности на привод вентилятора на 0,15...0,02 кВт/м³. Причем, с увеличением частоты вращения вала вентилятора эта разница снижается. При подаче зернового вороха наблюдается иная картина

влияния длины канала послерешетной аспирации на сопротивление и соотношение скоростей в каналах дорешетной и послерешетной очисток.

Выделение вороха в фуражную фракцию возрастает с 3,75 до 7,8% при уменьшении длины канала и частоте вращения вала вентилятора более 740 мин⁻¹, а при частоте вращения вала вентилятора более 860 мин⁻¹ достигает уже 19,8 %. При этих частотах вращения вала вентилятора и уменьшенной длине канала значительно возрастает вынос полноценного зерна в фуражную фракцию (до 4,0...15,8 %). Это подтверждает заключение, сделанное и другими исследователями о том, что с уменьшением длины канала послерешетной аспирации существенно ухудшается четкость выделения фуражной фракции и возрастают потери полноценного зерна в фураж в 10 и более раз [29, 32, 37, 66, 92, 95, 115].

Результаты исследований различных вариантов пневмосепарирующих устройств не выявили преимуществ спаренных каналов дорешетной аспирационной системы по сравнению с одинарным каналом [118, 246].

Это объясняется в первую очередь различием скоростей воздушных потоков в зонах сепарации обоих каналов за счет разности их длин, сложностью организации забора воздуха со стороны ввода вороха в каналы (с внутренней стороны смежных каналов).

Учитывая компоновку машин серии ОЗФ, наиболее логично использовать наклонный пневмосепарирующий канал дорешетной аспирационной системы. Такой канал по сравнению с вертикальным, позволяет увеличить его длину, что повлияет на четкость выделения легковесных примесей, и снижает сопротивление за счет уменьшения угла поворота воздушного потока и забора воздуха с внешней стороны машины. Это позволит получить необходимые скорости в зоне сепарации при меньшей частоте вращения вентилятора, а, следовательно, меньших затратах энергии.

При проведении исследований использовался канал первой аспирации, отличающийся возможностью изменения его угла наклона и глубины, угла ввода вороха по отношению к направлению движения воздушного потока.

В результате экспериментальных исследований было установлено:

- пневмосепарирующий канал дорешетной аспирации машин серии ОЗФ при оборудовании пневмосистемы диаметральной вентилятором наиболее рационально выполнять наклонным с забором воздуха с внешней стороны машины и глубиной не более 180...200 мм;

- угол наклона канала должен находиться в пределах 38...42°, что даст возможность расположения на его поверхности гравитационного распределяющего устройства и исключит завал зерна в канале;

- направление ввода зернового вороха должно обеспечить с направлением скорости воздушного потока угол близкий к 150°;

- по сравнению с двухполостным наклонный канал позволяет увеличить расход воздуха пневмосистемой дорешетной очистки на 7...10 % и снизить затраты мощности на привод вентилятора на 1...3% при одинаковом режиме его работы;

- при скорости воздушного потока в канале 5,5...5,75 м/с, полнота выделения незерновых компонентов составляет не менее 80% при выносе зерна в осадочную камеру не более 0,1% [56, 58].

Среди большинства исследователей существуют разные мнения о преимуществах пневмосистем, имеющих вертикальные, наклонные или горизонтальные пневмосепарирующие каналы [28, 29, 129, 132, 134, 136, 142, 227, 259, 314]. Однако, применение в качестве каналов послерешетной очистки вертикальных каналов говорит, несмотря на большую энергоемкость по сравнению с наклонными и горизонтальными, об их неоспоримом преимуществе в четкости сепарирования. Поэтому В.И. Анискин [16], А.И. Бурков, Н.П. Сычуглов, Б.Г. Плехов [29, 30], В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин [62], В.М. Дринча, Л.М. Суконкин [72], Ю.В. Еров, Д.З. Салахиев, А.А. Железнов [91], И.Е. Кожуховский [121], А.Я. Малис, А.Р. Демидов [156] и многие другие отдают предпочтение разделению зерна в вертикальном воздушном потоке.

Опыт использования в производстве машин ОЗФ-50 и ОЗФ-80, особенно при очистке и сортировке таких культур, как пивоваренный ячмень, показал необходимость повышения рабочих скоростей воздушного потока в каналах и изыскания путей улучшения качества работы пневмосепарирующих систем. Попытки повышения рабочих скоростей воздушного потока в каналах за счет частотного регулирования привода диаметрального вентилятора не увенчались успехом.

В универсальных воздушно-решетных машинах серии ОЗФ вентилятор устанавливается непосредственно в пневмосистеме, в месте соединения осадочных камер и обеспечивает работу обоих пневмосепарирующих каналов.

Между осадочными камерами аспираций установлена перегородка разделяющая зону всасывания вентилятора на две части: первая по ходу вращения связана с осадочной камерой второй аспирации и вторая – с осадочной камерой первой аспирации. Положение перегородки выбирается исходя из требуемого соотношения расходов воздуха между аспирациями и требуемых скоростей в пневмосепарирующих каналах. Регулирование скоростей воздушных потоков в машине ведется за счет изменения частоты вращения вентилятора, частотным преобразователем, и дополнительно за счет открытия воздухозаборного окна, расположенного выше зоны пневмосепарации в первом пневмосепарирующем канале [274].

Исследованиями [49], проведенными на лабораторной установке аналогичной пневмосистеме машины ОЗФ- 80 и отличающейся шириной было установлено, что создаваемые вентилятором полный и динамический напоры в аспирациях неодинаковы.

Также было установлено различие в создаваемом динамическом напоре по зоне всасывания вентилятора и наличии обратного выхлопа в конце зоны всасывания (осадочная камера первой аспирации). Наличие перегородки между осадочными камерами не оказывает существенного влияния на характер распределения напора по зоне всасывания и наличие обратного выхлопа воздуха в конце зоны всасывания (таблица 1.3).

Таблица 1.3 - Распределение скорости воздушного потока по зоне всасывания диаметрального вентилятора

Угол от начала зоны всасывания, град.	Расположение точки замера	Скорость воздушного потока, м/с	
		С перегородкой между камерами	Без перегородки
5	Послерешетная аспирация	11,70	13,40
25		12,12	12,65
45		12,65	13,40
65		12,12	11,98
85	Дорешетная аспирация	9,39	10,69
105		8,28	9,56
125		5,71	6,70
145		0,00	-6,70*
165		-18,95*	-14,00*

*- наблюдается обратный выхлоп из вентилятора.

Как и предполагалось динамический напор и скорость воздушного потока на входе в вентилятор в начале зоны всасывания больше. Чем дальше удалена точка замера по углу поворота от начала зоны всасывания, тем меньше динамический напор и скорость воздушного потока. В конце зоны всасывания наблюдался обратный выброс воздуха из вентилятора в камеру первой аспирации. Общий характер распределения скорости по зоне всасывания не зависит от различия в сопротивлении по участкам (первая и вторая аспирации), что подтверждается результатами, полученными при сообщении осадочных камер между собой.

В то же время повышение скорости воздушного потока в начале и средней части зоны всасывания привело к тому, что обратный выброс воздуха из вентилятора начался на меньшем угле от начала зоны всасывания, а скорость воздушного потока выброса воздуха уменьшилась. Было установлено, что при повышении скорости воздушного потока в канале послерешетной аспирации на 1,0...2,5 м/с за счет снижения его сопротивления, в спаренных каналах первой аспирации, без изменения их конструкции, скорость воздушного потока снижается на 0,3...0,6 м/с.

Увеличение частоты вращения рабочего колеса вентилятора приводит к неравнозначному повышению скоростей воздушного потока в каналах аспираций. В большей степени скорость воздушного потока растет в канале второй аспирации, осадочная камера которой расположена раньше по ходу вращения рабочего колеса вентилятора.

Учитывая отмеченные выше недостатки, были проведены исследования с целью получения количественных характеристик диаметральных вентиляторов с рабочим колесом, имеющим двенадцать и двадцать четыре лопасти непосредственно в пневмосистеме машины ОЗФ-80. При снятии характеристики забор воздуха осуществлялся непосредственно через канал второй аспирации и снятые лотки с каналов первой аспирации. Сопротивление всасывания по аспирациям создавали за счет перекрытия каналов на входе. Количественная характеристика диаметральных вентиляторов для рабочих колес с 12 и 24 лопастями, снятая непосредственно в пневмосистеме машины ОЗФ-80, представлена на рисунках 1.10 и 1.11 соответственно.

Как и ожидалось вентилятор с рабочим колесом, имеющем 24 лопасти имеет более высокие показатели практически по всем параметрам, Это подтвердило результаты исследований Н.П. Сычугова, А.И. Буркова [256, 258].

Анализ графических зависимостей показывает, что вентилятор с рабочим колесом, имеющем 24 лопасти имеет более высокий КПД во всем диапазоне исследуемых частот. Диаметральные вентиляторы независимо от числа лопастей рабочих колес имеют более высокий КПД в области больших расходов воздуха. Увеличение количества лопастей привело к росту общего расхода воздуха в 1,14...1,28 раза по сравнению с вентилятором, рабочее колесо которого имеет 12 лопастей. Меньший рост производительности наблюдается на частотах 400...500 мин⁻¹, а больший на частотах 600...780 мин⁻¹. Создаваемый вентиляторами напор всасывания, с учетом параллельной работы обеих аспираций, также больше у вентилятора с 24 лопастным рабочим колесом. Создаваемый вентиляторами напор всасывания, с учетом парал-

лельной работы обеих аспираций, также больше у вентилятора с 24 лопастным рабочим колесом.

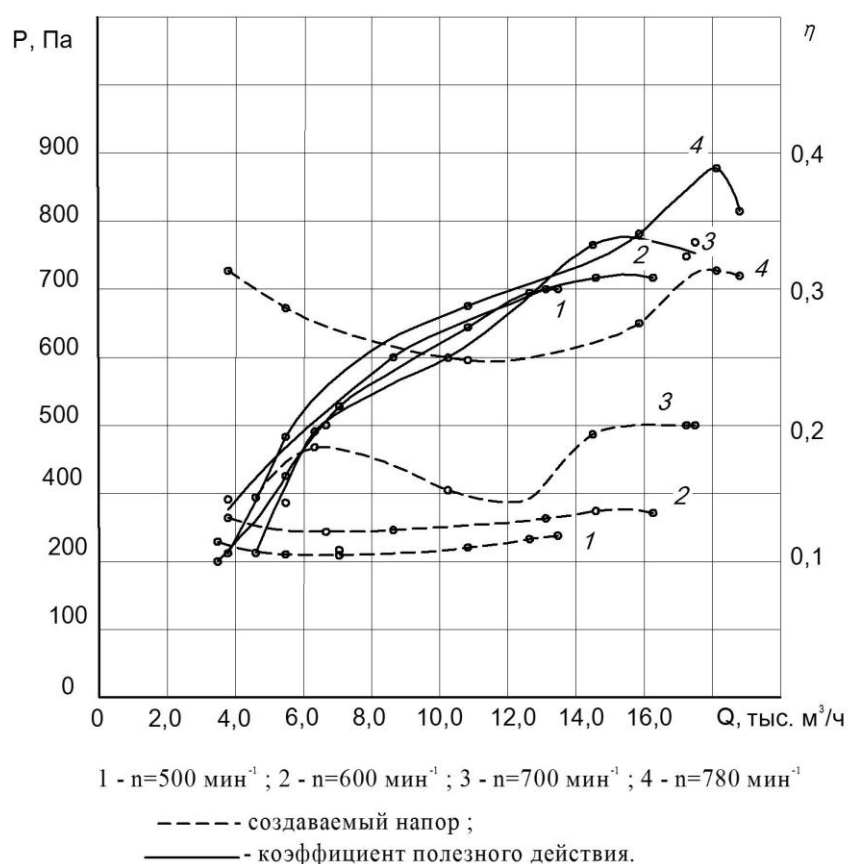


Рисунок 1.10 - Характеристика диаметрального вентилятора с 12 лопастями в пневмосистеме машины ОЗФ-80

Для вентилятора с 12 лопастным рабочим колесом ярко выражена существенная разница между создаваемыми напорами всасывания в первой и второй аспирациях. Эта разница достигает 5,5...8,3 раз в области максимальных значений КПД на каждой частоте вращения рабочего колеса. В тоже время увеличение частоты вращения 12 лопастного рабочего колеса диаметрального вентилятора с 500 мин^{-1} до 780 мин^{-1} приводит к неравнозначному росту создаваемого им напора всасывания по аспирациям. Так прирост частоты вращения рабочего колеса на каждые 100 мин^{-1} (до 700 мин^{-1}) увеличивает напор всасывания в осадочной камере второй аспирации соответствен-

но на 95...105 Па. Меньшее увеличение напора наблюдается при росте частоты вращения рабочего колеса с 700 мин⁻¹ до 780 мин⁻¹.

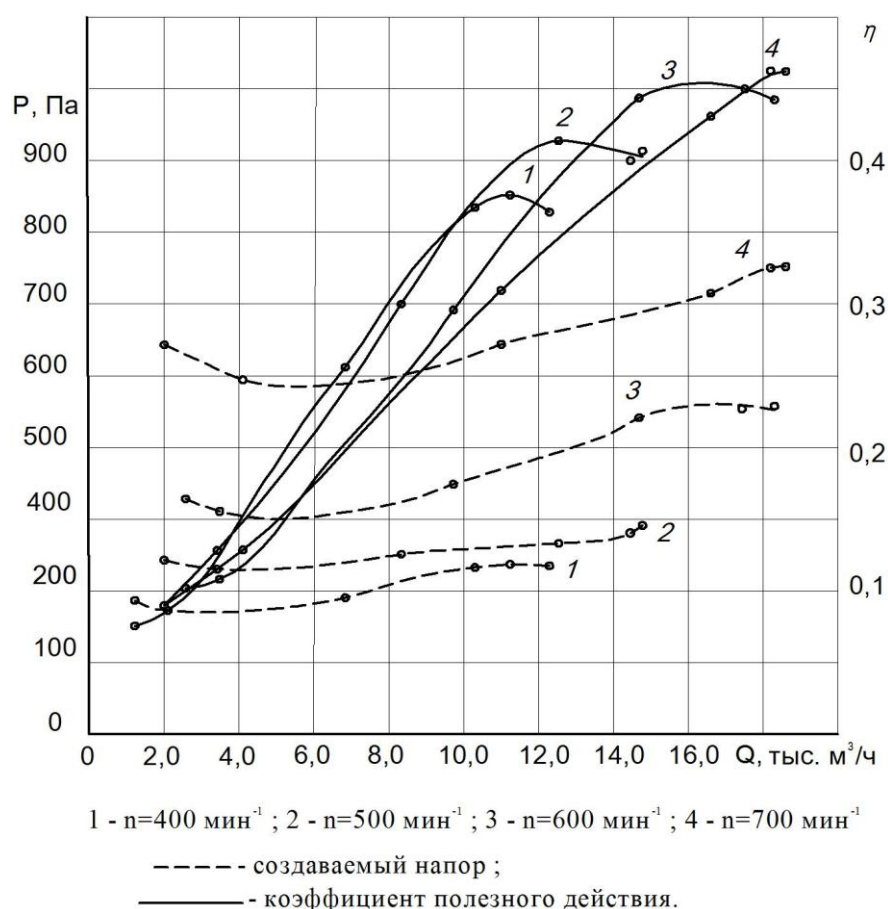


Рисунок 1.11 - Характеристика диаметрального вентилятора с 24 лопастями в пневмосистеме машины ОЗФ-80

Рост напора всасывания в осадочной камере первой аспирации суммарно составил всего лишь 85...90 Па. Следовательно, попытки повышения технологически необходимых скоростей воздушных потоков в пневмосепарирующих каналах за счет увеличения частоты вращения рабочего колеса могут дать результат только для пневмосепарирующего канала второй аспирации.

Для вентилятора с 24 лопастным рабочим колесом разница между создаваемыми напорами всасывания в первой и второй аспирациях значительно меньше. Эта разница достигает только 1,9...2,7 раз в области максимальных значений Кпд на каждой частоте вращения рабочего колеса. Увеличение час-

тоты вращения 24 лопастного рабочего колеса диаметального вентилятора с 400 мин^{-1} до 700 мин^{-1} приводит к пропорциональному росту создаваемого им напора всасывания по аспирациям, в отличие от вентилятора с 12 лопастным рабочим колесом.

На основании вышеизложенного можно ожидать и пропорционального изменения рабочих скоростей в обоих пневмосепарирующих каналах за счет изменения частоты вращения рабочего колеса с 24 лопастями в двухаспирационной пневмосистеме.

Анализ графических зависимостей позволяет подтвердить один из основных недостатков диаметральных вентиляторов сдерживающий их широкое применение в зерноочистительной технике. Независимо от количества лопастей рабочих колес диаметральные вентиляторы с большой рабочей шириной характеризуются пологой характеристикой.

У вентилятора с 12 лопастным рабочим колесом имеется впадина, расположенная вблизи больших расходов на каждой частоте, а затем при дальнейшем снижении расхода наблюдается некоторый рост создаваемого напора всасывания. Вентилятору с 24 лопастями рабочего колеса присуще при росте сопротивления в аспирациях снижение расхода воздуха без заметного прироста создаваемого напора.

При сравнительно небольшом сопротивлении двухаспирационной пневмосистемы, что характерно, как правило, для машин небольшой производительности, можно рекомендовать использование диаметрального вентилятора с 24 лопастным рабочим колесом при частотном регулировании скоростей воздушного потока в пневмосепарирующих каналах. Использование широко применяемого дросселирования каналов для установления требуемых скоростей по нашему мнению не может обеспечить надежность и стабильность поддержания требуемой скорости. Для универсальных воздушно-решетных машин большой производительности, особенно при работе их с пылеулавливающими устройствами, требуется применение центробежных вентиляторов. Снижение энергоемкости в этом случае необходимо добивать-

ся совершенствованием самой пневмосистемы. Несмотря на известные преимущества оборудования пневмосистем диаметрными вентиляторами [32, 35] большинство высокопроизводительных машин зарубежного производства имеют разомкнутые пневмосистемы оборудованные радиальными вентиляторами [345 - 346]. Это объясняется отсутствием впадин на характеристиках вентиляторов в отличие от диаметральных, лучшей приспособленностью вентиляторов этого типа к частотному регулированию, возможностью создания более высокого напора всасывания по сравнению с диаметрными вентиляторами.

Использование отдельного вентилятора для обеспечения работы каждого канала, так же не является эффективным путем снижения энергозатрат. Как показывают результаты исследований, сопротивление элементов пневмосистемы при ее работе без подачи вороха выше сопротивления самого зернового вороха. Поэтому дублирование одних и тех же элементов пневмосистемы в каждой аспирации не рационально. Кроме того, увеличение количества вентиляторов и электродвигателей снижает надежность пневмосистемы в целом. Однако такое решение позволяет сделать полностью независимой регулировку скоростей воздушного потока в каналах.

Одним из важных факторов, влияющих на качество работы аспирационной системы, является равномерная подача и распределение компонентов зернового вороха по сечению пневмосепарирующих каналов.

А.И.Бурков, Н.П.Сычугов [30], А.Б. Демский, В.Ф. Веденьев [67], В.Л. Злочевский, А.Х. Тегельбаум [102], Н.И. Косилов, С.А. Аристов [138], А. А. Панов [189], А.В. Пивень, А.В. Миронов [162, 207] и ряд других исследователей отмечают, что качество работы и производительность сеяноочистительных машин в значительной мере зависят от того, насколько равномерно исходный материал подается в пневмосепарирующие каналы.

Для канала дорешетной аспирации на первый план выходит распределение зернового вороха по ширине пневмосистемы, так как ширина потока

вороха подающими самотечными или другими устройствами в несколько раз меньше ширины пневмосистем.

Воздушно-решетные зерноочистительные машины отечественного производства, включая и машины нового поколения серий ОЗФ, СВУ, СВТ оборудуются распределительными устройствами шнекового типа с подпружиненным клапаном для регулировки подачи. Распределительное устройство шнекового типа, установленное на машине СМ-4 и имеющее меньшую ширину распределения, чем приведенные выше машины по данным [278] увеличивает суммарное травмирование семян на 1%, приведенное на 1,4%. Такие показатели по травмированию зерна вызывают необходимость исключения использования распределителей такого типа, на машинах ведущих подготовку семян. Зерноочистительные машины зарубежного производства уже в течение длительного периода оборудуются распределительными устройствами других типов.

Для распределения зернового вороха и его подачи в пневмосепарирующие каналы воздушно-решетных зерноочистительных машин ведущих зарубежных фирм используются профилированные обрезаемые или покрытые специальным полимерным покрытием вальцы в комбинации с грузовыми герметизирующими и вибрационными клапанами [336, 340, 344].

Подача зернового вороха в машины при этом регулируется изменением положения грузов или частотой вращения питающих вальцов. Использование профилированных вальцов со специальным покрытием рабочих поверхностей позволяет значительно снизить травмирование зерна по сравнению со шнековыми распределителями. Воздушно-решетные зерноочистительные машины чаще всего оборудуются приемным бункером, в нижней части которого размещается питающий валик с клапаном. Наклонная стенка бункера имеет рассекатели или скатную поверхность, которые обеспечивают предварительное распределение зернового вороха за счет сил тяжести и трения по ширине [344]. Наклонной стенке, с целью уменьшения габаритов устройства и улучшения качественных показателей зачастую придаются вибрации или

высокочастотные колебания в основном за счет электромагнитных устройств. На многих машинах такие колебания имеют и сами клапаны, устанавливаемые с определенным регулируемым зазором относительно рабочей поверхности вальца [336].

Попытки получить удовлетворительное распределение вороха по ширине машины за счет пассивных распределителей предпринимались при совершенствовании машин серии ОЗФ. Были предложены технические решения таких устройств:

- устройство для гравитационного распределения зернового вороха и другого сыпучего материала по ширине машин (патент РФ №2404864)[199];
- приемно-распределительное устройство зерноочистительной машины (пат. РФ №2458750) [195].

Устройство для гравитационного распределения представляет собой поверхность выполненную в виде сегмента конусной формы с трапециевидным контуром, расположенным меньшим основанием в сторону загрузочного отверстия и большим – к пневмосепарирующему каналу. Поверхность распределителя устанавливается под углом наклона образующей, проходящей по оси симметрии больше угла трения зернового вороха.

Приемно-распределительное устройство включает распределитель, выполненный в виде двух, шарнирно сочлененных относительно друг друга и симметрично расположенных по ширине пневмоканала, желобов. Скатная поверхность каждого желоба выполнена в виде продольно гофрированного полотна треугольной формы, и установлена с возможностью регулирования угла наклона к горизонту, равным или большим угла трения зернового материала по скатной поверхности желоба.

Исследование работы гравитационного распределителя при ширине распределения 1,5 м проводили на кафедре сельскохозяйственных машин Воронежского ГАУ [57]. В результате экспериментальных исследований было установлено, что увеличение угла наклона образующей поверхности распределителя свыше 34° ведет к снижению равномерности распределения во-

вороха по ширине за счет увеличения интенсивности его подачи ближе к оси и соответственно уменьшения по краям зоны распределения (рисунок 1.12).

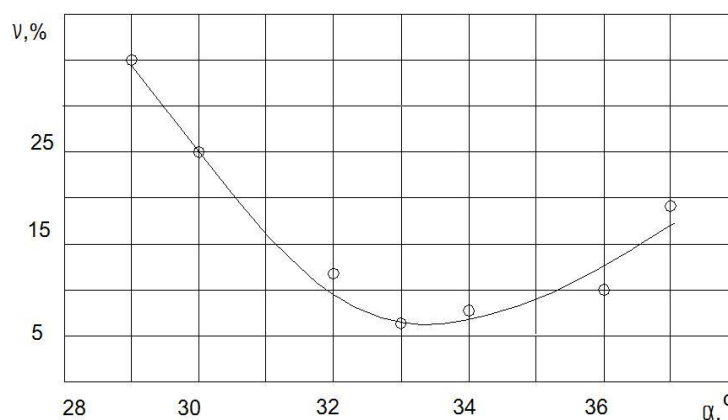


Рисунок 1.12 - Влияние угла наклона распределителя на распределение зернового вороха по ширине: ($R = 1,3$ м; $Q = 15$ т/ч; $\beta = 15\%$; $W = 21\%$)

Уменьшение угла наклона ведет к снижению интенсивности подачи вороха ближе к оси распределяющей поверхности, а при дальнейшем уменьшении угла наклона и остановке вороха в этой зоне. В тоже время торможение компонентов вороха по краям поверхности происходит менее интенсивно. Поэтому, уменьшение угла наклона поверхности ниже коэффициента трения так же снижает равномерность распределения.

Удовлетворительная неравномерность распределения, не превышающая 10...15%, может быть достигнута при сравнительно большой длине поверхности гравитационного пассивного распределителя, которая должна составлять не менее $L = 0,65 \dots 0,7$ м (рисунок 1.13). Уменьшение длины поверхности распределителя менее 0,5 м уже снижает равномерность распределения вороха практически в два раза. Дальнейшее увеличение длины рабочей поверхности распределителя свыше $L = 0,72 \dots 0,77$ м лишь незначительно снижает неравномерность распределения вороха по ширине.

Из других конструктивных параметров наибольшее влияние на равномерность распределения по ширине оказывает радиус конусной поверхности у большего основания (рисунок 1.14).

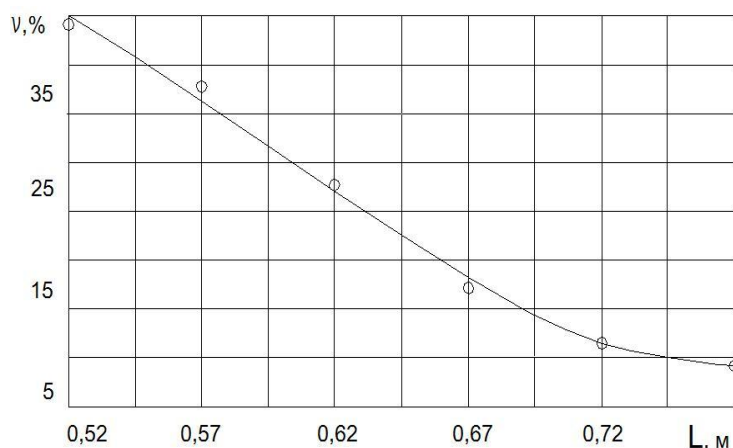


Рисунок 1.13 - Влияние длины поверхности распределителя на распределение зернового вороха озимой пшеницы по ширине: ($\alpha = 33^\circ$; $Q = 20 \text{ т/ч}$; $3 = 15\%$; $W = 15,5\%$; $R = 1,3 \text{ м}$)

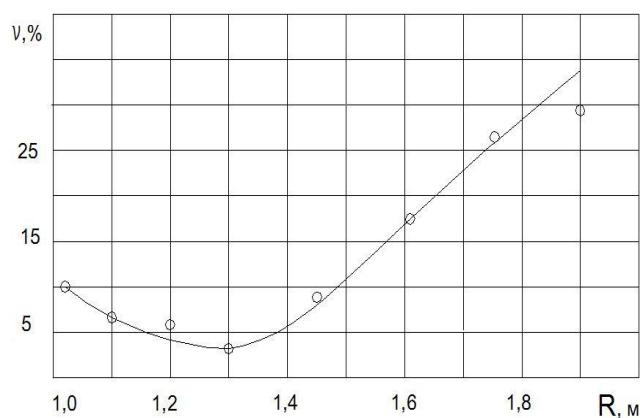


Рисунок 1.14 - Влияние радиуса основания распределителя на распределение зернового вороха по ширине: ($\alpha = 32^\circ$; $Q = 40 \text{ т/ч}$; $3 = 3,5\%$; $W = 15,5\%$)

Анализ представленной на рисунке 1.14 графической зависимости показывает, что уменьшение радиуса R основания поверхности менее 1,1 м ведет к увеличению неравномерности распределения. Это объясняется тем, что увеличивается выпуклость поверхности и это ведет к уменьшению интенсивности поступления вороха по оси распределителя. Увеличение радиуса нижнего основания поверхности гравитационного распределителя свыше 1,4 м наоборот ведет к уменьшению выпуклости поверхности, что требует значительного увеличения длины рабочей поверхности при сохранении такой же

ширины зоны распределения. В этом случае значительно снижается поступление вороха на края зоны распределения.

Изменение подачи зернового вороха в пределах 15...70 т/ч незначительно (на 3...5%) снижает равномерность распределения. Это объясняется тем, что уже при небольших подачах наблюдается многослойное движение вороха по поверхности. Аналогично можно объяснить незначительное влияние засоренности (в опытах менялась в пределах 3,2...15%) и влажности зернового вороха ($W=15...22\%$) на равномерность его распределения по ширине.

Проведенные исследования подтвердили работоспособность пассивного гравитационного распределителя при достаточно широких пределах изменения влажности, засоренности и подачи обрабатываемого вороха и удовлетворительных показателях по равномерности распределения на ширину рабочей зоны 1,5 м.

Вместе с тем необходимо отметить ряд недостатков пассивного гравитационного распределителя:

- подача обрабатываемого вороха должна производиться со стороны выпуклости рабочей поверхности под углом не более $140..150^\circ$;
- сложность компоновки распределителя в пределах габаритов машин потребует в большинстве случаев его отдельной установки в качестве наставки;
- относительно большие габаритные размеры распределителя увеличивают габаритные размеры машин;
- опасность изменения свойств поверхности при хранении машин;
- различие скоростей ввода вороха по ширине без применения дополнительных устройств;
- большая концентрация легковесных компонентов вороха по краям зоны распределения.

В универсальных воздушно-решетных и сортировальных машинах серии TAS фирмы Schmidt - Seeger GmbH [343], а также зерноочистительных

машинах серий Mega и Combi фирмы Cimbria [336] для подачи и распределения вороха по ширине машин используются наклонные, качающиеся в продольном направлении распределители. Причем, в машинах фирмы Cimbria зерновой ворох при подаче в машину делится на два потока, а затем каждый поток отдельно подается на свою наклонную качающуюся поверхность.

При подаче в пневмосепарирующий канал предварительной очистки оба распределенных в поперечном направлении потока вороха снова соединяются. Качающиеся распределители машин серии TAS фирмы Schmidt-Seeger представляют собой наклонное днище приемной камеры, откуда зерновой ворох поступает на герметизирующий пневмоканал грузовой клапан, с помощью которого регулируется подача вороха в машины [343]. Использование качающихся распределителей позволяет применять поверхности с углом наклона меньше угла трения компонентов вороха по самим поверхностям и кроме того предварительно расслоить зерновой ворох по плотности на слои, что увеличит эффективность выделения легковесных примесей в пневмосепарирующих каналах.

Зерновой ворох, поступающий в канал послерешетной аспирации после решет практически равномерно распределен по ширине, поэтому подающие устройства решают другие задачи. Кроме герметизации входных и выходных окон каналов, на первый план выходит равномерное распределение компонентов вороха по глубине, учитывая рабочие скорости воздушного потока в каналах и сопротивление создаваемое ворохом. Общей тенденции в конструктивном исполнении таких устройств, в отличие от питающих устройств каналов дорешетной аспирации, не наблюдается. Исключение составляет принцип, реализованный на машинах нескольких серий фирм Cimbria Heid и Petkus [336, 340]. Канал послерешетной аспирации на этих машинах делится на две части, с расширением первой части, по ходу движения вороха, в сторону решетного стана. Ворох собирается на нижнем сортировальном или подсевном решетках и поступает на продолжение этого решета, представляющее собой воздухопроницаемую сетчатую поверхность. Эта поверхность

закрепляется на решетном стане и совершает колебания в одинаковом с ним режиме. На наклонной входной стенке канала и стенке, расположенной со стороны выхода вороха, располагаются подвижные герметизирующие клапаны. По заказу фирмы могут комплектовать машины автоматической системой установки и поддержания положения клапанов в зависимости от толщины слоя вороха, которая улавливается сенсорными датчиками. Передняя входная часть канала представляет собой практически зону псевдоожижения и способствует более эффективному расслоению компонентов по плотности.

Одним из перспективных путей снижения энергозатрат на работу пневмосистем можно считать исследования проводимые учеными Северо-Восточного региона по использованию пневмофракционного режима работы пневмосистемы с одним пневмосепарирующим каналом. Разделение вороха вынесенного воздушным потоком проводится при этом в секционной осадочной камере [34, 229, 233]

Н. В. Жолобов и Б.Ю. Блинов [94, 95] предлагают использовать пневмосепарирующий канал переменного сечения позволяющий снизить расход воздуха на 18...27% при уменьшении мощности потребляемой вентилятором на 33 %.

Более эффективно вопрос уменьшения энергозатрат на работу вентилятора в разомкнутой пневмосистеме решен в пневмосистемах машин серии TAS фирмы Schmidt Seeger [335,343].

Таким образом, можно отметить следующее:

- подавляющее число универсальных машин имеют разомкнутую двухаспирационную пневмосистему обслуживаемую одним радиальным вентилятором;
- в качестве приемно-распределительных устройств применяются бункера со скатными поверхностями, обеспечивающие предварительное распределение зернового вороха по ширине пневмосистем;

- для подачи вороха непосредственно в канал дорешетной очистки используются гравитационные клапаны, питающие валики или их комбинация с виброклапанами;
- заслуживает внимания принцип подачи зернового вороха в канал послерешетной аспирации посредством колеблющейся поверхности с зоной псевдоожижения;
- при выборе канала послерешетной аспирации предпочтение отдается вертикальным каналам, а от их длины зависит четкость пневмосепарации;
- высокая удельная энергоемкость на привод вентилятора пневмосистемы достигающая 0,45...0,5 кВт/т предопределяет необходимость изыскания возможных путей снижения энергозатрат без ухудшения качественных показателей работы.

1.5. Краткий обзор теоретических исследований по пневмосепарации

При разработке пневмосепарирующих систем зерноочистительных машин необходимо знать распределение скоростей воздушного потока по сечению элементов, что служит основой для определения траекторий движения компонентов зернового вороха в пневмосепарирующих каналах и осадочных камерах, и в конечном итоге определения размеров пневмосистем и их элементов. Перемещение зерновок в воздушном потоке рассматривалось А.Я. Малисом, А.С. Демидовым [156], А.И. Нелюбовым, Е.Ф. Ветровым [172], В.В. Гортинским, Р.Б. Демским, М.А. Борискиным [62], Н.И. Косиловым, В.В. Пивень [136, 141, 143], Н. П. Сычуговым, А.И. Бурковым [30], А. В. Алешкиным [10], В.Е. Саитовым [229], и другими учеными [345, 346].

Чаще всего рассматривалось перемещение обособленных компонентов вороха, как отдельных изолированных частиц без учета их влияния на воздушный поток, как несущую среду и взаимодействие между собой [32, 62, 207, 230]. При использовании такого подхода в некоторых работах вносятся поправки эмпирического характера на взаимодействие частиц между собой и

с воздушным потоком [163, 209]. Результатом такого подхода являются траектории перемещения отдельных изолированных компонентов вороха со своими аэродинамическими свойствами, которые в основном характеризуются коэффициентом парусности, определяемым опытным путем.

А.И. Нелюбов и Е.Ф. Ветров в работе [172] рассматривают перемещение частиц потоком воздуха на основе решения системы уравнений в подвижной системе координат. Система уравнений в вертикальном потоке для неподвижной системы координат приведена в работе [62]. В систему уравнений при формализации задачи заложено постоянное поле скоростей воздушного потока по длине и глубине канала.

Решения системы уравнений многие исследователи предлагают в виде степенных рядов, получив при этом дифференциальное уравнение с одной переменной [10, 29, 62, 171].

В.Г. Чумаковым [312] решение дифференциальных уравнений движения компонентов вороха в наклонном воздушном потоке так же проведено методом Рунге-Кутты.

А.В. Коновалов [124] предложил коэффициент парусности для частиц эллипсоидной формы в горизонтальном потоке, определять с учетом поправочного коэффициента на основе его значений для вертикального потока. Этот коэффициент он назвал коэффициентом стабильности k_c . Умножение на его значение уточняет коэффициент парусности для горизонтального потока.

Ю.В. Сычуговым [267] для расчета полей скоростей воздушного потока в пневмосепарирующем канале и инерционном пылеуловителе применен метод конечных элементов. Матрицы конечных элементов составлены на основе гармонического уравнения Лапласа.

В.Е. Саитовым [233] на основе решения дифференциальных уравнений для единичной частицы получено выражение определяющее высоту компонентов зернового вороха на входе в пневмосепарирующий канал при подаче пневмоожижающим устройством.

И.А. Маяцкая и Б.М. Демченко [157, 158] получили уравнения поверхности зерновок пшеницы и ржи как эллипсоидов вращения с учетом длины и толщины зерновок.

Работы Н.П. Тишанинова [287 - 291] посвящены исследованию и оптимизации процесса разделения компонентов зерновых смесей ячеистыми поверхностями триерных цилиндров и совершенствованию процесса деления потока сыпучих материалов [286].

Н.И. Косиловым, В.В. Пивень и В.В. Волынкиным в работе [141] учтено взаимодействие крупных солоmistых примесей и полноценных зерновок в горизонтальном пневмосепарирующем канале. Получено выражение, позволяющее определить общее число соударений зерновок с крупными примесями в делительной камере с горизонтальным воздушным потоком в зависимости от скорости их движения и концентрации компонентов вороха или подачи.

1.6. Содержание проблемы и задачи исследования

Центрально-Черноземный регион относится к регионам России производящим основную часть зерна в стране. В последние годы произошли значительные изменения в технологиях возделывания зерновых культур в регионе и стране. На смену затратным технологиям постепенно приходят минимальные энергосберегающие с расширением применения химических средств. Переход к почвозащитным технологиям наряду с появлением новых сортов и современной производительной уборочной техники позволил поднять урожайность зерновых, качество зерна и снизить засоренность получаемого комбайнового вороха. Такой ворох может обрабатываться на товарные цели без предварительной очистки на универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машинах.

Сдерживающим фактором в расширении производства качественного зерна является состояние системы послеуборочной обработки. Основная часть урожая зерновых, как и в предыдущие годы, обрабатывается на зерно-

очистительных агрегатах и реже зерносушильных комплексах, спроектированных в 60...70 годы прошлого столетия. Реализация поточной технологии послеуборочной обработки на этих агрегатах в настоящее время затруднена из-за их невысокой производительности, устаревшей конструкции и технического состояния.

Проводимая в настоящее время реконструкция зерноочистительных агрегатов и семяочистительных линий наряду с увеличением объема приемных устройств, возможности доставки зернового вороха и обслуживания линий с использованием большегрузных транспортных средств, предусматривает также замену основного технологического оборудования.

В крупных агропромышленных предприятиях России в настоящее время успешно работают поточные зерно- и семяочистительные линии (семенные заводы) как спроектированные Российскими проектными организациями и оборудованные большей частью технологическим оборудованием ведущих фирм производителей зерноочистительной техники, так и построенные ведущими фирмами производителями зерноочистительной техники «под ключ». Отличительной особенностью таких линий является наличие оборудования для временного и длительного хранения зерна с возможностью активного вентилирования, подача очищаемого материала после первичной очистки на временное или длительное хранение, возможность подготовки семян в потоке с их предпосевной обработкой перед затариванием или при возврате зернового вороха из хранилищ после первичной очистки. Вместимость оборудования для хранения, как правило, соответствует годовой (сезонной) загрузке линии.

По мнению многих ученых фракционная технология послеуборочной обработки является наиболее перспективной с точки зрения снижения механических воздействий на зерно и его повреждения, снижения затрат труда и энергии на послеуборочную обработку. В зависимости от физико-механических свойств зерна основной культуры и примесей в качестве основных признаков фракционирования чаще всего предлагаются разделение

по аэродинамическим свойствам в пневмосепарирующих каналах и по размерным характеристикам на решетках. Разделение зернового материала на фракции необходимо проводить уже на этапе первичной очистки зерна с выделением в отдельную фракцию крупных и мелких примесей, мелкого, щуплого и биологически неполноценного зерна основной культур.

Основу поточных линий для послеуборочной обработки зерна составляют универсальные воздушно-решетные машины. Предпочтение отдается универсальным воздушно-решетным машинам с плоскими решетками и пневмосистемами имеющими, как каналы дорешетной, так и каналы послерешетной очистки. Подавляющее большинство высокопроизводительных машин ведут разделение зернового вороха по размерам на три фракции, с выделением крупных, мелких примесей или крупных примесей и фуражного зерна. Общей тенденцией в конструкции универсальных высокопроизводительных машин является установка в одном ярусе решет одного назначения, с выносом колосовых решет в отдельный ярус или даже отдельный решетный стан со своим углом наклона.

Большинство универсальных машин имеют разомкнутую двухаспирационную пневмосистему обслуживаемую одним радиальным вентилятором, с предварительным распределением зернового вороха по ширине пневмосистем скатными поверхностями, установленными непосредственно в приемном бункере и подачей вороха в канал дорешетной очистки гравитационными клапанами, питающими валиками или их комбинацией с виброклапанами.

Высокая удельная энергоемкость на привод вентилятора пневмосистемы достигающая 0,45...0,5 кВт/т предопределяет необходимость изыскания возможных путей снижения энергозатрат без ухудшения качественных показателей работы. Исходя из этого, были сформулированы цель и научная гипотеза.

Цель работы:

Повышение производительности универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин, работающих по фракционной технологии за счет совершенствования рабочих органов и режимов их работы.

Для достижения поставленной цели предусматривалось решение следующих задач исследования:

- теоретически обосновать и подтвердить пути повышения производительности универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин, работающих по фракционной технологии, выдвинутые в научной гипотезе;
- разработать принципиальную конструктивно-технологическую схему двухаспирационной пневмосистемы с одним воздушным потоком позволяющую повысить эффективность выделения примесей без увеличения расхода воздуха и энергозатрат, обосновать ее рациональные параметры и режим работы;
- на основании аналитических и экспериментальных исследований обосновать рациональное соотношение площади решет в решетных станах, исходя из их назначения, и схему их размещения в решетных станах;
- разработать и обосновать общую конструктивно-технологическую схему универсальной воздушно-решетной зерноочистительной машины;
- установить взаимосвязь качественных выходных параметров обработки зернового вороха при его фракционировании с параметрами и режимами работы рабочих органов зерноочистительной машины.

2. Прогнозирование повышения производительности универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин

2.1. Распределение зернового вороха по толщине и скорости витания компонентов, как система двух случайных величин

Фракционная технология очистки зерна заключается в разделении зернового вороха по одному или нескольким наиболее существенным признакам на фракции с целью получения высококачественного зерна во фракции основного целевого назначения. Выбор нескольких признаков для фракционирования обусловлен физико-механическими свойствами исходного вороха сельскохозяйственных культур, в силу которых выделение неполноценного зерна и других компонентов вороха только по одному из признаков практически невозможно. В то же время использование более двух признаков при фракционировании значительно усложнит конструкцию зерноочистительных машин. В настоящее время при очистке зерна на товарные и семенные цели наибольшее применение находят универсальные воздушно-решетные машины. В качестве основного признака фракционирования, как правило, выбирают тот, который позволяет на более ранней стадии обработки отделить большую часть зерна, непригодного для целевого назначения. Основным признаком фракционирования при использовании универсальных воздушно-решетных машин чаще всего выбирают толщину зерновки, а рабочим органом решета с прямоугольными отверстиями. В качестве второго признака при фракционировании выбирают аэродинамические свойства компонентов вороха (скорость витания компонентов), а рабочим органом пневмосепарирующие каналы послерешетной аспирации различной конструкции.

Распределение компонентов комбайнового вороха озимой пшеницы по толщине зерновок и скорости витания по классам представлено в таблице Приложения А.

Используя известные математические зависимости, были определены статистические числовые характеристики распределения компонентов вороха

по толщине и скорости витания компонентов, которые представлены в таблице 2.1:

$$\text{статистическое среднее (мат. ожидание): } m_x^* = \sum_{i=1}^k x_i \cdot p_i^*; \quad (2.1)$$

$$\text{статистическая дисперсия: } D_x^* = \sum_{i=1}^k (x_i - m_x^*)^2 \cdot p_i^*; \quad (2.2)$$

$$\text{статистическое среднеквадратическое отклонение: } \sigma_x^* = \sqrt{D_x^*}; \quad (2.3)$$

$$\text{статистическая асимметрия: } Sk_x^* = \frac{\mu_{x3}^*}{\sigma_x^{*3}}; \quad (2.4)$$

$$\text{где третий центральный момент: } \mu_{x3}^* = \sum_{i=1}^k (x_i - m_x^*)^3 \cdot p_i^*; \quad (2.5)$$

$$\text{эксцесс: } E_x = \frac{\mu_{x4}^*}{\sigma_x^{*4}} \quad (2.6)$$

$$\text{корреляционный момент: } K_{xy}^* = \sum_{i,j} x_i \cdot y_j \cdot p_{ij}^* - m_x^* \cdot m_y^*; \quad (2.7)$$

$$\text{коэффициент корреляции: } r_{xy}^* = \frac{K_{xy}^*}{\sigma_x^* \cdot \sigma_y^*}. \quad (2.8)$$

Таблица 2.1 - Статистические характеристики распределения компонентов вороха по толщине и скорости витания

Признак разделения	Статистическое среднее	Статистическое среднеквадратическое отклонение	Статистическая асимметрия	Эксцесс	Коэффициент корреляции
Толщина компонентов, b_i , мм	$m_b^* = 2,616 \text{ мм}$	$\sigma_b^* = 0,345 \text{ мм}$	$Sk_b^* = -0,656$	$E_b = 0,175$	$r_{bv}^* = 0,458$
Скорость витания, V_i , м/с	$m_v^* = 8,885 \text{ м/с}$	$\sigma_v^* = 1,03 \text{ м/с}$	$Sk_v^* = -1,111$	$E_v = 1,775$	

Анализ представленных в таблице 2.1 значений статистической асимметрии, как для толщины компонентов, так и для скорости витания показывает смещение плотности распределения в отрицательную сторону относительно статистических средних толщины и скорости витания компонентов

вороха. Это подтверждает наличие в ворохе кроме зерновых компонентов основной культуры незерновых компонентов, дробленого зерна и засорителей имеющих толщину и скорость витания меньше статистических средних значений этих показателей для зерна основной культуры. Значение статистического эксцесса толщины компонентов близко к «0», что говорит о близости плотности распределения нормальному закону. Значение статистического эксцесса скорости витания $E_v = 1,775 > 0$, что требует проверки соответствия плотности распределения нормальному закону с использованием критериев согласия.

Для проверки гипотезы о соответствии распределения толщины и скорости витания компонентов исходного вороха нормальному закону использовали критерий Пирсона (χ^2):

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(p_i^* - P_{mi})^2}{P_{mi}}, \quad (2.9)$$

где P_{mi} - теоретическая (табличная) вероятность попадания толщины и скорости витания компонентов в i - класс.

$$P_{mi} = \Phi\left(\frac{x_{i+1} - m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_i - m}{\sigma}\right), \quad (2.10)$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа или интегральная нормальная функция распределения.

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (2.11)$$

Число степеней свободы для определения табличного значения критерия Пирсона определяли по формуле:

$$r = k - s, \quad (2.12)$$

где k – число разрядов или классов; s - число наложенных связей, ($s=3$).

Результаты расчетов представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Расчетные и табличные значения критерия Пирсона

Признак разделения	Число рядов k	Число степеней свободы r	Расчетное значение χ^2	Табличное значение χ^2	Вероятность p
Толщина компонентов, b_i , мм	11	8	0,2046	1,646	0,99
Скорость витания, V_i , м/с	14	11	5,839	5,68	0,90
				6,99	0,80

В результате расчетов установлено, что гипотезы о соответствии распределения толщины и скорости витания зерновок нормальным законам распределения можно считать правдоподобными.

На рисунках 2.1 и 2.2 представлены статистические и теоретические плотности распределения толщины и скорости витания компонентов зернового вороха.

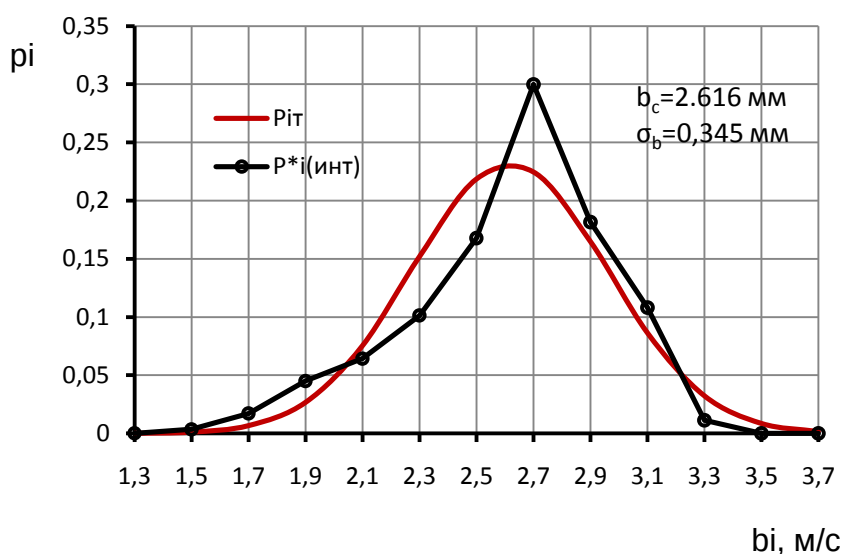


Рисунок 2.1 – Статистическая и теоретическая плотности распределения толщины компонентов зернового вороха

Расхождения между статистическими и теоретическими плотностями распределения наблюдаются большей частью в области лежащей левее средней толщины компонентов вороха и левее средней скорости витания компонентов вороха, что и подтверждено расчетом статистической асимметрии.

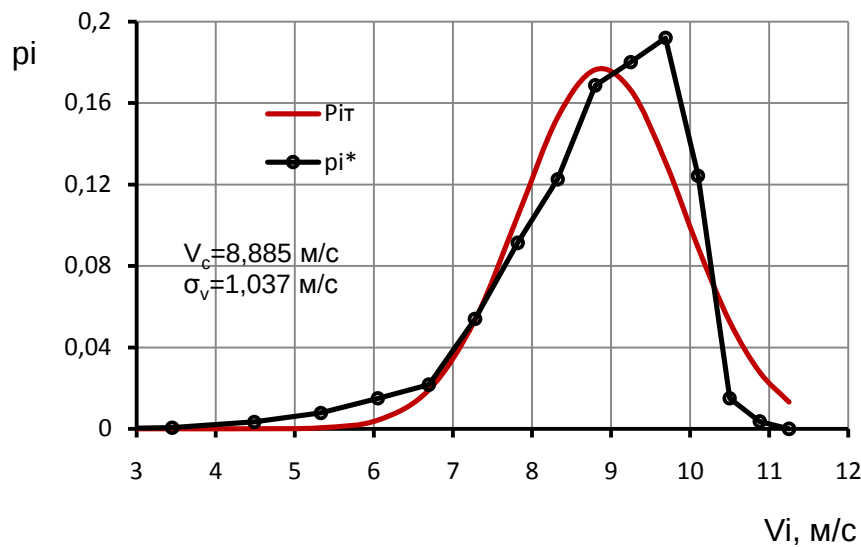


Рисунок 2.2 – Статистическая и теоретическая плотности распределения скорости витания компонентов зернового вороха

Таким образом, распределение компонентов зернового вороха по толщине и скорости витания можно рассматривать как систему двух случайных величин, каждая из которых в отдельности распределена по нормальному закону распределения. О наличии зависимости между толщиной компонентов вороха и их скоростью витания можно судить по значению корреляционного момента и коэффициента корреляции, который может принимать значения $-1 \leq r_{bV} \leq +1$. Расчет корреляционного момента и коэффициента корреляции представлены в таблице 2.1. Коэффициент корреляции толщины компонентов вороха и их скоростей витания, как случайных величин распределенных по нормальным законам составляет $r_{bV}^* = 0,458$.

Значение коэффициента корреляции говорит об отсутствии простой линейной связи между толщиной компонентов вороха и скоростью их витания вида: $y = a \cdot x + b$. Вместе с тем достаточно большое положительное значение коэффициента корреляции говорит о том, что при увеличении или уменьшении одного из признаков (толщина компонентов вороха или их ско-

рость витания) другой (скорость витания или толщина) в среднем тоже имеет тенденцию к росту или уменьшению.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что получение высококачественного зерна основной фракции за счет выделения биологически неполноценного, мелкого и дробленого зерна основной культуры, засорителей и незерновых компонентов только по одному признаку разделения невозможно. Наличие положительной корреляционной взаимосвязи между толщиной и скоростью витания компонентов вороха предопределяет выделение определенной их части как по толщине на решетках, так и по скорости витания в пневмосепарирующих каналах.

2.2. Определение вероятности содержания в ворохе компонентов подлежащих выделению в фуражную фракцию по классам

Рассматривая распределение компонентов зернового вороха по толщине и скорости витания как систему двух случайных величин, каждая из которых распределена по нормальному закону распределения можно определить теоретическую вероятность содержания зернового вороха, который должен быть выделен в фуражную фракцию при использовании сортировальных решет с шириной отверстий $b_p = b_c$, и скорости воздушного потока в пневмосепарирующем канале $V = V_k$.

$$P_\phi = P\{b_i < b_c; V_i > V_k\} + P\{b_i > b_c; V_i < V_k\} + P\{b_i < b_c; V_i < V_k\} \quad (2.13)$$

где $P\{b_i < b_c; V_i > V_k\}$ - вероятность содержания компонентов вороха выделяемого только сортировальным решето; $P\{b_i > b_c; V_i < V_k\}$ - вероятность содержания компонентов вороха выделяемого только пневмосепарирующим каналом; $P\{b_i < b_c; V_i < V_k\}$ - вероятность содержания компонентов вороха выделяемого сортировальным решето и пневмосепарирующим каналом.

С учетом взаимосвязи толщины компонентов вороха и их скорости витания, а так же теоремы о сложении вероятностей теоретическую вероят-

ность содержания зернового вороха, который должен быть выделен в фуражную фракцию можно записать в следующем виде:

$$P_{\phi} = P(b_i < b_c) + P(V_i < V_k) - P(b_i < b_c) \cdot P(V_i < V_k). \quad (2.14)$$

Вероятность содержания компонентов вороха, выделяемого сортировальными решетками, можно определить, используя функцию Лапласа:

$$\begin{aligned} P(b_{\min} < b_i < b_c) &= \Phi\left(\frac{b_c - m_b}{\sigma_b}\right) - \Phi\left(\frac{b_{\min} - m_b}{\sigma_b}\right) = \Phi\left(\frac{b_c - m_b}{\sigma_b}\right) - \Phi\left(\frac{m_b - 3 \cdot \sigma_b - m_b}{\sigma_b}\right) = \\ &= \Phi\left(\frac{b_c - m_b}{\sigma_b}\right) - \Phi(-3). \end{aligned} \quad (2.15)$$

где $b_{\min}$ - минимальная толщина компонентов зернового вороха, мм,
 $b_{\min} \approx m_b - 3 \cdot \sigma_b$.

Аналогично можно определить вероятность содержания компонентов вороха, выделяемого пневмосепарирующим каналом:

$$P(V_{\min} < V_i < V_k) = \Phi\left(\frac{V_k - m_V}{\sigma_V}\right) - \Phi\left(\frac{V_{\min} - m_V}{\sigma_V}\right) = \Phi\left(\frac{V_k - m_V}{\sigma_V}\right) - \Phi(-3). \quad (2.16)$$

С учетом выражений 2.15 и 2.16 теоретическая вероятность содержания зернового вороха, который должен быть выделен в фуражную фракцию, определится из выражения:

$$\begin{aligned} P_{\phi} &= \Phi\left(\frac{b_c - m_b}{\sigma_b}\right) + \Phi\left(\frac{V_k - m_V}{\sigma_V}\right) - 2 \cdot \Phi(-3) - \Phi\left(\frac{b_c - m_b}{\sigma_b}\right) \cdot \Phi\left(\frac{V_k - m_V}{\sigma_V}\right) + \\ &+ \Phi\left(\frac{V_k - m_V}{\sigma_V}\right) \cdot \Phi(-3) + \Phi\left(\frac{b_c - m_b}{\sigma_b}\right) \cdot \Phi(-3) - \Phi^2(-3) = \\ &= \left[\Phi\left(\frac{b_c - m_b}{\sigma_b}\right) + \Phi\left(\frac{V_k - m_V}{\sigma_V}\right) \right] \cdot [1 + \Phi(-3)] - \Phi\left(\frac{b_c - m_b}{\sigma_b}\right) \cdot \Phi\left(\frac{V_k - m_V}{\sigma_V}\right) - \\ &- 2 \cdot \Phi(-3) - \Phi^2(-3). \end{aligned} \quad (2.17)$$

Выражение 2.17 позволяет определить теоретическую вероятность содержания в исходном зерновом ворохе той его части, которая при выборе соответствующих параметров (ширины отверстий сортировальных решет и

скорости воздушного потока в пневмосепарирующем канале) должна быть выделена в фуражную фракцию при полном выделении по обоим признакам.

С учетом полного выделения фуражной фракции можно определить числовые характеристики оставшегося в основной фракции зернового вороха: среднюю толщину компонентов вороха и ее среднеквадратическое отклонение; среднюю скорость витания компонентов и ее среднеквадратическое отклонение.

Среднюю толщину оставшихся компонентов зернового вороха можно определить по формуле:

$$m_b^* = \frac{\sum_{i=n}^k b_i \cdot p_i^*}{1 - P(b_{\min} < b_i < b_c)}; \quad (2.18)$$

где n – разряд или класс по толщине следующий за b_c .

Среднеквадратическое отклонение толщины оставшихся компонентов зернового вороха можно определить по формуле

$$\sigma_b^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=n}^k (b_i - m_b^*)^2 \cdot p_i^*}{1 - P(b_{\min} < b_i < b_c)}}; \quad (2.19)$$

Среднюю скорость витания оставшихся компонентов зернового вороха можно определить по формуле:

$$m_v^* = \frac{\sum_{i=m}^{k1} V_i \cdot p_i^*}{1 - P(V_{\min} < V_i < V_k)}; \quad (2.20)$$

где m – разряд или класс, по толщине следующий за V_k .

Среднеквадратическое отклонение толщины оставшихся компонентов зернового вороха можно определить по формуле

$$\sigma_v^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=m}^{k1} (V_i - m_v^*)^2 \cdot p_i^*}{1 - P(V_{\min} < V_i < V_k)}}; \quad (2.21)$$

Теоретическую вероятность содержания в исходном ворохе компонентов подлежащих выделению в отходовую и фуражную фракции можно представить по аналогии с выражением 2.14 в следующем виде:

$$P_{\phi,o} = P\{b_i < b_n\} + P\{b_n \leq b_i < b_c\} + P\{V_j < V_d\} + P\{V_d \leq V_j < V_n\} - \\ - P\{b_i < b_n; V_j < V_d\} - P\{b_i < b_n; V_d < V_j < V_n\} - P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j < V_d\} - \\ - P\{b_n \leq b_i < b_c; V_d \leq V_j < V_n\}, \quad (2.22)$$

где $P\{b_i < b_n\}$ - теоретическая вероятность содержания в исходном ворохе компонентов с толщиной меньше ширины отверстий подсевного решета; $P\{b_n \leq b_i < b_c\}$ - теоретическая вероятность содержания в исходном ворохе компонентов с толщиной больше ширины отверстий подсевного решета, но меньше ширины отверстий сортировального решета; $P\{V_j < V_d\}$ - теоретическая вероятность содержания в исходном ворохе компонентов со скоростью витания меньше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации; $P\{V_d \leq V_j < V_n\}$ - теоретическая вероятность содержания в исходном ворохе компонентов со скоростью витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, но меньше скорости, установленной в канале послерешетной аспирации; $P\{b_i < b_n; V_j < V_d\}$ - теоретическая вероятность содержания в исходном ворохе компонентов с толщиной меньше ширины отверстий подсевного решета и скоростью витания меньше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации; $P\{b_i < b_n; V_d < V_j < V_n\}$ - теоретическая вероятность содержания в исходном ворохе компонентов с толщиной меньше ширины отверстий подсевного решета и скоростью витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, но меньше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной аспирации; $P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j < V_d\}$ - теоретическая вероятность содержания в исходном ворохе компонентов с толщиной больше ширины отверстий

подсевного решета, меньше ширины отверстий сортировального решета и скоростью витания меньше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации; $P\{b_n \leq b_i < b_c; V_d \leq V_j < V_n\}$ - теоретическая вероятность содержания в исходном ворохе компонентов с толщиной больше ширины отверстий подсевного решета, меньше ширины отверстий сортировального решета и скоростью витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, но меньше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной аспирации.

Разделение компонентов вороха, которые должны быть выделены в фуражную фракцию, на классы дает представление об их распределении и дальнейшей возможности выделения рабочими органами при перемещении вороха в машине.

Теоретическую вероятность содержания в исходном ворохе компонентов вороха с толщиной меньше ширины отверстий подсевного решета можно рассматривать как сумму вероятностей:

$$P\{b_i < b_n\} = P\{b_i < b_n; V_j < V_d\} + P\{b_i < b_n; V_d < V_j < V_n\} + P\{b_i < b_n; V_j > V_n\}, \quad (2.23)$$

где $P\{b_i < b_n; V_j > V_n\}$ - вероятность содержания в исходном ворохе компонентов с толщиной меньше ширины отверстий подсевного решета и скоростью витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной аспирации.

Теоретическую вероятность содержания в исходном ворохе компонентов вороха с толщиной больше ширины отверстий подсевного решета, но меньше ширины отверстий сортировального решета можно рассматривать как сумму вероятностей:

$$P\{b_n \leq b_i < b_c\} = P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j < V_d\} + P\{b_n \leq b_i < b_c; V_d \leq V_j < V_n\} + P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j > V_n\}, \quad (2.24)$$

где $P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j > V_n\}$ - вероятность содержания в исходном ворохе компонентов с толщиной больше ширины отверстий подсевного решета, меньше ширины отверстий сортировального решета и скоростью витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной аспирации.

Теоретическую вероятность содержания в исходном ворохе компонентов вороха со скоростью витания меньше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации можно рассматривать как сумму вероятностей:

$$P\{V_j < V_d\} = P\{V_j < V_d; b_i < b_n\} + P\{V_j < V_d; b_n < b_i < b_c\} + P\{V_j < V_d; b_i > b_c\}, \quad (2.25)$$

где $P\{V_j < V_d; b_i > b_c\}$ - вероятность содержания в исходном ворохе компонентов со скоростью витания меньше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации и с толщиной больше ширины отверстий сортировального решета.

Теоретическую вероятность содержания в исходном ворохе компонентов вороха со скоростью витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, но меньше скорости витания, установленной в канале послерешетной аспирации можно рассматривать как сумму вероятностей:

$$P\{V_d \leq V_j < V_n\} = P\{V_d \leq V_j < V_n; b_i < b_n\} + P\{V_d \leq V_j < V_n; b_n < b_i < b_c\} + P\{V_d \leq V_j < V_n; b_i > b_c\} \quad (2.26)$$

где $P\{V_d \leq V_j < V_n; b_i > b_c\}$ - вероятность содержания в исходном ворохе компонентов со скоростью витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, но меньше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной аспирации и с толщиной больше ширины отверстий сортировального решета.

Выражение 2.22 для определения теоретической вероятности содержания в исходном ворохе компонентов, подлежащих выделению в отходовую и фуражную фракции, с учетом выражений 2.23, 2.24, 2.25, 2.26, примет вид:

$$P_{\phi,o} = P\{b_i < b_n; V_j < V_d\} + P\{b_i < b_n; V_d < V_j < V_n\} + P\{b_i < b_n; V_j > V_n\} + \\ + P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j < V_d\} + P\{b_n \leq b_i < b_c; V_d \leq V_j < V_n\} + P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j > V_n\} + \\ + P\{V_j < V_d; b_i > b_c\} + P\{V_d \leq V_j < V_n; b_i > b_c\}. \quad (2.27)$$

Вероятность содержания в исходном ворохе компонентов, имеющих определенные параметры, можно определить по аналогии с выражениями 2.15 и 2.16 используя функции Лапласа для распределения компонентов исходного вороха по толщине и скорости витания.

Вероятность содержания компонентов вороха, имеющих скорость витания меньше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, и толщину меньше ширины отверстий подсевного решета, можно определить из выражения:

$$P\{b_i < b_n; V_j < V_d\} = \left[\Phi\left(\frac{b_n - m_b}{\sigma_b}\right) - \Phi\left(\frac{b_{\min} - m_b}{\sigma_b}\right) \right] \cdot \left[\Phi\left(\frac{V_d - m_v}{\sigma_v}\right) - \Phi\left(\frac{V_{\min} - m_v}{\sigma_v}\right) \right] \quad (2.28)$$

Вероятность содержания компонентов вороха, имеющих толщину меньше ширины отверстий подсевного решета, и скорость витания больше скорости воздушного потока установленной в канале дорешетной аспирации, но меньше скорости воздушного потока установленной в канале послерешетной аспирации, можно определить из выражения:

$$P\{b_i < b_n; V_d \leq V_j < V_n\} = \left[\Phi\left(\frac{b_n - m_b}{\sigma_b}\right) - \Phi\left(\frac{b_{\min} - m_b}{\sigma_b}\right) \right] \cdot \left[\Phi\left(\frac{V_n - m_v}{\sigma_v}\right) - \Phi\left(\frac{V_d - m_v}{\sigma_v}\right) \right] \quad (2.29)$$

Вероятность содержания компонентов вороха, имеющих толщину меньше ширины отверстий подсевного решета, и скорость витания больше скорости воздушного потока установленной в канале послерешетной аспирации, можно определить из выражения:

$$P\{b_i < b_n; V_j \geq V_n\} = \left[\Phi\left(\frac{b_n - m_b}{\sigma_b}\right) - \Phi\left(\frac{b_{\min} - m_b}{\sigma_b}\right) \right] \cdot \left[\Phi\left(\frac{V_{\max} - m_v}{\sigma_v}\right) - \Phi\left(\frac{V_n - m_v}{\sigma_v}\right) \right] =$$

$$\left[\Phi\left(\frac{b_n - m_b}{\sigma_b}\right) - \Phi\left(\frac{b_{\min} - m_b}{\sigma_b}\right) \right] - P\{b_i < b_n; V_j < V_d\} - P\{b_i < b_n; V_d \leq V_j < V_n\}. \quad (2.30)$$

Вероятность содержания в исходном ворохе компонентов с толщиной больше ширины отверстий подсевого решета, но меньше ширины отверстий сортировального решета и скоростью витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной аспирации можно определить из выражения:

$$P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j < V_d\} = \left[\Phi\left(\frac{b_c - m_b}{\sigma_b}\right) - \Phi\left(\frac{b_n - m_b}{\sigma_b}\right) \right] \cdot \left[\Phi\left(\frac{V_d - m_v}{\sigma_v}\right) - \Phi\left(\frac{V_{\min} - m_v}{\sigma_v}\right) \right] \quad (2.31)$$

Вероятность содержания в исходном ворохе компонентов, имеющих толщину больше ширины отверстий подсевого решета, но меньше ширины отверстий сортировального решета, и скорость витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, но меньше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной аспирации, можно определить из выражения:

$$P\{b_n \leq b_i < b_c; V_d \leq V_j < V_n\} = \left[\Phi\left(\frac{b_c - m_b}{\sigma_b}\right) - \Phi\left(\frac{b_n - m_b}{\sigma_b}\right) \right] \cdot \left[\Phi\left(\frac{V_n - m_v}{\sigma_v}\right) - \Phi\left(\frac{V_d - m_v}{\sigma_v}\right) \right] \quad (2.32)$$

Вероятность содержания в исходном ворохе компонентов, имеющих толщину больше ширины отверстий подсевого решета, но меньше ширины отверстий сортировального решета, и скорость витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной аспирации, можно определить из выражения:

$$P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j > V_n\} = \left[\Phi\left(\frac{b_c - m_b}{\sigma_b}\right) - \Phi\left(\frac{b_n - m_b}{\sigma_b}\right) \right] \cdot \left[\Phi\left(\frac{V_{\max} - m_v}{\sigma_v}\right) - \Phi\left(\frac{V_n - m_v}{\sigma_v}\right) \right] =$$

$$\left[\Phi\left(\frac{b_c - m_b}{\sigma_b}\right) - \Phi\left(\frac{b_n - m_b}{\sigma_b}\right) \right] - P\{b_n \leq b_i < b_{cn}; V_j < V_d\} - P\{b_n \leq b_i < b_c; V_d \leq V_j < V_n\}. \quad (2.33)$$

Вероятность содержания в исходном ворохе компонентов, имеющих толщину больше ширины отверстий сортировального решета, и скорость витания меньше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, можно определить по формуле:

$$P\{b_i \geq b_c; V_j < V_d\} = \left[\Phi\left(\frac{b_{\max} - m_b}{\sigma_b}\right) - \Phi\left(\frac{b_c - m_b}{\sigma_b}\right) \right] \cdot \left[\Phi\left(\frac{V_d - m_v}{\sigma_v}\right) - \Phi\left(\frac{V_{\min} - m_v}{\sigma_v}\right) \right] \quad (2.34)$$

Вероятность содержания в исходном ворохе компонентов, имеющих толщину больше ширины отверстий сортировального решета, и скорость витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, но меньше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной аспирации, можно определить по формуле:

$$P\{b_i \geq b_c; V_d \leq V_j < V_n\} = \left[\Phi\left(\frac{b_{\max} - m_b}{\sigma_b}\right) - \Phi\left(\frac{b_c - m_b}{\sigma_b}\right) \right] \cdot \left[\Phi\left(\frac{V_n - m_v}{\sigma_v}\right) - \Phi\left(\frac{V_d - m_v}{\sigma_v}\right) \right] \quad (2.35)$$

Используя выражения 2.28...2.35, и задавшись шириной отверстий сортировальных решет $b_c=2,6$ мм и скоростью воздушного потока в канале послерешетной аспирации $V_n=7,9$ м/с, был проведен расчет вероятностей содержания в исходном ворохе соответствующих компонентов. Результаты расчетов при ширине отверстий подсевого решета $b_n=2,0$ мм и скорости воздушного потока в канале дорешетной аспирации $V_d=6,1$ м/с представлены в таблице 2.3.

Анализ представленных в таблице теоретических вероятностей содержания в исходном ворохе компонентов, разбитых на классы по толщине и скорости витания показывает, что при общепринятом режиме работы универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин основная доля приходится на два класса. Первый по значимости и абсолютному весу класс - это компоненты с толщиной больше ширины отверстий подсевого решета и меньше ширины отверстий сортировального решета, и скоростью витания больше скорости, установленной в канале послерешетной очистки. Выделе-

ние компонентов вороха, входящих в этот класс при условии $b_n < b_c$ возлагается только на сортировальные решета.

Таблица 2.3 - Теоретические вероятности содержания компонентов вороха соответствующих классов, выделяемых в фуражную и отходовую фракции

Класс компонентов воро- ха по толщине и скорости витания	Вероятность содержания компонентов, $P\{b_i; V_j\}$		Рабочий орган для выделения
	В долях	В % от фураж- ной и отходовой фракций	
$b_i < b_n;$ $V_j < V_d$	0,0013	0,25	канал дорешетной аспирации; подсевное решето; сортировальное решето; канал послерешетной аспирации
$b_i < b_n;$ $V_d \leq V_j < V_n$	0,0115	2,23	подсевное решето; сортиро- вальное решето; канал после- решетной аспирации
$b_i < b_n;$ $V_j \geq V_n$	0,0531	10,29	подсевное решето; сортиро- вальное решето
$b_n \leq b_i < b_c;$ $V_j < V_d$	0,0065	1,26	канал дорешетной аспирации; сортировальное решето; канал послерешетной аспирации
$b_n \leq b_i < b_c;$ $V_d \leq V_j < V_n$	0,0582	11,28	сортировальное решето; канал послерешетной аспирации
$b_n \leq b_i < b_c;$ $V_j > V_n$	0,2688	52,11	сортировальное решето;
$b_i \geq b_c;$ $V_j < V_d$	0,0116	2,25	канал дорешетной аспирации; канал послерешетной аспира- ции
$b_i \geq b_c;$ $V_d \leq V_j < V_n$	0,1048	20,32	канал послерешетной аспира- ции
Итого:	0,5158	100	

Вероятность содержания компонентов этого класса, при использовании подсежных решет с шириной $b_n=2,0$ мм и сортировальных с шириной $b_c=2,6$ мм составляет 0,2688. Это составляет 52,11% от содержания всех компонентов, выделяемых в фуражную и отходовую фракции. Она зависит как от состава исходного вороха, так и от выбора параметров самих решет. На рисунке 2.3 представлена графическая зависимость содержания компонентов воро-

ха, подлежащих выделению только решетками по размерным характеристикам из основной фракции от ширины отверстий подсевного решета.

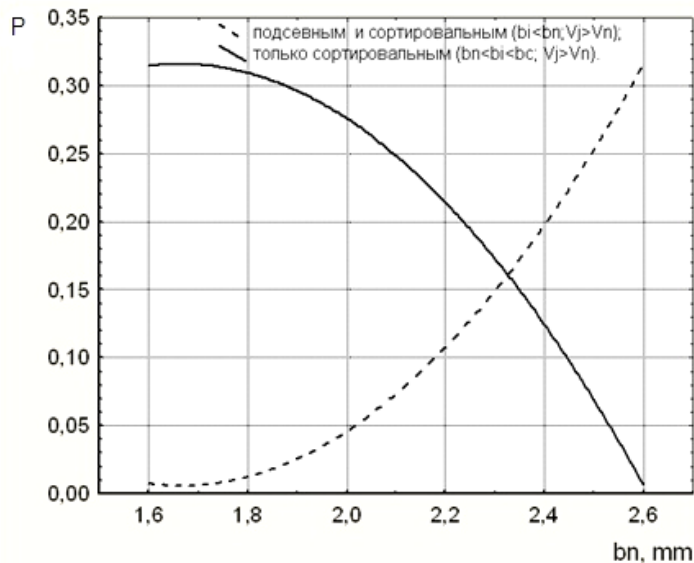


Рисунок 2.3 – Влияние ширины отверстий подсевного решета, на содержание компонентов вороха подлежащих выделению в фуражную и отходовую фракции только решетками

Как видно из рисунка 2.3 увеличение размеров отверстий подсевного решета при неизменных размерах отверстий сортировальных решет уменьшает вероятность содержания компонентов вороха подлежащих выделению только сортировальными решетками.

Так при увеличении ширины отверстий подсевного решета с 1,6 мм до 2,0 мм вероятность содержания компонентов, которые могут выделяться и подсевными, и сортировальными решетками выросла с 0,0029 до 0,0531. Увеличение ширины отверстий подсевного решета до 2,2 мм приводит к росту вероятности содержания этих компонентов до 0,1049 и соответственно снижению вероятности содержания компонентов приходящихся только на выделение сортировальными решетками до 0,2169. Дальнейшее увеличение ширины отверстий подсевного решета свыше 2,3 мм до ширины отверстий сортировального решета приводит к тому, что обе вероятности сравниваются, а затем вероятность содержания вороха выделяемого только сортировальными решетками становится меньшей. Таким образом, при неизменной вероятности

выделения компонентов вороха каждым решетом в отдельности следует ожидать роста общей вероятности выделения компонентов вороха по размерам в фуражную фракцию и улучшения качественных размерных характеристик основной фракции.

Второй класс по значимости - это компоненты с толщиной больше ширины отверстий сортировального решета, скоростью витания выше скорости, установленной в канале дорешетной аспирации и меньше скорости, установленной в канале послерешетной аспирации. Выделение этих компонентов, при условии $V_d < V_n$, возможно только в канале послерешетной очистки. Несмотря на меньшую, почти в 2,5 раза, вероятность содержания компонентов этого класса по сравнению с теми, что подлежат выделению сортировальными решетками, значимость его выделения при очистке является не менее важной. На рисунке 2.4 представлена графическая зависимость содержания компонентов вороха, подлежащих выделению только аспирационными системами дорешетной и послерешетной аспираций из основной фракции от скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки.

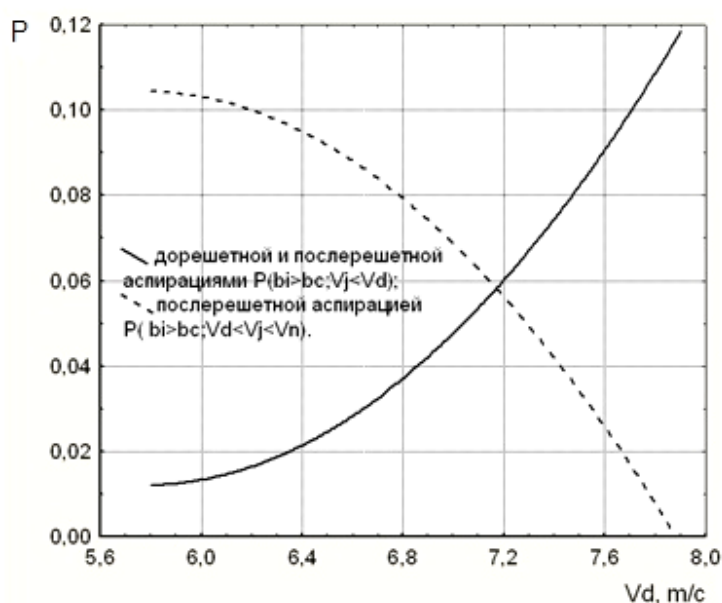


Рисунок 2.4 – Влияние скорости воздушного потока в канале дорешетной аспирации, на содержание компонентов вороха подлежащих выделению аспирацией

Как видно из рисунка 2.4 увеличение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки с 5,8 м/с до 7,1 м/с приводит к выравниванию вероятностей содержания компонентов вороха, которые могут выделяться каналами дорешетной и послерешетной очисток и компонентов вороха, которые могут выделяться только каналом послерешетной очистки. При сравнении скоростей воздушных потоков в обоих каналах все компоненты вороха, подлежащие выделению воздушным потоком, будут выделяться как в канале дорешетной очистки, так и в канале послерешетной очистки. При неизменной полноте выделения компонентов вороха каждым каналом в отдельности общая полнота выделения воздушным потоком будет увеличена, что скажется на качестве вороха основной фракции.

Меньший удельный вес занимает класс, куда относятся компоненты, имеющие толщину больше ширины отверстий подсевого решета, но меньше ширины отверстий сортировального решета, и скорость витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, но меньше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной аспирации. При ширине отверстий сортировальных решет $b_c=2,6$ мм и скорости воздушного потока в канале послерешетной аспирации $V_n=7,9$ м/с доля этого класса составляет 11,28% от всех подлежащих выделению компонентов. На рисунке 2.5 представлена графическая зависимость вероятности содержания компонентов этого класса в исходном ворохе от ширины отверстий подсевого решета и скорости воздушного потока в канале дорешетной аспирации.

2.3. Определение вероятности выделения компонентов вороха в фуражную фракцию по классам

При оценке теоретической доли зернового вороха, которая может быть выделена в фуражную фракцию при фракционировании по толщине на сортировальных решетках и скорости витания в пневмосепарирующих каналах необходимо учитывать полноту разделения компонентов вороха на каждом

рабочем органе в зависимости от схемы перемещения зернового вороха. Полнота разделения компонентов плоскими решетками зависит от множества факторов, таких как кинематические характеристики привода (амплитуда и частота колебаний стана) длина подвесок стана, угол направленности колебаний, угол наклона решета, типа отверстий решета и их забиваемости, коэффициента трения вороха по поверхности решета, состава вороха и его удельной подачи на решета. Основным фактором, влияющим на полноту разделения компонентов вороха решетками существующих машин при неизменности остальных можно считать удельную подачу. Полнота разделения компонентов вороха пневмосепарирующими каналами так же зависит от множества факторов. К ним можно отнести угол наклона канала, угол ввода вороха в канал по отношению к воздушному потоку, конструкция канала, распределение вороха по сечению канала, время взаимодействия компонентов вороха с воздушным потоком, концентрация компонентов вороха в зоне разделения канала, скорость воздушного потока, подача вороха в канал. Большая часть этих факторов связана с конструкцией пневмосистемы машин. Наиболее реально качество работы пневмосистемы и полноту выделения легковесных компонентов вороха можно изменять у существующих машин за счет изменения скорости воздушного потока и подачи вороха в канал.

При теоретической оценке доли вороха выделяемого в фуражную фракцию были приняты следующие допущения:

- вероятность выделения всех компонентов вороха решетками одинаковая, в случае если толщина компонентов вороха меньше ширины отверстий решета: $P(b_i < b_p) = P(b_{i-1} < b_p)$, при выполнении условия $b_{i-1} < b_i < b_p$, где i – класс компонентов вороха по толщине.

- вероятность выделения всех компонентов вороха воздушным потоком в пневмосепарирующем канале одинаковая, в случае если скорость витания компонентов вороха меньше установленной скорости воздушного потока в зоне разделения пневмосепарирующего канала: $P(V_j < V_k) = P(V_{j-1} < V_k)$,

при выполнении условия, $V_{j-1} < V_j < V_k$, где j – класс компонентов вороха по скорости витания.

Учитывая последовательность перемещения зернового вороха по рабочим органам воздушно-решетной зерноочистительной машины и полноту выделения соответствующих компонентов каждым рабочим органом можно определить теоретическую вероятность выделения компонентов в соответствующие фракции. Компоненты вороха, имеющие скорость витания меньше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, и толщину меньше ширины отверстий подсевного решета, могут быть выделены в канале дорешетной аспирации, подсевными решетами, сортировальными решетами и в канале послерешетной аспирации. Вероятность выделения этих компонентов можно определить по формуле:

$$\begin{aligned} P(b_i < b_n; V_j < V_d) = & P\{b_i < b_n; V_j < V_d\} \cdot P_{Vd} + P\{b_i < b_n; V_j < V_d\} \cdot (1 - P_{Vd}) \cdot P_{bn} + \\ & + P\{b_i < b_n; V_j < V_d\} \cdot (1 - P_{Vd}) \cdot (1 - P_{bn}) \cdot P_{bc} + \\ & + P\{b_i < b_n; V_j < V_d\} \cdot (1 - P_{Vd}) \cdot (1 - P_{bn}) \cdot (1 - P_{bc}) \cdot P_{Vn}, \end{aligned} \quad (2.36)$$

где P_{Vd} – вероятность выделения компонентов вороха в канале дорешетной аспирации; P_{bn} – вероятность выделения компонентов вороха подсевными решетами; P_{bc} – вероятность выделения компонентов вороха сортировальными решетами; P_{Vn} – вероятность выделения компонентов вороха в канале послерешетной аспирации.

Выражение 2.36 с учетом теорем теории вероятностей примет следующий вид:

$$\begin{aligned} P(b_i < b_n; V_j < V_d) = & P\{b_i < b_n; V_j < V_d\} \cdot (P_{Vd} + P_{bn} + P_{bc} + P_{Vn} - \\ & - P_{Vd} \cdot P_{bn} - P_{Vd} \cdot P_{bc} - P_{Vd} \cdot P_{Vn} - P_{bn} \cdot P_{bc} - P_{bn} \cdot P_{Vn} - P_{bc} \cdot P_{Vn} + P_{Vd} \cdot P_{bn} \cdot P_{bc} + \\ & + P_{Vd} \cdot P_{bn} \cdot P_{Vn} + P_{Vd} \cdot P_{bc} \cdot P_{Vn} + P_{bn} \cdot P_{bc} \cdot P_{Vn} - P_{Vd} \cdot P_{bn} \cdot P_{bc} \cdot P_{Vn}), \end{aligned} \quad (2.37)$$

Компоненты вороха, имеющие толщину меньше ширины отверстий подсевного решета, и скорость витания больше скорости воздушного потока установленной в канале дорешетной аспирации, но меньше скорости воз-

душного потока установленной в канале послерешетной аспирации, могут быть выделены подсевными, сортировальными решетками и в канале послерешетной аспирации. Вероятность выделения этих компонентов по аналогии с выражением 2.37 можно определить по формуле:

$$P(b_i < b_n; V_d \leq V_j < V_n) = P\{b_i < b_n; V_d \leq V_j < V_n\} \cdot (P_{bn} + P_{bc} + P_{Vn} - P_{bn} \cdot P_{bc} - P_{bn} \cdot P_{Vn} - P_{bc} \cdot P_{Vn} + P_{bn} \cdot P_{bc} \cdot P_{Vn}). \quad (2.38)$$

Компоненты вороха, имеющие толщину меньше ширины отверстий подсева решета, и скорость витания больше скорости воздушного потока установленной в канале послерешетной аспирации, могут быть выделены только подсевными и сортировальными решетками. Вероятность выделения этих компонентов можно определить по формуле:

$$P(b_i < b_n; V_j > V_n) = P\{b_i < b_n; V_j > V_n\} \cdot (P_{bn} + P_{bc} - P_{bn} \cdot P_{bc}). \quad (2.39)$$

Компоненты вороха, имеющие толщину больше ширины отверстий подсева решета, но меньше ширины отверстий сортировального решета и скорость витания меньше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, могут быть выделены в канале дорешетной аспирации, сортировальными решетками и в канале послерешетной аспирации. Вероятность выделения этих компонентов можно определить по формуле:

$$P(b_n \leq b_i < b_c; V_j < V_d) = P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j < V_d\} \cdot (P_{Vd} + P_{bc} + P_{Vn} - P_{Vd} \cdot P_{bc} - P_{Vd} \cdot P_{Vn} - P_{bc} \cdot P_{Vn} + P_{Vd} \cdot P_{bc} \cdot P_{Vn}). \quad (2.40)$$

Компоненты вороха, имеющие толщину больше ширины отверстий подсева решета, но меньше ширины отверстий сортировального решета, и скорость витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, но меньше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной аспирации, могут быть выделены сортировальными решетками и в канале послерешетной аспирации. Вероятность выделения этих компонентов можно определить по формуле:

$$P(b_n \leq b_i < b_c; V_d \leq V_j < V_n) = P\{b_n \leq b_i < b_c; V_d \leq V_j < V_n\} \cdot (P_{bc} + P_{vn} - P_{bc} \cdot P_{vn}). \quad (2.41)$$

Компоненты вороха, имеющие толщину больше ширины отверстий подсевого решета, но меньше ширины отверстий сортировального решета, и скорость витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной аспирации, могут быть выделены только сортировальными решетами. Вероятность выделения этих компонентов можно определить по формуле:

$$P(b_n \leq b_i < b_c; V_j > V_n) = P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j > V_n\} \cdot P_{bc}. \quad (2.42)$$

Компоненты вороха, имеющие толщину больше ширины отверстий сортировального решета, и скорость витания меньше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, могут быть выделены в канале дорешетной аспирации и канале послерешетной аспирации. Вероятность выделения этих компонентов можно определить по формуле:

$$P(V_j < V_d; b_i > b_c) = P\{V_j < V_d; b_i > b_c\} \cdot (P_{vd} + P_{vn} - P_{vd} \cdot P_{vn}). \quad (2.43)$$

Компоненты вороха, имеющие толщину больше ширины отверстий сортировального решета, и скорость витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации, но меньше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной аспирации, могут быть выделены только в канале послерешетной аспирации. Вероятность выделения этих компонентов можно определить по формуле:

$$P(V_d \leq V_j < V_n; b_i > b_c) = P\{V_d \leq V_j < V_n; b_i > b_c\} \cdot P_{vn}. \quad (2.44)$$

Вероятность выделения компонентов вороха, имеющих толщину меньше ширины отверстий сортировального решета, и скорость витания меньше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной аспирации в фуражную и отходовую фракции, с учетом выражений 2.29...2.36, можно определить по формуле:

$$\begin{aligned}
P_{\phi,o}(b_i < b_c; V_j < V_n) = & P\{b_i < b_n; V_j < V_d\} \cdot (P_{Vd} + P_{bn} + P_{bc} + P_{Vn} - \\
& - P_{Vd} \cdot P_{bn} - P_{Vd} \cdot P_{bc} - P_{Vd} \cdot P_{Vn} - P_{bn} \cdot P_{bc} - P_{bn} \cdot P_{Vn} - P_{bc} \cdot P_{Vn} + P_{Vd} \cdot P_{bn} \cdot P_{bc} + \\
& + P_{Vd} \cdot P_{bn} \cdot P_{Vn} + P_{Vd} \cdot P_{bc} \cdot P_{Vn} + P_{bn} \cdot P_{bc} \cdot P_{Vn} - P_{Vd} \cdot P_{bn} \cdot P_{bc} \cdot P_{Vn}) + \\
& + P\{b_i < b_n; V_d \leq V_j < V_n\} \cdot (P_{bn} + P_{bc} + P_{Vn} - P_{bn} \cdot P_{bc} - P_{bn} \cdot P_{Vn} - \\
& - P_{bc} \cdot P_{Vn} + P_{bn} \cdot P_{bc} \cdot P_{Vn}) + P\{b_i < b_n; V_j > V_n\} \cdot (P_{bn} + P_{bc} - P_{bn} \cdot P_{bc}) + \\
& + P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j < V_d\} \cdot (P_{Vd} + P_{bc} + P_{Vn} - P_{Vd} \cdot P_{bc} - P_{Vd} \cdot P_{Vn} - \\
& - P_{bc} \cdot P_{Vn} + P_{Vd} \cdot P_{bc} \cdot P_{Vn}) + P\{b_n \leq b_i < b_c; V_d \leq V_j < V_n\} \cdot (P_{bc} + P_{Vn} - P_{bc} \cdot P_{Vn}) + \\
& + P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j > V_n\} \cdot P_{bc} + P\{V_j < V_d; b_i > b_c\} \cdot (P_{Vd} + P_{Vn} - P_{Vd} \cdot P_{Vn}) + \\
& + P\{V_d \leq V_j < V_n; b_i > b_c\} \cdot P_{Vn}.
\end{aligned} \tag{2.45}$$

Вероятность выделения компонентов вороха, имеющих толщину меньше ширины отверстий подсевного решета, и скорость витания меньше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной аспирации в отходовую фракцию можно определить из выражения:

$$P_o(b_i < b_n; V_j < V_d) = P\{b_i < b_n; V_j < V_d\} \cdot (P_{Vd} + P_{bn} - P_{Vd} \cdot P_{bn}). \tag{2.46}$$

Вероятность выделения компонентов вороха каждым рабочим органом или его элементом представляет собой полноту выделения для компонентов, имеющих толщину меньше ширины отверстий решет и скорость витания меньше скорости воздушного потока в пневмосепарирующих каналах. Поэтому в выражениях 2.37... 2.46 вероятности выделения компонентов вороха пневмосепарирующими каналами, подсевными и сортировальными решетками могут быть заменены на полноту выделения каждым рабочим органом.

2.4. Влияние режима работы канала дорешетной аспирации и доли сортировальных решет в станах на производительность машин и полноту выделения фуражной фракции

Используя выражения 2.37...2.46 и заменив в них вероятности выделения компонентов вороха пневмосепарирующими каналами, сортировальными и подсевными решетками на полноту выделения каждым рабочим органом, можно определить общую теоретическую вероятность выделения компонентов вороха, отнесенных к каждому классу.

При расчете теоретической вероятности выделения компонентов вороха, отнесенных к каждому классу, были приняты следующие исходные данные: полнота выделения компонентов вороха каналом дорешетной аспирации $\varepsilon_{vd}=0,4$; каналом послерешетной аспирации $\varepsilon_{vp}=0,6$; подсевными решетками $\varepsilon_{bp}=0,25$; сортировальными решетками $\varepsilon_{bp}=0,6$; скорость воздушного потока в канале дорешетной аспирации $V_d=5,8$ м/с; в канале послерешетной аспирации $V_n=7,9$ м/с; ширина отверстий подсевающих решет $b_n=2,0$ мм; ширина отверстий сортировальных решет $b_n=2,0$ мм.

Результаты расчетов представлены в таблице 2.4.

Анализ данных, представленных в таблице, показывает, что наибольшая полнота выделения наблюдается для тех классов, компоненты которых могут выделяться несколькими рабочими органами.

Таблица 2.4 – Теоретическая вероятность и полнота выделения компонентов вороха в фуражную фракцию

Класс компонентов вороха по толщине и скорости витания	Вероятность содержания компонентов, $P\{b_i; V_j\}$	Вероятность выделения компонентов, $P(b_i, V_j)$	Рабочий орган для выделения	Полнота выделения, ε , %
$b_i < b_n$; $V_j < V_d$	0,0013	0,00121	канал дорешетной аспирации; подсевное решето; сортировальное решето; канал послерешетной аспирации	92,9
$b_i < b_n$; $V_d \leq V_j < V_n$	0,0115	0,10150	подсевное решето; сортировальное решето; канал послерешетной аспирации	88,3
$b_i < b_n$; $V_j \geq V_n$	0,0531	0,03750	подсевное решето; сортировальное решето	70,6
$b_n \leq b_i < b_c$; $V_j < V_d$	0,0065	0,00560	канал дорешетной аспирации; сортировальное решето; канал послерешетной аспирации	90,6
$b_n \leq b_i < b_c$; $V_d \leq V_j < V_n$	0,0582	0,04910	сортировальное решето; канал послерешетной аспирации	84,3
$b_n \leq b_i < b_c$; $V_j > V_n$	0,2688	0,16340	сортировальное решето;	60,0

$b_i \geq b_c;$ $V_j < V_d$	0,0116	0,00880	канал дорешетной аспирации; канал послерешетной аспирации	76,0
$b_i \geq b_c;$ $V_d \leq V_j < V_n$	0,1048	0,06290	канал послерешетной аспирации	60,0

Так наибольшая полнота выделения 92,9% наблюдается для класса, куда входят компоненты вороха имеющих толщину меньше ширины отверстий подсевого решета и скорость витания меньше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной очистки. Мелкие, легковесные компоненты вороха, входящие в этот класс, имеют возможность выделяться каналом дорешетной аспирации, подсевым решетом, сортировальным решетом и каналом послерешетной аспирации. В зависимости от схемы перемещения вороха по рабочим органам, и в особенности схемы размещения решет, не все выделенные компоненты этого класса будут направляться во фракцию отходов.

Незначительно меньшую полноту выделения имеют те классы основу, которых составляют компоненты с размерами меньше ширины отверстий подсевого решета и скоростью витания меньше скорости, установленной в канале послерешетной аспирации, а также со скоростью витания меньше скорости, установленной в канале дорешетной очистки и толщиной меньше ширины отверстий сортировального решета. Расчетная полнота выделения для этих классов составляет 88,3 и 90,6 %.

Следует отметить, что, несмотря на относительно большую полноту выделения абсолютная доля в ворохе, выделяемом во фракции фуража и отходов, этих классов занимает не более 4%.

Наименьшую полноту выделения имеют два класса. Класс, куда входят компоненты вороха с шириной больше ширины отверстий подсевого решета, но меньше ширины отверстий сортировального и скоростью витания больше скорости воздушного потока, установленного в канале послерешетной аспирации. Компоненты вороха этого класса имеют возможность выде-

ляться только сортировальным решетом. Полнота выделения компонентов равна полноте выделения самого рабочего органа и составляет 60%.

Компоненты вороха, входящие в класс с толщиной больше ширины отверстий сортировального решета и скоростью витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной очистки, но меньше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной очистки, могут выделяться только каналом послерешетной очистки. Полнота выделения компонентов этого класса также составляет 60%. Общая доля этих классов в ворохе, выделяемом во фракции фуража и отходов, достигает более 60%.

Поэтому качество работы и производительность зерноочистительных машин определяется возможностями сортировальных решет и канала послерешетной очистки. Уменьшить нагрузку на эти рабочие органы можно несколькими путями:

- повышением скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки с целью выделения компонентов вороха, выделяемых только каналом послерешетной очистки и в канале дорешетной очистки;
- повышением доли сортировальных решет в станах с одновременным изменением схемы размещения всех решет;
- увеличением ширины отверстий подсевных решет, что даст возможность большей части компонентов вороха выделяться не только сортировальными, но и подсевными решетками;
- увеличением сечения канала послерешетной очистки с целью уменьшения концентрации компонентов вороха и соответственно полноты выделения.

Повышение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки неизбежно приведет к увеличению количества воздуха проходящего через дорешетную аспирационную систему, росту общего расхода и энергозатрат на привод вентилятора. Поэтому необходимо обоснование принципиально новой двухаспирационной пневмосистемы с последовательным использова-

нием одного и того же воздушного потока в обеих аспирациях и одновременным снижением ее сопротивления. Кроме того, повышение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки потребует также обоснования параметров ступенчатой осадочной камеры, что даст возможность разделять выделенные компоненты на фракции отходов и фракцию фуража.

Увеличение доли сортировальных решет в станах за счет уменьшения до рациональных значений колосовых и подсевных решет, а при необходимости и исключения последних, не приведет к существенному увеличению габаритных размеров станом и машины в целом.

Увеличение ширины отверстий подсевных решет приведет к выделению вместе с мелкими примесями части мелкого фуражного зерна основной культуры, что равносильно их полному исключению из решетных станом машин. И в том, и в другом случаях фуражную фракцию выделенную проходом на решетам необходимо будет разделять по размерам на фракции отходов и фуража.

Наименее рациональный путь - увеличение сечения канала послерешетной очистки, что неизбежно приведет к росту требуемого расхода воздуха и затрат энергии на привод вентилятора.

Приняв определенную площадь сортировальных решет, и задавшись их полнотой выделения 0,6, что соответствует режиму очистки товарного зерна можно определить допустимую удельную подачу вороха. Эмпирические зависимости для определения полноты выделения компонентов вороха сортировальными решетам при их длине до 2,97 м, полученные экспериментальным путем, имеют вид:

для 3 решет общей длиной в ярусе 2,97 м:

$$\varepsilon_p = 122,88 \cdot e^{-0,01q}; \quad (2.47)$$

для 2 решет общей длиной в ярусе 1,98 м:

$$\varepsilon_p = 95,35 \cdot e^{-0,01q}; \quad (2.48)$$

для 1 решета в ярусе длиной 0,99 м:

$$\varepsilon_p = 56,57 \cdot e^{-0,01q}; \quad (2.49)$$

При оценке полноты выделения каждым рабочим органом было учтено уменьшение удельной подачи за счет выделения части вороха предыдущими рабочими органами в зависимости от схемы перемещения вороха. На рисунке 2.5 представлены графические зависимости влияния скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки на полноту выделения компонентов вороха по классам в фуражную фракцию.

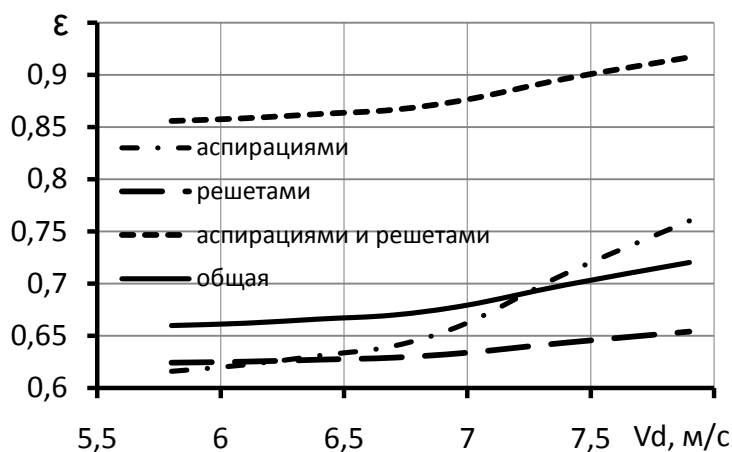


Рисунок 2.5 – Влияние скорости воздушного потока в канале дорешетной аспирации на полноту выделения компонентов вороха по классам

Полнота выделения компонентов вороха аспирациями учитывает два класса – выделяемые каналами дорешетной и послерешетной аспираций и только каналом послерешетной аспирации. Соответственно и полнота выделения решетами учитывает также два класса – выделяемые подсевными и сортировальными решетами и только сортировальными решетами. Анализ зависимостей, представленных на рисунке 2.5, показывает, что повышение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки ведет к росту полноты выделения всех компонентов.

Наибольший рост (с 0,618 до 0,76) на 18% при повышении скорости воздушного потока с 5,7 до 7,9 м/с наблюдается у компонентов вороха, имеющих толщину больше ширины отверстий сортировального решета и выделяемых аспирационными системами. На 8,5% (с 0,855 до 0,925) возрастает полнота выделения компонентов вороха, которые могут выделяться как аспирационными системами, так и решетами. Полнота выделения компонентов вороха, которые могут выделяться решетами, выросла в меньшей степени (с 0,625 до 0,655) на 4,8%. Меньший по сравнению с другими классами, рост можно объяснить следующим. При повышении скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки начинают выделяться те компоненты вороха, которые раньше выделялись только сортировальным решетом и каналом послерешетной очистки, что уменьшает удельную нагрузку на решета.

На рисунке 2.6 представлена графическая зависимость полноты выделения фуражных фракций от теоретической вероятности выделения компонентов вороха каналом дорешетной аспирации.

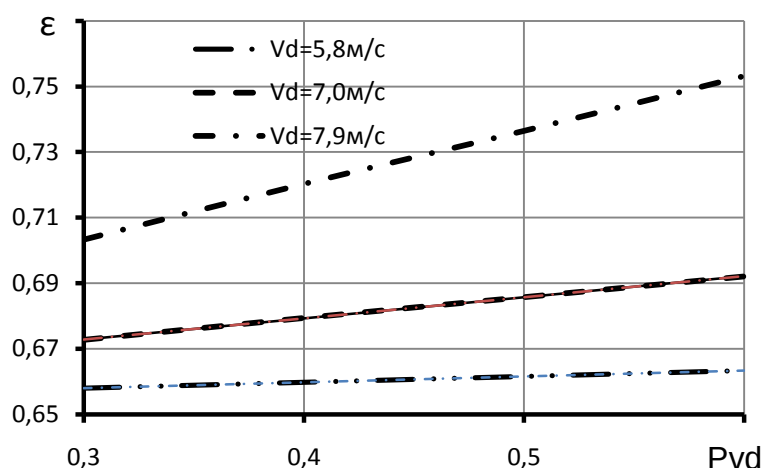


Рисунок 2.6 – Зависимость полноты выделения фуражных фракций от теоретической вероятности выделения компонентов вороха каналом дорешетной аспирации

Из представленной графической зависимости видно, что повышение вероятности выделения компонентов вороха каналом дорешетной аспирации

с 0,3 до 0,6 ведет к росту полноты выделения фуражной фракции в интервале изменения скорости воздушного потока в канале от 5,8 до 7,9 м/с. Причем, чем больше скорость воздушного потока в канале, тем в большей степени сказывается влияние вероятности выделения каналом на общую полноту выделения фуражных фракций. Так, при скорости воздушного потока 5,7 м/с рост полноты выделения составил 0,6%, при скорости 7,0 м/с – 2,97%, а при скорости 7,9 м/с – уже 7,1%. Такую разницу можно объяснить ростом доли компонентов вороха которые могут выделяться каналом дорешетной аспирации с увеличением в нем скорости воздушного потока.

Повышение доли сортировальных решет в станах с 33% до 80% существенно увеличивает вероятность выделения компонентов вороха решетками, а за счет уменьшения количества вороха, поступающего с сортировальных решет в канал послерешетной очистки увеличивается и вероятность выделения компонентов вороха аспирационными системами. На рисунке 2.7 приведена графическая зависимость полноты выделения компонентов вороха решетками в фуражную фракцию от доли сортировальных решет в стане.

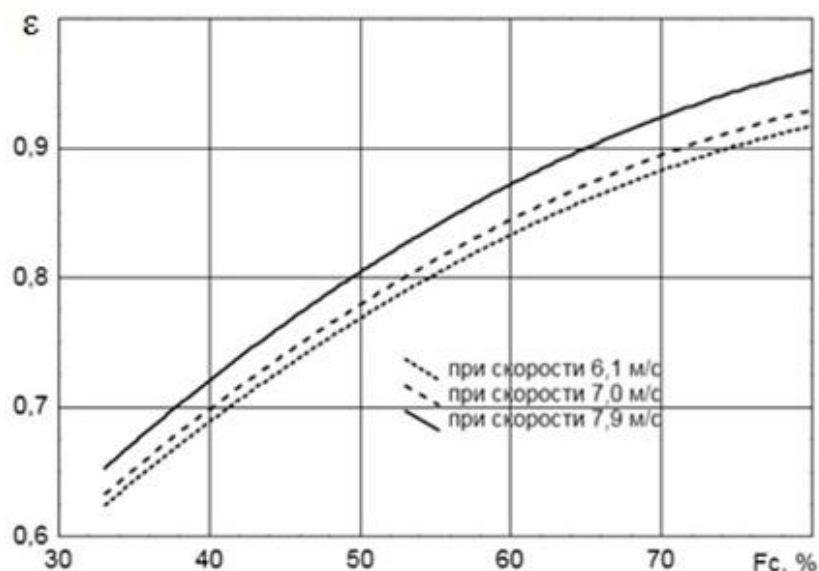


Рисунок 2.7 – Зависимость полноты выделения фуражных фракций решетками от доли сортировальных решет в станах

Повышение доли сортировальных решет в станах с 33% (машины ОЗС-50 и СВУ-60) до 50% (машина ОЗФ-80) увеличивает полноту выделения компонентов решетками в 1,22...1,23 раза. Причем, независимо от скорости воздушного потока в канале дорешетной аспирации прирост полноты выделения остается практически неизменным. При скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки 7,9 м/с полнота выделения решетками выросла с 65,5% до 80,5 %, при скорости 7,0 м/с - с 62,5% до 77,8%, а при скорости 6,1 м/с - с 62,0% до 77,0%. Дальнейшее увеличение доли сортировальных решет до 80% в станах несколько замедляет прирост полноты выделения решетками. В случае, если скорость воздушного потока в канале дорешетной очистки достигает 7,9 м/с, полнота выделения решетками превышает 90% при доле сортировальных решет 65%. Такая же полнота выделения фуражных фракций решетками при скоростях воздушного потока в канале дорешетной очистки 6,1...7,0 м/с достигается если доля сортировальных решет в станах превышает 70%.

Повышение доли сортировальных решет в стане в меньшей степени влияет на полноту выделения компонентов вороха аспирациями, чем на полноту выделения решетками (рисунок 2.8). Изменение доли сортировальных решет в станах с 33% до 80%, ведет к росту полноты выделения компонентов вороха, которые могут выделяться только воздушным потоком в аспирационных системах с 62,2% до 67,3%. Скорость воздушного потока в канале дорешетной очистки составляет в этом случае 6,1 м/с. Такое же изменение доли сортировальных решет, при скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки 7,0 м/с, ведет к росту полноты выделения аспирациями с 66,25 до 71,0%. Еще меньше увеличивается полнота выделения аспирациями при скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки 7,9 м/с - с 76,0% до 79,2%.

Меньший прирост полноты выделения аспирационными системами при большей скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки объясняется тем, что с увеличением скорости растет доля компонентов вороха, выде-

ляемых каналом дорешетной очистки, и общее поступление вороха на сортировальные решета уменьшается, что и снижает прирост полноты выделения. Этим можно объяснить и тот факт, что увеличение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки оказывает большее влияние на прирост полноты выделения компонентов вороха аспирационными системами, чем увеличение доли сортировальных решет в станах.

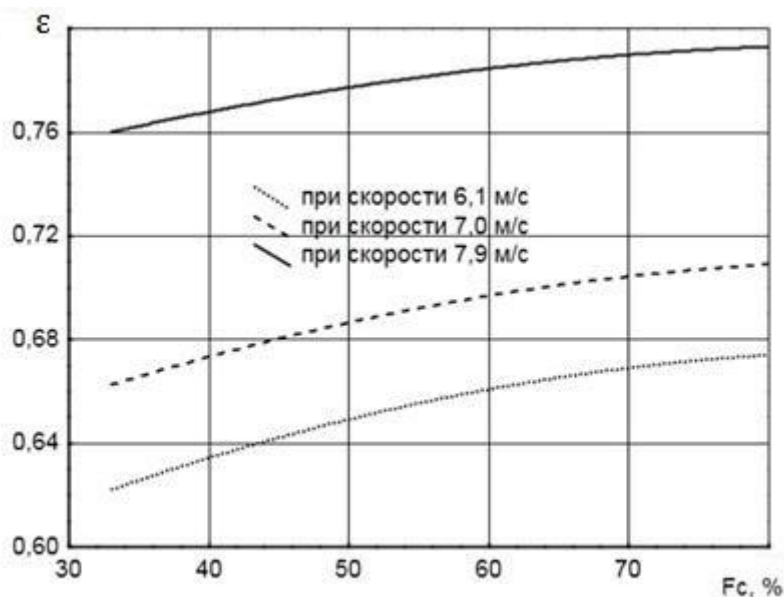


Рисунок 2.8 – Зависимость полноты выделения фуражных фракций аспирациями от доли сортировальных решет в станах

Аналогичная ситуация наблюдается с компонентами вороха, имеющими толщину меньше ширины отверстий сортировального решета и скорость витания меньше скорости воздушного потока, установленного в канале послерешетной очистки. Такие компоненты вороха могут выделяться как аспирационными системами, так и решетами (рисунок 2.9).

Если в канале дорешетной очистки установлена меньшая скорость (до 6,1...6,4 м/с), то меньшая часть компонентов вороха подлежит выделению каналом дорешетной аспирации, а большая часть таких компонентов направляется на сортировальные решета. При сравнительно малой доле сортировальных решет (33%) полноты выделения таких компонентов составляет

62,5%. Увеличение доли сортировальных решет ведет к интенсивному росту полноты выделения этих компонентов за счет снижения удельной нагрузки на сортировальные решета. Так, при доле сортировальных решет 50% полнота выделения достигает 77%, доле сортировальных решет 80% - уже 82%.

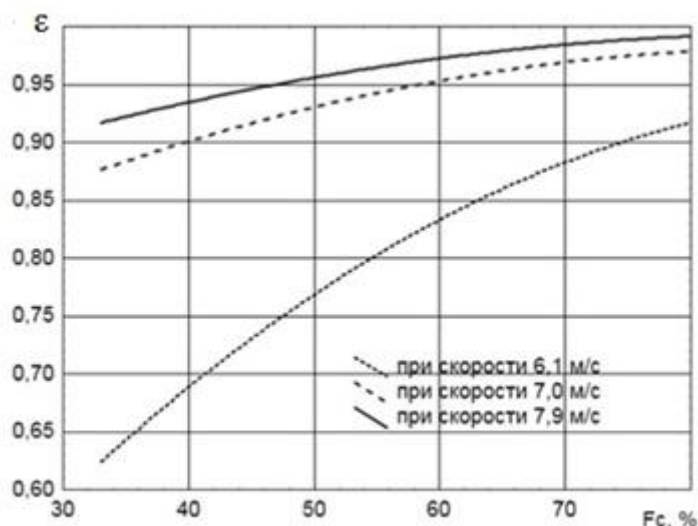


Рисунок 2.9 – Влияние доли сортировальных решет в станах на полноту выделения фуражных фракций аспирациями и решетами

Во всем интервале изменения доли сортировальных решет, полнота выделения компонентов вороха, имеющих толщину меньше ширины отверстий сортировального решета и скорость витания меньше скорости воздушного потока, установленного в канале послерешетной очистки, принимает меньшие значения при меньшей скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки. Таким образом, добиться высокой эффективности выделения таких компонентов можно только за счет одновременного повышения скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки и доли сортировальных решет в станах.

Увеличение доли сортировальных решет в станах оказывает большее влияние на рост выделения всех компонентов во фракции фуража и отходов, чем повышение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки (рисунок 2.10). Объяснить это можно большей долей компонентов (более

50%) содержащихся в ворохе, которые могут быть выделены только сортировальными решетками.

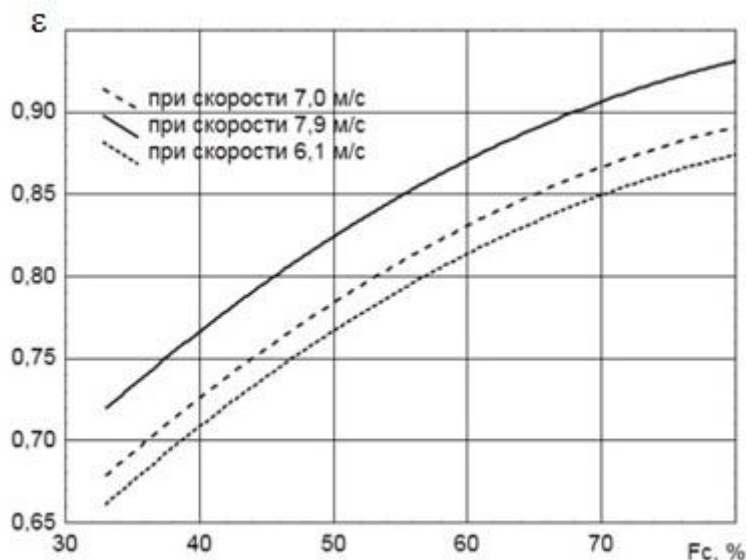


Рисунок 2.10 – Влияние доли сортировальных решет в станах на полноту выделения всех компонентов фуражных фракций

Общая полнота выделения фуражных фракций при минимальной доле сортировальных решет 33% составляет не менее 65,5%. Увеличение доли сортировальных решет в станах до 50% ведет к повышению общей полноты выделения фракций фуража и отходов до 76,0% и более. Полнота выделения 80%, соответствующая режиму очистки зерна на семенные цели, достигается при доле сортировальных решет в станах 60%. Перевод режима работы канала дорешетной очистки в режим, аналогичный режиму работы канала после-решетной очистки (скорость воздушного потока 7,9 м/с), позволяет достигнуть полноты выделения 80% при доле сортировальных решет чуть больше 45%. Повышение доли сортировальных решет до 70% позволит увеличить общую полноту выделения фуражных фракций до 90%.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

- увеличение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки в большей степени влияет на рост полноты выделения компонентов вороха аспирациями (18%), и повышает общую полноту выделения на 9,8%;

- повышение доли сортировальных решет в станах до 70...80% за счет уменьшения площади колосовых и подсевных решет до рациональных значений позволяет повысить общую полноту выделения фуражных фракций на 31,5%, но полнота выделения компонентов вороха аспирациями возрастает только на 8,8%;

- одновременное повышение доли сортировальных решет в станах до 70...80% и увеличение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки до скорости, близкой к скорости воздушного потока в канале после-решетной очистки позволяет повысить полноту выделения фуражных фракций до 90...92%;

- рост полноты выделения фуражных фракций позволяет предположить существование возможности повышения производительности машин без ухудшения качественных показателей при условии не превышения удельной допустимой нагрузки на сортировальные решета.

Используя разработанный математический аппарат и экспериментальные зависимости полноты выделения рабочими органами от удельной нагрузки, был проведен расчет относительной производительности при изменении площади сортировальных решет и режима работы канала дорешетной очистки. Результаты расчета представлены на рисунках 2.11...2.13. На рисунке 2.11 представлены графические зависимости общей полноты выделения фуражной фракции и относительной производительности от доли сортировальных решет в станах.

При расчете относительной производительности исходили из условия, что вероятность выделения фуражных фракций сортировальными решетами не должна быть меньше 0,6, а общая полнота выделения не должна быть меньше полноты необходимой для очистки зерна на продовольственные цели. Теоретическая вероятность выделения соответствующих фракций другими рабочими органами при начальной производительности 100% принимала следующие значения: аспирационной системой дорешетной очистки

$p_{vd} = 0,5$; аспирационной системой послерешетной очистки $p_{vn} = 0,6$; подсевными решетками $p_{bn} = 0,25$.

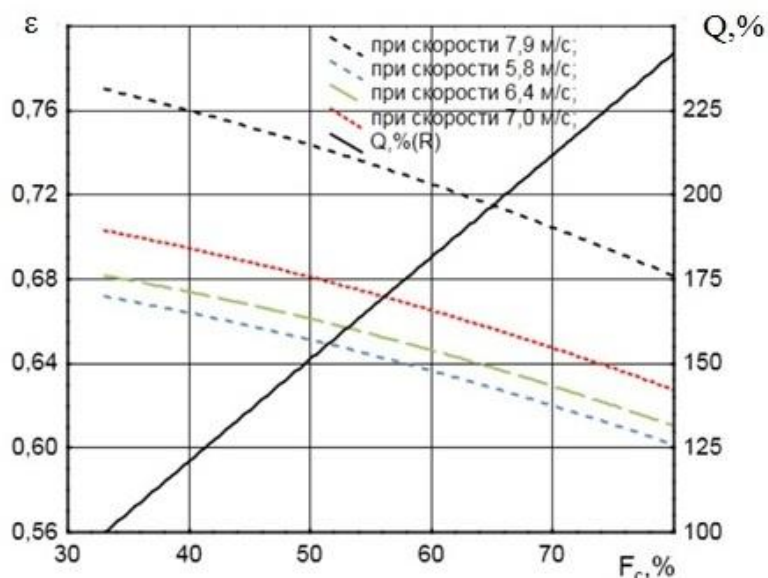


Рисунок 2.11 – Влияние доли сортировальных решет в станах на производительность и полноту выделения фуражных фракций

С увеличением производительности теоретические вероятности выделения рабочими органами уменьшались и принимали значения, которые определяли по эмпирическим зависимостям на основе экспериментальных данных. Повышение доли сортировальных решет в решетных станах до 70% позволяет повысить относительную производительность на 110...112% или практически в два раза без увеличения общей площади решет в машине (рисунок 2.11). Общая полнота выделения фуражных фракций снижается с 0,67 только до 0,618, даже при скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки 5,8 м/с и теоретической вероятности выделения каналом $p_{vd} = 0,32$. Повышение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки до 7,9 м/с, при той же теоретической вероятности выделения каналом, увеличивает общую полноту выделения фуражных фракций до 0,705. Дальнейшее увеличение доли сортировальных решет в станах за счет исключения подсевных позволяет повысить производительность в 2,4 раза при общей полноте выде-

ления фуражных фракций не менее 0,6. Несмотря на то, что общая полнота выделения фуражных фракций остается более 0,6 анализ результатов расчетов показывает относительно низкую полноту выделения компонентов вороха аспирационными системами. На рисунке 2.12 представлены графические зависимости полноты выделения легковесных компонентов вороха, имеющих скорость витания меньше скорости установленной в канале послерешетной очистки от относительной производительности.

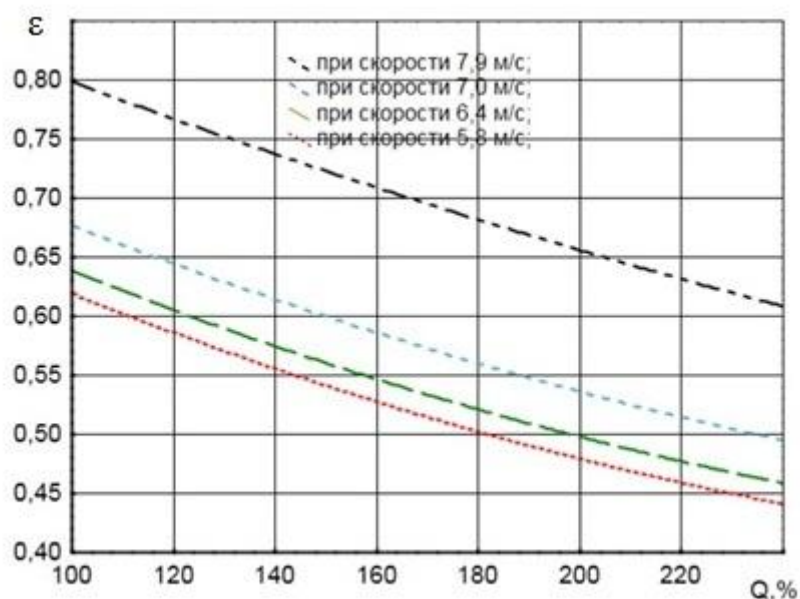


Рисунок 2.12 – Влияние производительности на полноту выделения компонентов вороха аспирационными системами

Как видно из рисунка 2.12 только при скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки 7,9 м/с обеспечивается полнота выделения аспирациями более 0,6 во всем диапазоне изменения относительной производительности. При скорости 7,0 м/с повышение производительности на 50% сохраняет полноту выделения аспирациями не менее 0,6, а общая полнота выделения составляет при этом 0,68. Повышение производительности на 20%, в случае, если скорость воздушного потока в канале дорешетной очистки составляет 6,4 м/с, еще обеспечивается полнотой выделения не менее 0,6.

Общепринятый режим работы аспирационной системы, когда скорость воздушного потока в канале дорешетной очистки не превышает 6,0 м/с, может обеспечить повышение производительности не более чем на 10%. Для такого режима работы повышение производительности машин, при сохранении требуемой полноты выделения возможно за счет повышения теоретической вероятности выделения компонентом вороха каждым каналом в отдельности.

На рисунке 2.13 приведена зависимость полноты выделения легковесных компонентов вороха аспирационными системами от теоретической вероятности выделения каналом дорешетной очистки для относительной производительности 212%. При расчетах начальная полнота выделения компонентов каналом послерешетной очистки принималась равной 0,6.

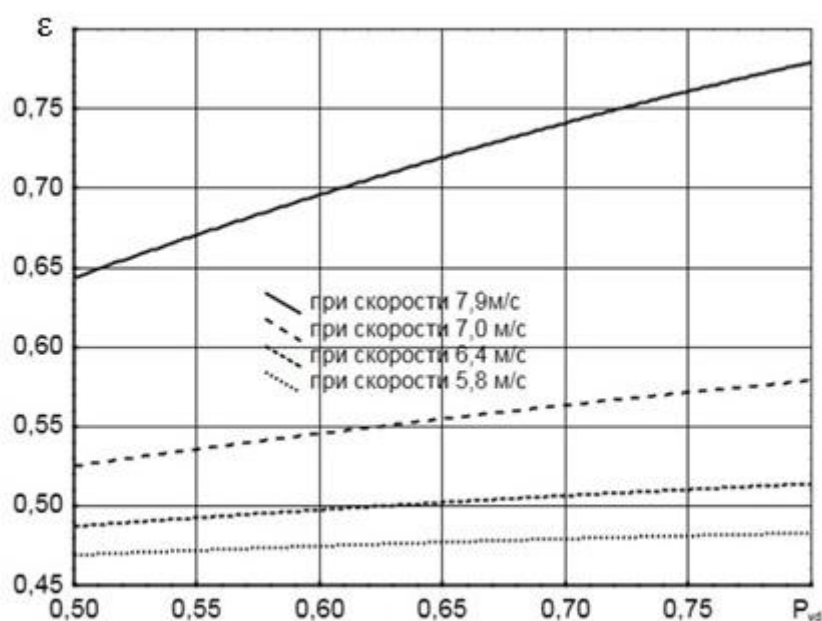


Рисунок 2.13 – Влияние теоретической вероятности выделения компонентов вороха каналом дорешетной очистки на полноту выделения аспирационными системами

Как видно из представленных зависимостей (рисунок 2.13) полнота выделения легковесных компонентов вороха аспирационными системами бо-

лее 0,6 достигается во всем диапазоне изменения теоретической вероятности выделения каналом дорешетной очистки от 0,5 до 0,8 при скорости воздушного потока в канале 7,9 м/с или режиме работы канала, близком к режиму работы канала послерешетной очистки.

При других скоростях воздушного потока в канале дорешетной очистки добиться полноты выделения легковесных компонентов вороха аспирационными системами более 0,6 за счет повышения теоретической вероятности выделения вороха только каналом дорешетной очистки не удастся.

Таким образом, добиться повышения эффективности работы аспирационных систем за счет совершенствования только аспирационной системы дорешетной очистки без изменения её режима работы не представляется возможным.

2.5. Влияние режима работы канала дорешетной очистки и доли сортировальных решет в станах на качество зерна основной фракции

Кроме полноты выделения фракций фуража и отходов, которые будут оказывать одно из существенных влияний на качество зернового вороха основной фракции, есть те показатели, которые непосредственно дают возможность его оценить. К таким показателям относятся средняя толщина компонентов вороха оставшейся основной фракции, среднеквадратическое отклонение толщины, средняя скорость витания, среднеквадратическое отклонение скорости витания и масса 1000 зерен.

Среднюю толщину компонентов зернового вороха, оставшихся в основной фракции после выделения фракций фуража и отходов, можно определить по формуле 2.18 с учетом вероятностей содержания и выделения компонентов вороха каждого класса:

$$\begin{aligned}
\sum_i^k (b_i \cdot p_i) = & \sum_i^n b_i \cdot P\{b_i < b_n; V_j < V_d\} \cdot (1 - P(b_i < b_n; V_j < V_d)) + \\
& + \sum_i^k b_i \cdot P\{b_i < b_n; V_d < V_j < V_n\} \cdot (1 - P(b_i < b_n; V_d < V_j < V_n)) + \\
& + \sum_i^k b_i \cdot P\{b_i < b_n; V_j > V_n\} \cdot (1 - P(b_i < b_n; V_j > V_n)) + \\
& + \sum_i^k b_i \cdot P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j < V_d\} \cdot (1 - P(b_n \leq b_i < b_c; V_j < V_d)) + \\
& + \sum_i^k b_i \cdot P\{b_n \leq b_i < b_c; V_d \leq V_j < V_n\} \cdot (1 - P(b_n \leq b_i < b_c; V_d \leq V_j < V_n)) + \\
& + \sum_i^k b_i \cdot P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j > V_n\} \cdot (1 - P(b_n \leq b_i < b_c; V_j > V_n)) + \\
& + \sum_i^k b_i \cdot P\{b_i > b_c; V_j < V_d\} \cdot (1 - P(b_i > b_c; V_j < V_d)) + \\
& + \sum_i^k b_i \cdot P\{b_i > b_c; V_d < V_j < V_n\} \cdot (1 - P(b_i > b_c; V_d < V_j < V_n)) + \\
& + \sum_i^k b_i \cdot P\{b_i > b_c; V_j > V_n\}
\end{aligned} \tag{2.50}$$

Выражение в знаменателе с учетом вероятностей выделения компонентов вороха во фракции фуража и отходов по классам примет вид:

$$\begin{aligned}
1 - P(b_{\min} < b_i < b_c) = & 1 - P(b_i < b_n; V_j < V_d) - P(b_i < b_n; V_d < V_j < V) - \\
& - P(b_i < b_n; V_j > V_n) - P(b_n \leq b_i < b_c; V_j < V_d) - P(b_n \leq b_i < b_c; V_d \leq V_j < V_n) - \\
& - P(b_n \leq b_i < b_c; V_j > V_n) - P(b_i > b_c; V_j < V_d) - P(b_i > b_c; V_d < V_j < V_n)
\end{aligned} \tag{2.51}$$

Среднеквадратическое отклонение толщины оставшихся компонентов зернового вороха можно определить по формуле 2.19 с учетом вероятностей содержания компонентов вороха каждого класса. Выражение под корнем в числителе, можно представить как сумму произведения квадратов отклонения толщины компонентов от средней, на вероятность их содержания по классам:

$$\begin{aligned}
\sum_i^k (b_i - m_b^*)^2 \cdot p_i^* &= \sum_i^k (b_i - m_b^*)^2 \cdot P\{b_i < b_n; V_j < V_d\} \cdot (1 - P(b_i < b_n; V_j < V_d)) + \\
&+ \sum_i^k (b_i - m_b^*)^2 \cdot P\{b_i < b_n; V_d < V_j < V_n\} \cdot (1 - P(b_i < b_n; V_d < V_j < V_n)) + \\
&+ \sum_i^k (b_i - m_b^*)^2 \cdot P\{b_i < b_n; V_j > V_n\} \cdot (1 - P(b_i < b_n; V_j > V_n)) + \\
&+ \sum_i^k (b_i - m_b^*)^2 \cdot P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j < V_d\} \cdot (1 - P(b_n \leq b_i < b_c; V_j < V_d)) + \\
&+ \sum_i^k (b_i - m_b^*)^2 \cdot P\{b_n \leq b_i < b_c; V_d \leq V_j < V_n\} \cdot (1 - P(b_n \leq b_i < b_c; V_d \leq V_j < V_n)) + \\
&+ \sum_i^k (b_i - m_b^*)^2 \cdot P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j > V_n\} \cdot (1 - P(b_n \leq b_i < b_c; V_j > V_n)) + \\
&+ \sum_i^k (b_i - m_b^*)^2 \cdot P\{b_i > b_c; V_j < V_d\} \cdot (1 - P(b_i > b_c; V_j < V_d)) + \\
&+ \sum_i^k (b_i - m_b^*)^2 \cdot P\{b_i > b_c; V_d < V_j < V_n\} \cdot (1 - P(b_i > b_c; V_d < V_j < V_n)) + \\
&+ \sum_i^k (b_i - m_b^*)^2 \cdot P\{b_i > b_c; V_j > V_n\}
\end{aligned} \tag{2.52}$$

Выражение под корнем в знаменателе с учетом вероятностей выделения компонентов вороха во фракции фуража и отходов по классам определяется по формуле 2.51.

Среднюю скорость витания компонентов зернового вороха, оставшихся в основной фракции после выделения фракций фуража и отходов, можно определить по формуле 2.20 с учетом вероятностей содержания и выделения компонентов вороха каждого класса. Выражение в числителе можно представить как сумму произведений скорости витания компонентов вороха и вероятности содержания этого компонента в основной фракции, после выделения фракций фуража и отходов, по классам:

$$\begin{aligned}
\sum_j^{k1} (V_j \cdot P_j) = & \sum_j^{k1} V_j \cdot P\{V_j < V_d; b_i < b_n\} \cdot (1 - P(V_j < V_d; b_i < b_n)) + \\
& + \sum_j^{k1} V_j \cdot P\{V_j < V_d; b_n \leq b_i < b_c\} \cdot (1 - P(V_j < V_d; b_n \leq b_i < b_c)) + \\
& + \sum_j^{k1} V_j \cdot P\{V_j < V_d; b_i > b_c\} \cdot (1 - P(V_j < V_d; b_i > b_c)) + \\
& + \sum_j^{k1} V_j \cdot P\{V_d < V_j < V_n; b_i < b_n\} \cdot (1 - P(V_d < V_j < V_n; b_i < b_n)) + \\
& + \sum_j^{k1} V_j \cdot P\{V_d < V_j < V_n; b_n \leq b_i < b_c\} \cdot (1 - P(V_d < V_j < V_n; b_n \leq b_i < b_c)) + \\
& + \sum_j^{k1} V_j \cdot P\{V_d < V_j < V_n; b_i > b_c\} \cdot (1 - P(V_d < V_j < V_n; b_i > b_c)) + \\
& + \sum_j^{k1} V_j \cdot P\{V_j > V_n; b_i < b_n\} \cdot (1 - P(V_j > V_n; b_i < b_n)) + \\
& + \sum_j^{k1} V_j \cdot P\{V_j > V_n; b_n \leq b_i < b_c\} \cdot (1 - P(V_j > V_n; b_n \leq b_i < b_c)) + \\
& + \sum_j^{k1} V_j \cdot P\{V_j > V_n; b_i > b_c\}
\end{aligned} \tag{2.53}$$

Выражение в знаменателе с учетом вероятностей выделения компонентов вороха во фракции фуража и отходов по классам примет вид:

$$\begin{aligned}
1 - P(V_{\min} < V_j < V_n) = & 1 - P(V_j < V_d; b_i < b_n) - P(V_j < V_d; b_n \leq b_i < b_c) - \\
& - P(V_j < V_d; b_i > b_c) - P(V_d < V_j < V_n; b_i < b_n) - P(V_d < V_j < V_n; b_n \leq b_i < b_c) - \\
& - P(V_d < V_j < V_n; b_i > b_c) - P(V_j > V_n; b_i < b_n) - P(V_j > V_n; b_n \leq b_i < b_c)
\end{aligned} \tag{2.54}$$

Среднеквадратическое отклонение скорости витания оставшихся компонентов зернового вороха можно определить по формуле 2.21 с учетом вероятностей содержания компонентов вороха каждого класса. Выражение под корнем в числителе можно представить как сумму произведения квадратов отклонения скорости витания компонентов от средней скорости витания на вероятность их содержания по классам:

$$\begin{aligned}
& \sum_j^{k1} (V_j - m_V^*)^2 \cdot p_j^* = \sum_j^{k1} (V_j - m_V^*)^2 \cdot P\{V_j < V_d; b_i < b_n\} \cdot (1 - P(V_j < V_d; b_i < b_n)) + \\
& + \sum_j^{k1} (V_j - m_V^*)^2 \cdot P\{V_j < V_d; b_n \leq b_i < b_c\} \cdot (1 - P(V_j < V_d; b_n \leq b_i < b_c)) + \\
& + \sum_j^{k1} (V_j - m_V^*)^2 \cdot P\{V_j < V_d; b_i > b_c\} \cdot (1 - P(V_j < V_d; b_i > b_c)) + \\
& + \sum_j^{k1} (V_j - m_V^*)^2 \cdot P\{V_d < V_j < V_n; b_i < b_n\} \cdot (1 - P(V_d < V_j < V_n; b_i < b_n)) + \\
& + \sum_j^{k1} (V_j - m_V^*)^2 \cdot P\{V_d < V_j < V_n; b_n \leq b_i < b_c\} \cdot (1 - P(V_d < V_j < V_n; b_n \leq b_i < b_c)) + \\
& + \sum_j^{k1} (V_j - m_V^*)^2 \cdot P\{V_d < V_j < V_n; b_i > b_c\} \cdot (1 - P(V_d < V_j < V_n; b_i > b_c)) + \\
& + \sum_j^{k1} (V_j - m_V^*)^2 \cdot P\{V_j > V_n; b_i < b_n\} \cdot (1 - P(V_j > V_n; b_i < b_n)) + \\
& + \sum_j^{k1} (V_j - m_V^*)^2 \cdot P\{V_j > V_n; b_n \leq b_i < b_c\} \cdot (1 - P(V_j > V_n; b_n \leq b_i < b_c)) + \\
& + \sum_j^{k1} (V_j - m_V^*)^2 \cdot P\{V_j > V_n; b_i > b_c\}
\end{aligned} \tag{2.55}$$

Выражение под корнем в знаменателе с учетом вероятностей выделения компонентов вороха во фракции фуража и отходов по классам определяется по формуле 2.54.

Используя полученные выражения, был проведен расчет средней толщины, средней скорости витания зерновок основной фракции, среднеквадратического отклонения толщины и среднеквадратического отклонения скорости витания после выделения фракций отходов и фуража в зависимости от скорости воздушного потока, устанавливаемого в канале дорешетной очистки и доли сортировальных решет в станах. Расчет был проведен для вороха озимой пшеницы с теоретическими распределениями толщины и скорости витания компонентов приведенными в разделе 2.1. Результаты расчетов представлены в таблице Приложения Б.

На рисунках 2.14 и 2.15 представлены графические зависимости средней толщины зерновок основной фракции и среднеквадратического отклонения толщины от доли сортировальных решет в станах и скорости воздушного

потока в канале дорешетной очистки при постоянной производительности и исходных теоретических вероятностях выделения компонентов: $P_{vd}=0,4$; $P_{vn}=0,6$; $P_{bn}=0,25$; $P_{bc}=0,6$.

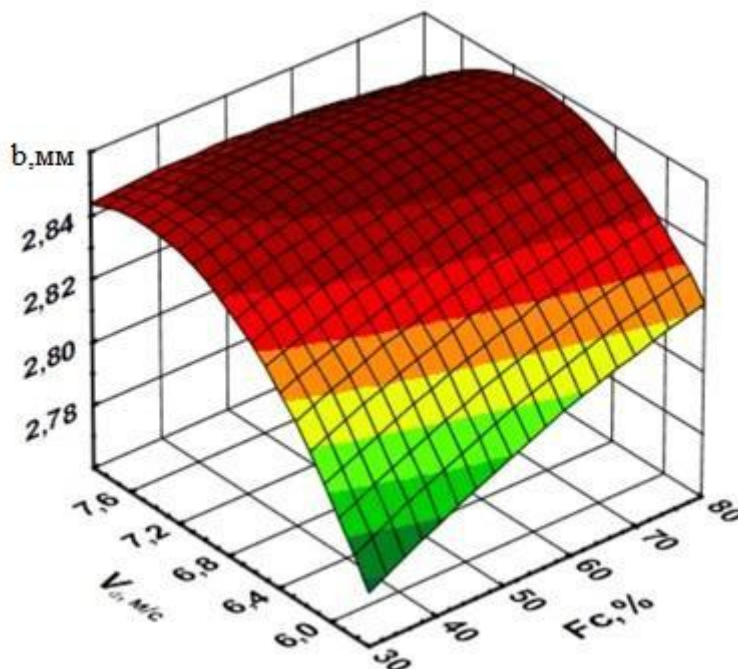


Рисунок 2.14 – Зависимость толщины зерновок основной фракции от доли сортировальных решет в станах и скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки

Из рисунка 2.14 видно, что минимальные значения (2,76...2,77 мм) средняя толщина зерновок основной фракции принимает при меньшей доле (30...33%) сортировальных решет в станах, и скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки 5,8 м/с. Этим же значениям скорости и доле сортировальных решет соответствует максимальное среднеквадратическое отклонение 0,25...0,26 мм. В этом случае достигается минимальная полнота выделения компонентов вороха всех классов во фракции фуража и отходов.

Максимальные значения (2,845...2,848 мм) толщина зерновок основной фракции принимает при скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки 7,4...7,9 м/с, доле сортировальных решет более 60%. Одновременно

при этих параметрах наблюдаются минимальные значения среднеквадратического отклонения толщины 0,188...0,187 мм (рисунок 2.15).

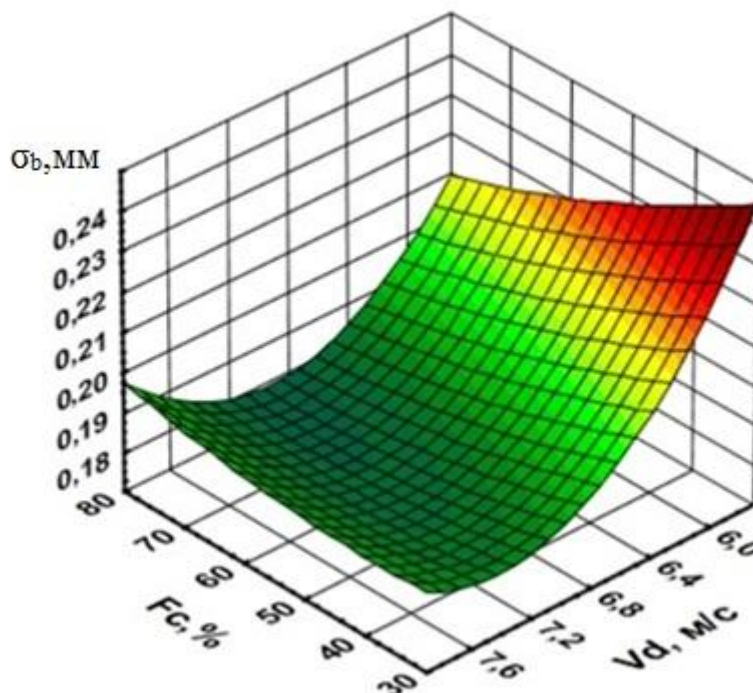


Рисунок 2.15 – Зависимость среднеквадратического отклонения толщины зерновок основной фракции от доли сортировальных решет в станах и скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки

Полнота выделения компонентов вороха всех классов во фракции фуража и отходов при таких значениях скорости воздушного потока в канале дорешетной аспирации и доли сортировальных решет принимает максимальные значения 0,88...0,93. Увеличение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки с 5,8 м/с до 7,4...7,9 м/с при меньшей доле сортировальных решет в большей степени влияет на толщину и среднеквадратическое отклонение толщины зерновок, чем при большей доле. Так, при доле сортировальных решет 33% указанное увеличение скорости приводит к росту толщины зерновок с 2,76 мм до 2.846 мм и снижению среднеквадратического отклонения толщины с 0,256 до 0,188 мм. Если доля сортировальных решет достигает 70...80%, то с увеличением скорости в канале дорешетной очистки с 5,8 м/с до 7,4...7,9 м/с, толщина зерновок увеличивается с 0,818...0,825 до

0,848 мм, а среднеквадратического отклонения толщины снижается с 0,213...0,207 до 0,187 мм. Такое же влияние на толщину и среднеквадратическое отклонение толщины зерновок оказывает и повышение доли сортировальных решет в станах. При скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки 5,8 м/с повышение доли сортировальных решет с 33 до 70...80% приводит к росту толщины зерновок с 0,263 до 0,818..0,825 мм и снижению среднеквадратического отклонения толщины зерновок с 0,256 до 0,213...0,207 мм. Незначительный прирост толщины зерновок с 2,844 до 2,848 мм и снижение среднеквадратического отклонения толщины зерновок с 0,188 до 0,187 при изменении доли сортировальных решет с 33 до 70...80% достигается при скорости 7,4...7,9 м/с.

Скорость витания и среднеквадратическое отклонение скорости витания зерновок основной фракции в большей степени зависят от скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки, чем от доли сортировальных решет в станах (рисунки 2.16 и 2.17).

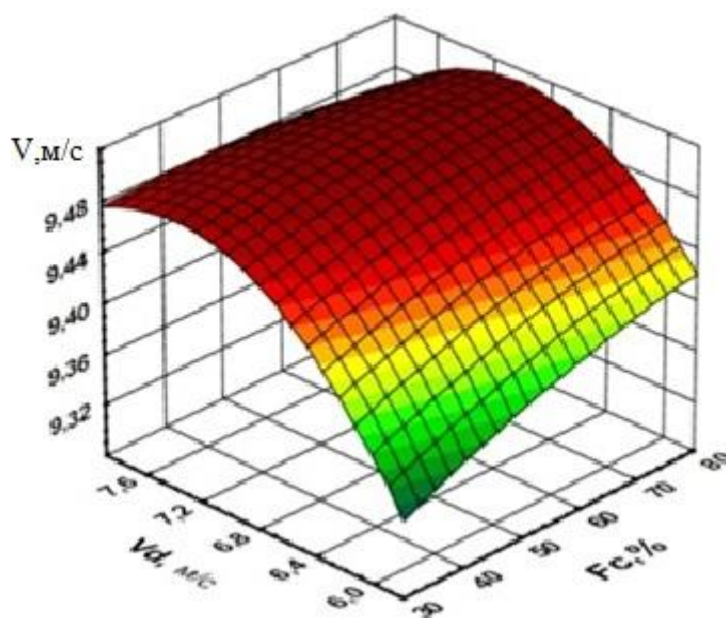


Рисунок 2.16 – Зависимость скорости витания зерновок основной фракции от доли сортировальных решет в станах и скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки

Повышение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки с 5,8 до 7,9 м/с при доле сортировальных решет 33% приводит к росту скорости витания с 9,29 до 9,48 м/с и снижению среднеквадратического отклонения скорости витания с 0,739 до 0,576 м/с. При доле сортировальных решет в станах 70...80% влияние скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки проявляется в меньшей степени.

Изменение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки с 5,8 до 7,9 м/с, приводит к росту скорости витания компонентов основной фракции с 9,4...9,41 до 9,487...9,488 м/с и снижению среднеквадратического отклонения скорости витания с 0,653...0,654 до 0,575 м/с.

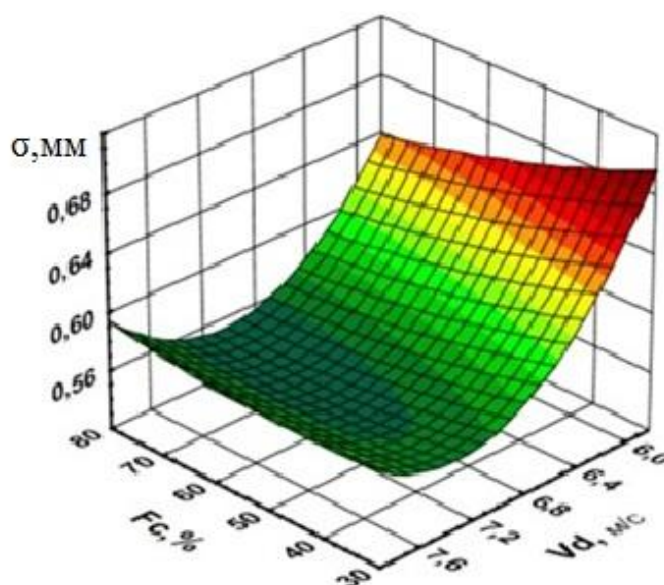


Рисунок 2.17 – Зависимость среднеквадратического отклонения скорости витания зерновок основной фракции от доли сортировальных решет в станах и скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки

В этом случае, те компоненты вороха, которые не могли выделяться каналом дорешетной очистки, большей частью выделяются сортировальными решетками при их относительной большой доле в станах. Повышение доли сортировальных решет с 33 до 80% при скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки 5,8 м/с ведет к росту скорости витания в меньшей степени с 9,29 до 9,41 м/с и меньшему снижению среднеквадратического от-

клонения скорости витания с 0,739 до 0,654 м/с, чем повышение скорости в канале при относительно небольшой (33%) доле сортировальных решет. Если канал дорешетной очистки работает в режиме, близком к режиму работы канала послерешетной очистки, то увеличение доли сортировальных решет еще в меньшей степени сказывается на росте скорости витания и снижении среднеквадратического отклонения скорости витания компонентов основной фракции.

При скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки 7,9 м/с увеличение доли сортировальных решет повышает скорость витания зерновок основной фракции с 9,48 до 9,488 м/с и снижает среднеквадратическое отклонение скорости витания с 0,576 до 0,575 м/с.

Проведенный анализ показал существенное увеличение качественных показателей компонентов вороха основной фракции при повышении доли сортировальных решет и переводе режима работы канала дорешетной очистки в режим близкий к режиму работы канала послерешетной очистки.

Для оценки степени снижения качественных показателей основной фракции при повышении производительности был проведен расчет средней толщины, средней скорости витания зерновок основной фракции, среднеквадратического отклонения толщины и среднеквадратического отклонения скорости витания после выделения фракций отходов и фуража. При расчетах было выдержано условие повышения производительности за счет увеличения доли сортировальных решет до значений теоретической полноты выделения сортировальными решетками $P_{bc} \geq 0,6$. Результаты расчета представлены в таблице Приложения В.

Графические зависимости средней толщины, средней скорости витания, среднеквадратического отклонения толщины и среднеквадратического отклонения скорости витания зерновок основной фракции от производительности и скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки представлены на рисунках 2.18...2.21.

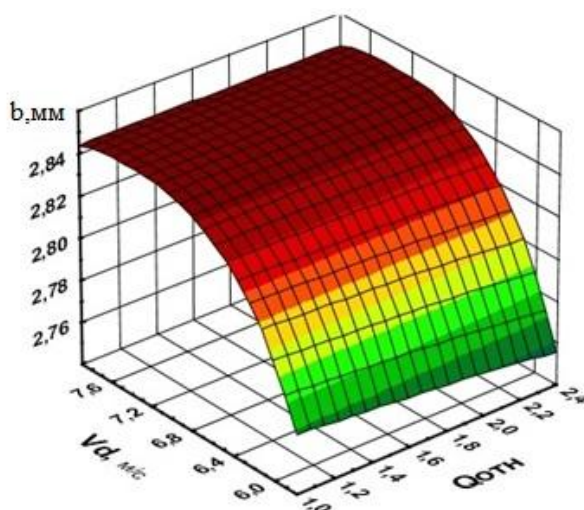


Рисунок 2.18 – Зависимость толщины зерновок основной фракции от производительности и скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки

Повышение относительной производительности в 2,12 раза за счет увеличения доли подсевных решет при скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки 5,8 м/с ведет к некоторому ухудшению качественных показателей компонентов вороха основной фракции.

Средняя толщина уменьшается с 2,762 до 2,753 мм или на 0,33%, среднеквадратического отклонения толщины возрастает с 0,256 до 0,266 мм или на 3,9%, скорость витания снижается с 9,289 до 9,25 м/с или на 0,42%, среднеквадратического отклонения скорости витания растет с 0,737 до 0,789 м/с или на 7,1%.

Исключение из решетных станков подсевных решет и повышение за счет этого производительности в 2,4 раза, при той же скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки, приводит к уменьшению средней толщины компонентов основной фракции на 0,54%, росту среднеквадратического отклонения толщины на 7,6%, снижению скорости витания компонентов основной фракции на 0,6% и возрастанию среднеквадратического отклонения скорости витания на 10,0%. Как видно, при относительно невысокой скорости в канале дорешетной очистки в большей степени снижается выравненность компонентов вороха основной фракции. Объясняется это тем, что с

ростом производительности снижаются теоретические вероятности выделения соответствующих компонентов вороха каналами дорешетной и послерешетной аспираций, и при разной скорости в каналах возрастает в большей степени доля невыделенных легковесных компонентов, которые могут выделяться только каналом послерешетной очистки.

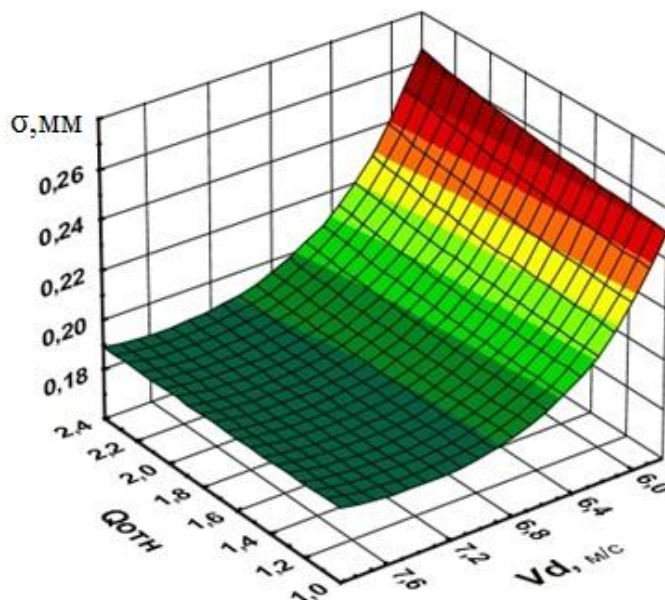


Рисунок 2.19 – Зависимость среднеквадратического отклонения толщины зерновок основной фракции от производительности и скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки

Поэтому, при режиме работы канала дорешетной очистки близком к режиму работы канала послерешетной очистки или скорости воздушного потока в нем 7,4...7,9 м/с, повышение относительной производительности в 2,12...2,4 раза практически не вызывает ухудшения качественных показателей компонентов вороха основной фракции. Средняя толщина зерновок и среднеквадратического отклонения толщины не изменяются, а скорость витания компонентов вороха основной фракции снижается на 0,03...0,06% при росте среднеквадратического отклонения скорости витания на 0,5...1,7%. Снижение вероятности выделения соответствующих компонентов каждым каналом в отдельности компенсируется возможностью их выделения и в одном и в другом канале.

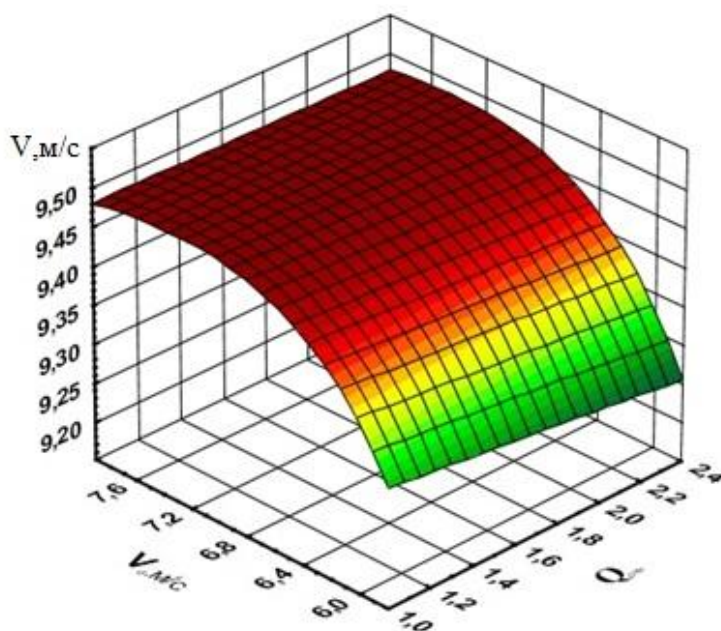


Рисунок 2.20 – Зависимость скорости витания зерновок основной фракции от производительности и скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки

Повышение скорости воздушного потока в канале дорешетной аспирации при меньшей относительной производительности ($Q_{отн} = 1,0$) ведет к меньшему росту качественных показателей компонентов вороха основной фракции, чем при большей относительной производительности ($Q_{отн} = 2,1 \dots 2,4$). В первом случае средняя толщина компонентов основной фракции увеличивается с 2,762 до 2,846 мм или на 3,0%, среднеквадратическое отклонение толщины снижается с 0,256 до 0,188 мм или на 26,6%, средняя скорость витания компонентов возрастает с 9,289 до 9,485 м/с или на 2,11% и среднеквадратическое отклонение скорости витания уменьшается с 0,737 до 0,576 м/с или на 21,8%.

При относительной производительности $Q_{отн} = 2,4$ повышение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки вызывает рост толщины компонентов основной фракции на 3,6%, средней скорости витания на 2,7% и снижение среднеквадратических отклонений толщины на 31,4% и скорости на 28,6%.

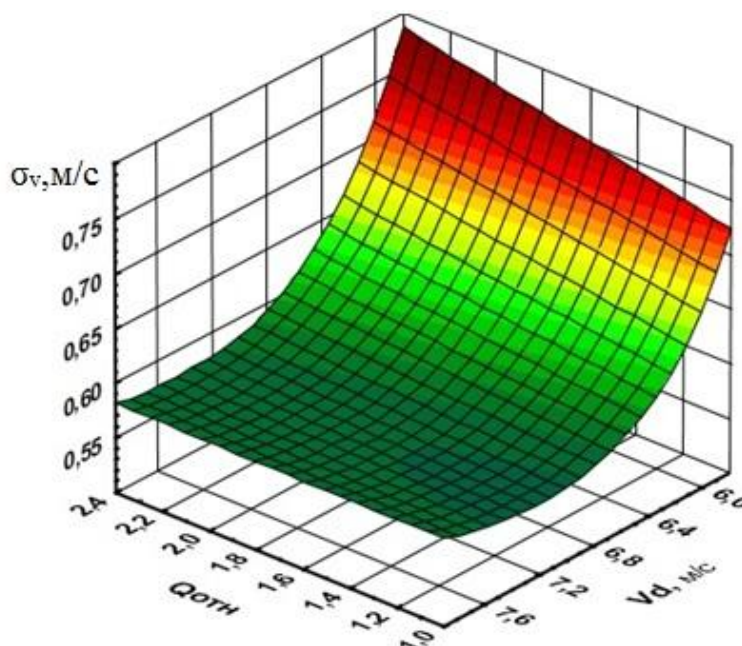


Рисунок 2.21 – Зависимость среднеквадратического отклонения скорости вращения зерновок основной фракции от производительности и скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки

Таким образом, увеличение доли сортировальных решет в станах и повышение производительности неизбежно приводит к снижению качественных показателей компонентов вороха основной фракции даже при теоретической вероятности или полноте выделения сортировальными решетками не ниже 0,6. Это происходит за счет роста в очищенном ворохе компонентов, которые выделяются в основном по аэродинамическим свойствам аспирационными системами при снижении вероятностей выделения каждым каналом соответствующих компонентов.

Улучшение качественных показателей компонентов вороха основной фракции возможно за счет изменения режима работы канала дорешетной очистки до режима, близкого к режиму работы канала послерешетной очистки. Такой режим работы канала ведет к существенному улучшению выравнинности компонентов основной фракции по толщине и аэродинамическим свойствам. Снижение среднеквадратических отклонений толщины достигает 26,5...31,4%, скорости вращения – 21,8...28,6%.

2.6. Выводы

1. Получение высококачественного зерна основной фракции за счет выделения биологически неполноценного, мелкого и дробленого зерна основной культуры, засорителей и незерновых компонентов только по одному признаку разделения невозможно. Наличие положительной корреляционной взаимосвязи между толщиной и скоростью витания компонентов вороха ($r_{bv}=0,458$) предопределяет их разделение как по толщине на решетках, так и по скорости витания в пневмосепарирующих каналах.

2. Наибольший абсолютный вес (50% и более) имеет класс с компонентами, имеющими толщину больше ширины отверстий подсевного решета и меньше ширины отверстий сортировального решета, и скорость витания больше скорости, установленной в канале послерешетной аспирации. Выделение компонентов вороха, входящих в этот класс при условии $b_n < b_c$ возлагается только на сортировальные решета.

Класс, содержащий компоненты с толщиной больше ширины отверстий сортировального решета, скоростью витания выше скорости, установленной в канале дорешетной аспирации и меньше скорости, установленной в канале послерешетной аспирации, занимает 20% и более и, при условии $V_d < V_n$, может выделяться только в канале послерешетной очистки.

3. Наименьшую теоретическую полноту выделения имеют два класса: класс, куда входят компоненты вороха с шириной больше ширины отверстий подсевного решета, но меньше ширины отверстий сортировального и скоростью витания больше скорости воздушного потока, установленного в канале послерешетной аспирации;

класс с компонентами вороха, имеющими толщину больше ширины отверстий сортировального решета и скоростью витания больше скорости воздушного потока, установленной в канале дорешетной очистки, но меньше скорости воздушного потока, установленной в канале послерешетной очистки. Полнота выделения компонентов вороха, входящих в эти классы равна

теоретической вероятности выделения сортировальными решетками или пневмосепарирующим каналом послерешетной очистки.

4. Качество работы и производительность зерноочистительных машин определяется возможностями сортировальных решет и аспирационными системами дорешетной и послерешетной очистки.

Увеличение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки с 5,8 м/с до 7,9 м/с в большей степени влияет на рост полноты выделения компонентов вороха аспирациями (18%), и повышает общую полноту выделения фуражных фракций на 9,8%.

Повышение доли сортировальных решет в станах до 70...80% за счет уменьшения площади колосовых и подсевных решет до рациональных значений позволяет повысить общую полноту выделения фуражных фракций на 31,5%.

Одновременное повышение доли сортировальных решет в станах до 70...80% и увеличение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки до скорости, близкой к скорости воздушного потока в канале послерешетной очистки дает возможность повысить полноту выделения фуражных фракций до 90...92%.

Толщина и скорость витания зерновок основной фракции в этом случае принимают максимальные значения $b=2,845...2,848$ мм и $V=9,487...9,488$ м/с при минимальных среднеквадратических отклонениях толщины и скорости витания $\sigma_b = 0,188...0,187$ мм и $\sigma_v = 0,576...0,575$ м/с соответственно.

5. Повышение доли сортировальных решет в станах до 70% позволяет увеличить производительность более чем в два раза при общей полноте выделения фуражных фракций 0,618, а одновременное увеличение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки до 7,9 м/с увеличивает общую полноту выделения фуражных фракций до 0,705. При таком режиме работы канала дорешетной очистки обеспечивается полнота выделения легко-

весных компонентов вороха не менее 0,6 при теоретической вероятности выделения каналом дорешетной очистки 0,5.

При режиме работы канала дорешетной очистки близком к режиму работы канала послерешетной очистки повышение относительной производительности в 2,12...2,4 раза практически не вызывает ухудшения качественных показателей компонентов вороха основной фракции. Средняя толщина зерновок и среднеквадратического отклонения толщины не изменяются, а скорость витания компонентов вороха основной фракции снижается на 0,03...0,06% при росте среднеквадратического отклонения скорости витания на 0,5...1,7%.

Увеличение производительности в 2,2...2,4 раза возможно за счет исключения подсевных решет и дальнейшего повышения доли сортировальных решет до 80% при одновременном повышении теоретической вероятности выделения легковесных компонентов каналами дорешетной и послерешетной очисток до 0,65...0,7.

3. Обоснование принципиальной схемы пневмосистемы и ее элементов

3.1. Последовательное использование воздушного потока, как один из путей снижения энергозатрат на работу пневмосистемы

Как известно из основ теории аэрогидродинамики мощность, затрачиваемая на привод вентилятора для работы двухаспирационной пневмосистемы в общем случае, определяется по формуле [114]:

$$N_{\epsilon} = \frac{Q_a \cdot \Delta p}{3600 \cdot \eta_{\epsilon}}, \text{ кВт}, \quad (3.1)$$

где Q_{ϵ} - общий расход воздуха двухаспирационной пневмосистемой, м³/ч;
 Δp - потери полного давления, или сопротивление пневмосистемы, Па.

Уменьшение энергозатрат на работу пневмосистемы, как показывает анализ формулы возможно двумя путями:

- снижением общего расхода воздуха двухаспирационной пневмосистемой;
- уменьшением сопротивления пневмосистемы и её элементов.

Для выбора наиболее рационального пути снижения энергозатрат на работу пневмосистемы рассмотрим составляющие, из которых складывается общий расход воздуха и сопротивление пневмосистемы.

В случае если один вентилятор обеспечивает работу обеих аспирационных систем (схема параллельного соединения) общий расход воздуха двухаспирационной пневмосистемой состоит из двух частей: воздуха, проходящего через канал послерешетной аспирации и его осадочную камеру и воздуха, проходящего через канал дорешетной аспирации и его осадочную камеру. Значение общего расхода можно определить из выражения:

$$Q_{\epsilon} = Q_n + Q_o = 3600 \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_n^2 \cdot V_n}{4} + \frac{\pi \cdot d_d^2 \cdot V_d}{4} \right), \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (3.2)$$

где d_n , d_d - эквивалентные гидравлические диаметры каналов послерешетной и дорешетной очисток, м; V_n , V_d - скорости воздушного потока в каналах послерешетной и дорешетной очисток, м/с.

Потери полного давления при работе двухаспирационной пневмосистемы по схеме параллельного соединения через общую камеру с вентилятором определяются по пневмосистеме с большим сопротивлением [109]. Такой пневмосистемой у универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин, как правило, является пневмосистема послерешетной очистки с вертикальным пневмосепарирующим каналом.

Потери полного давления с учетом большего сопротивления аспирационной системы послерешетной очистки можно определить из выражения:

$$\Delta P = P_{\epsilon}^* - P_o^* = \Delta P_c + P_{дин}^n = \Delta P_{oc}^n + \Delta P_{сл}^* + \Delta P_l^n + \sum \Delta P_{пов}^n + \Delta P_{ок}^n + P_{дин}^n + \Delta P_{вс}^n, \quad (3.3)$$

где P_{ϵ}^* - полный напор или разрежение перед вентилятором, Па; P_o^* - полный напор или разрежение во входном всасывающем окне канала послерешетной очистки, Па; ΔP_c - потери статического давления или статическое сопротивление пневмосистемы, Па; $P_{дин}^n$ - динамический напор в канале послерешетной очистки, Па; ΔP_{oc}^n - сопротивление опорной подающей сетки на входе в канал послерешетной очистки, Па; $\Delta P_{сл}^*$ - сопротивление слоя зернового вороха в канале послерешетной очистки (с учетом подъема выносимых компонентов в осадочную камеру), Па; ΔP_l^n - сопротивление при перемещении воздушного потока по длине канала послерешетной очистки, Па; $\sum \Delta P_{пов}^n$ - суммарное сопротивление на преодоление поворотов в пневмосистеме послерешетной очистки, Па; $\Delta P_{ок}^n$ - сопротивление осадочной камеры пневмосистемы послерешетной очистки, Па; $\Delta P_{вс}^n$ - сопротивление всасывающего воздуховода к вентилятору, Па.

Сопротивление слоя зернового вороха в канале послерешетной очистки можно представить как сумму нескольких составляющих: сопротивления

слоя зернового вороха на входе в канал, сопротивление в самом канале на перемещение выносимых воздушным потоком компонентов вороха и сопротивление на их подъем в осадочную камеру:

$$\begin{aligned}\Delta P_{сл}^* &= \Delta P_{сл}^n + \Delta P_{пер}^n + \Delta P_{под}^n = \\ &= \xi_{зс}^n \cdot P_{дин}^n + \lambda \cdot \frac{l_{\kappa}^n}{d_{zn}} \cdot P_{дин}^n \cdot (1 + K \cdot \mu_{на}) + g \cdot \rho_v \cdot \Delta h_{\kappa}^n \cdot (1 + \mu_{на} \cdot \frac{V_n}{V_m}),\end{aligned}\quad (3.4)$$

где $\xi_{зс}^n$ - коэффициент сопротивления зернового слоя на входе в канал послерешетной аспирации; l_{κ}^n - длина прямого участка канала послерешетной аспирации, м; K - комплексный коэффициент сопротивления перемещению компонентов зернового вороха в канале; Δh_{κ}^n - высота подъема компонентов вороха, выносимых воздушным потоком в канале послерешетной аспирации, м; $\mu_{на}$ - коэффициент массовой концентрации компонентов вороха, выносимых воздушным потоком в канале послерешетной аспирации; V_m - средняя скорость перемещения компонентов вороха, выносимых воздушным потоком в канале послерешетной аспирации, м/с.

Коэффициент сопротивления зернового слоя на входе в канал послерешетной аспирации $\xi_{зс}^n$ зависит от толщины слоя вороха на опорной сетке при входе в канал, удельной подачи, скорости перемещения вороха и его состава и может быть определен только экспериментальным путем [23].

Комплексный коэффициент сопротивления перемещению компонентов зернового вороха в канале K при значениях $\mu_{на} \leq 0,2$ и незначительном расстоянии перемещения с малым числом поворотов может быть определен по выражению, рекомендованному при перемещении продуктов деревообработки [59]:

$$K = K_{mm} \cdot \sqrt{\frac{d_z}{0,3}},\quad (3.5)$$

где K_{mm} - коэффициент учитывающий вид транспортируемого материала $K_{mm} = 0,7...0,85$, меньшие значения для незерновых легковесных компонентов, большие – для биологически неполноценного и необмолоченного зерна.

С учетом значений составляющих выражение для определения сопротивления пневмосистемы при параллельном соединении примет вид:

$$\Delta P = \frac{\rho_{\epsilon} \cdot V_n^2}{2} \cdot \left(1 + \xi_{oc}^n + \xi_{zc}^n + (1 + K \cdot \mu_{na}) \cdot (\xi_{nos}^n + \lambda \cdot \frac{l_{\kappa}^n}{d_{zn}} + \xi_{ок}^n) \right) + \frac{\rho_{\epsilon} \cdot V_{\epsilon\epsilon}^2}{2} \left(\xi_{\epsilon\epsilon}^n + \lambda \cdot \frac{l_{\epsilon\epsilon}^n}{d_{\epsilon\epsilon}} \right) + g \cdot \rho_{\epsilon} \cdot \Delta h_k^n \cdot (1 + \mu_{na} \cdot \frac{V_n}{V_m}) \quad (3.6)$$

Анализ выражения показывает, что на сопротивление пневмосистемы основное влияние оказывает скорость воздушного потока в канале послерешетной аспирации. Она непосредственно влияет на значения сопротивления всех элементов пневмосистемы, включая осадочную камеру. Исключение составляет сопротивление всасывающего воздуховода после осадочной камеры, которое непосредственно зависит от скорости воздушного потока в самом воздуховоде. Однако скорость воздушного потока в канале послерешетной аспирации, как и коэффициент массовой концентрации компонентов вороха, выносимых воздушным потоком в канале послерешетной аспирации, является технологическим параметром, определяющим режим работы аспирационной системы, и её снижение невозможно. Снижение составляющих сопротивления на перемещение (трение о стенки) и подъём в канале послерешетной аспирации теоретически возможно за счет уменьшения длины канала послерешетной аспирации. Однако уменьшение длины канала скажется на распределении скорости воздушного потока по его сечению и по данным многочисленных исследований приведет к снижению четкости сепарирования в канале [62, 67, 156, 172]. Поэтому снижение сопротивления можно добиться только за счет снижения сопротивления отдельных элементов пневмосистемы, путем выбора их рациональных параметров.

Расход воздуха, как и сопротивление, прямо пропорционально влияет на энергозатраты. Уменьшение расхода воздуха через пневмосепарирующие каналы с учетом выполнения условий $V_n = const ; V_d = const$ возможно только путем уменьшения глубины каналов, что неизбежно приведет к нарушению сепарации в самих каналах. Единственным путем снижения энергозатрат на обеспечение работы пневмосистемы остается повторное использование воздушного потока, отработавшего в канале послерешетной очистки Q_n в канале дорешетной очистки, что позволит уменьшить общий расход воздуха пневмосистемой до расхода воздуха равному расходу через пневмосистему послерешетной очистки:

$$Q_a = Q_n \quad (3.7)$$

Повышение производительность более чем в два раза за счет увеличения доли сортировальных решет в станах без снижения качественных показателей работы машины в целом как показали исследования (глава 2) требует необходимости перевода режима работы канала дорешетной очистки в режим, близкий к режиму работы канала послерешетной очистки. Горизонтальное расположение канала дорешетной очистки позволяет при меньшей скорости выделить часть компонентов вороха, которые выделяются каналом послерешетной очистки. С точки зрения энергозатрат использование горизонтальных воздушных потоков является наименее энергоёмким по сравнению с вертикальными и наклонным, где затрачивается энергия на подъем выделяемых компонентов вороха [67, 88, 110, 307].

Дополнительно к тем сопротивлениям, которые создаются аспирационной системой послерешетной очистки, будет добавлено сопротивление на перемещение воздушного потока в горизонтальном канале дорешетной очистки, сопротивление слоя зернового вороха и сопротивление осадочной камеры канала дорешетной очистки.

Сопротивление слоя зернового вороха в канале дорешетной очистки можно представить как сумму двух составляющих: сопротивление слоя зер-

нового вороха, включающее сопротивление на перемещение компонентов вороха по секциям в осадочной камере и сопротивление на перемещение части легковесных компонентов вороха отводящим воздуховодом:

$$\Delta P_{сл}^{\partial} = \Delta P_{сл}^{\partial} + \Delta P_{пер}^{\partial} = \xi_{зс}^{\partial} \cdot P_{дин}^{\partial} + \lambda \cdot \frac{l_{\partial\partial}}{d_{\partial\partial}} \cdot P_{дин}^n \cdot (1 + K \cdot \mu_{\partial a}), \text{ Па.} \quad (3.8)$$

Общее сопротивление пневмосистемы машины будет определяться по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta P = & \frac{\rho_{\partial} \cdot V_n^2}{2} \cdot \left(1 + \xi_{oc}^n + \xi_{зс}^n + (1 + K \cdot \mu_{na}) \cdot (\xi_{нов}^n + \lambda \cdot \frac{l_{\kappa}^n}{d_{\partial n}} + \xi_{ок}^n) \right) + \\ & + g \cdot \rho_{\partial} \cdot \Delta h_k^n \cdot (1 + \mu_{na} \cdot \frac{V_n}{V_m}) + \frac{\rho_{\partial} \cdot V_d^2}{2} \cdot (1 + \lambda \cdot \frac{l_{\kappa}^{\partial}}{d_{\partial\partial}} + \xi_{зс}^{\partial}) + \\ & + \frac{\rho_{\partial} \cdot V_{\partial\partial}^2}{2} \cdot \left(\xi_{\partial\partial} + \lambda \cdot \frac{l_{\partial\partial}}{d_{\partial\partial}} (1 + K \cdot \mu_{\partial a}) \right). \end{aligned} \quad (3.9)$$

Учитывая вышесказанное, наиболее рационально канал дорешетной аспирации размещать после осадочной камеры канала послерешетной аспирации с горизонтальным расположением и переходом в секционную осадочную камеру для разделения вороха на две фракции. Первая фракция с компонентами, имеющими большую плотность, направляется затем на решетную очистку и в канал послерешетной аспирации. Вторая фракция, включающая компоненты с меньшей плотностью и легковесные примеси, без последующей обработки выводится из машины.

На рисунке 3.1 представлена схема пневмосистемы машины с последовательным использованием воздушного потока отработавшего в канале послерешетной очистки каналом дорешетной очистки. Новизна технического решения защищена патентом РФ 2469525 на изобретение [191].

нал дорешетной аспирации 9 подается тонким слоем обрабатываемый материал, где он продувается горизонтальным воздушным потоком, прошедшим через пневмосепарирующий канал послерешетной аспирации 14, осадочную камеру послерешетной аспирации 12 и пневмосепарирующий канал дорешетной аспирации. При этом из зернового вороха воздушным потоком удаляются пыль, легковесные засорители и часть биологически неполноценного зерна. Количество удаляемых компонентов регулируется за счет изменения скорости воздушного потока регулировочным клапаном 10. Биологически неполноценное зерно и часть засорителей оседают в секции 2 осадочной камеры 1 и устройством 3 выводятся из машины. При достаточной скорости воздушного потока в канале дорешетной аспирации 9 это будет фуражная фракция. Запыленный воздух с некоторым количеством легковесных засорителей подается вентилятором к пылеотделителю (на схеме не показан). Зерно и часть невыделенных засорителей оседают в секции 4 осадочной камеры дорешетной аспирации 1 и по выводному каналу 5 с гравитационным клапаном 6 подаются на решетный стан. Соотношение вороха выделенного во 2 и 4 секции регулируется с помощью изменения положения регулировочного клапана 8. На решетном стане из поступившей на него части зернового вороха выделяются крупные и мелкие примеси, а также происходит сортировка зерна на основную и фуражную фракции. Основная фракция после решетной очистки поступает по вводу 15 в пневмосепарирующий канал послерешетной аспирации 14, где продувается атмосферным воздухом при большей скорости воздушного потока. В пневмосепарирующем канале послерешетной аспирации из основной фракции дополнительно выделяются оставшаяся часть биологически неполноценного зерна и трудноотделимых засорителей, которые подаются в осадочную камеру послерешетной аспирации 12 и выводятся устройством 13 в фуражную фракцию, а очищенное зерно выводится из пневмосепарирующего канала послерешетной аспирации.

Таким образом, в качестве канала дорешетной аспирации наиболее рационально использовать горизонтальный канал с секционной осадочной ка-

мерой, расположенный на пути перемещения воздушного потока из осадочной камеры послерешетной аспирации к радиальному вентилятору. Такая последовательность использования воздушного потока позволит сократить расход воздуха до значений необходимых для обеспечения работы канала послерешетной аспирации.

Общее сопротивление пневмосистемы будет увеличено только за счет сопротивления слоя зернового вороха, которое включает сопротивление на перемещение компонентов вороха по секциям в осадочной камере и сопротивление на перемещение части легковесных компонентов вороха отводящим воздуховодом. Принцип последовательного использования воздушного потока в аспирационных системах позволил исключить сопротивление таких элементов пневмосистемы как повороты и развороты воздушного потока.

3.2 Моделирование работы двухаспирационной пневмосистемы с одним воздушным потоком

Для расчета технологических процессов очистки зернового вороха используются математические модели, основанные на различных подходах.

Детерминированные модели базируются на дифференциальных уравнениях движения несущего потока и сыпучей твердой среды в двухфазных потоках. Детерминированные модели достаточно долго не находили широкого применения по причине сложности учета таких факторов, как турбулентные пульсации потока, столкновения частиц между собой и элементами аппаратов, взаимное влияние потока твердой фазы и газообразной друг на друга и других.

Появление пакетов прикладных программ (программных комплексов Fluent, CFX, Open FOAM, Flow Vision), работа которых основана на конечно-разностной элементной базе и вычислительные мощности современных компьютеров позволяют в сжатые сроки с высокой точностью численно моделировать одно- и многофазные течения [12, 13].

Программные комплексы основаны на конечно-объемном методе решения уравнений гидродинамики и используют прямоугольную адаптивную сетку с локальным измельчением. Они могут представлять (визуализировать) результаты моделирования методами компьютерной графики. Программные комплексы используют различные модели турбулентности, что позволяет моделировать сложные движения жидкости (газа), включая течения с сильной закруткой, горением, течения со свободной поверхностью.

Для аппроксимации криволинейной геометрии с повышенной точностью используется технология подсеточного разрешения геометрии. Эта технология позволяет импортировать геометрию из систем САПР и обмениваться информацией с системами конечно-элементного анализа.

Для создания геометрии расчетной области пневмосистемы использовали систему автоматизации проектирования (САПР) Solid Works, которая позволяет экспортировать и обмениваться информацией с системами конечно-элементного анализа [13]. Полая модель пневмосистемы с осадочными камерами, имеющие размеры аналогичные пневмосистеме машин серии ОЗФ приведена на рисунке 3.2.

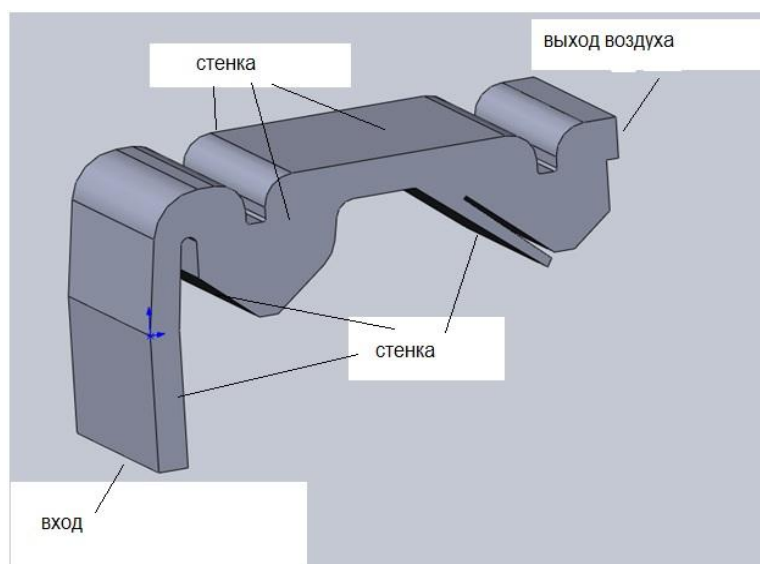


Рисунок 3.2 – Трехмерная расчетная модель пневмосистемы с указанием входа, выхода воздуха и стенок

Пневмосистема имеет один вход воздушного потока, проходные осадочные камеры и горизонтальный канал дорешетной аспирации, один общий выход отработавшего воздушного потока. Созданную замкнутую полую расчетную модель пневмосистемы импортировали в расчетную область программного комплекса. В качестве математической модели выбрали модель турбулентной несжимаемой жидкости, которая предусматривает решение уравнений Навье-Стокса (закон сохранения импульса), уравнения неразрывности (закон сохранения массы воздуха) и уравнение состояния.

Уравнение Навье - Стокса в векторном виде для несжимаемой жидкости имеет следующий вид:

$$\rho \cdot \frac{\partial V}{\partial t} = F - \text{grad}P + \mu \cdot \Delta V, \quad (3.10)$$

где V - вектор скорости; ρ - плотность, кг/м³; F – вектор массовых сил; P - давление, Па; μ - динамическая вязкость, Па; Δ - векторный оператор Лапласа.

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot \vec{V}) = 0. \quad (3.11)$$

Уравнение состояния:

$$\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}, \quad (3.12)$$

где M – молярная масса газа, г/моль; R - универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура, °К.

Для турбулентного течения воздуха, который наблюдается практически во всех пневмосистемах зерноочистительных машин, характерны беспорядочные хаотические пульсации скорости во всех направлениях. Следствием хаотических пульсационных движений является беспорядочное интенсивное перемешивание и специфическая турбулентная диффузия.

Турбулентность характеризуется кинетической энергией пульсационного движения и скоростью ее диссипации. Для замыкания уравнений Навье - Стокса выбрали наиболее простую стандартную k - ε модель.

Стандартная k - ε модель является наиболее удачной моделью турбулентности первого уровня замыкания, которая появилась более тридцати лет тому назад. Для описания турбулентных величин в ней используется система двух нелинейных диффузионных уравнений - для массовой плотности турбулентной энергии k и скорости диссипации турбулентной энергии ε . k - ε модель ввиду простоты по сравнению с моделями второго уровня замыкания и другими более основательными приближениями широко применяется для расчета большого круга задач.

Кинетическую энергию турбулентности k и диссипацию энергии турбулентности ε определяли из уравнений:

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k k) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\left(\mu_i + \frac{\mu_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_k} \right) + S_k, \quad \frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\left(\mu_i + \frac{\mu_i}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_k} \right) + S_\varepsilon, \quad (3.13)$$

где S_k - характеристика пульсаций кинетической энергии; S_ε - диссипация кинетической энергии.

Характеристику пульсаций кинетической энергии S_k определяли из выражения:

$$S_k = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon - \mu_l \left(\frac{g_i \partial \rho}{\sigma_B \rho \partial x_i} \right). \quad (3.14)$$

Диссипацию кинетической энергии S_ε определяли по выражению:

$$S_\varepsilon = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \left(f_1 \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu_i C_B \left(\frac{g_i \partial \rho}{\sigma_B \rho \partial x_i} \right) \right) - C_{\varepsilon 2} f_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{k}, \quad (3.15)$$

где f_1, f_2 - переменные, зависящие от коэффициентов динамической и турбулентной вязкости; $C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}, \sigma_\varepsilon, \sigma_k$ - эмпирические коэффициенты.

Значения эмпирических коэффициентов принимали согласно рекомендаций, приведенных в работе [13]:

$$C_{\varepsilon 1} = 1,44; C_{\varepsilon 2} = 1,92; \sigma_{\varepsilon} = 1,3; \sigma_k = 1,0.$$

Значения переменных f_1, f_2 определяли из выражений:

$$f_1 = 1 + \left(\frac{0,05}{f_{\mu}} \right)^3, \quad f_2 = 1 - e^{-R_T^2}. \quad (3.16)$$

Тензор вязких сдвиговых напряжений:

$$\tau_{ij} = \mu \cdot \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho \cdot k \cdot \delta_{ij}, \quad (3.17)$$

где μ – динамическая вязкость, Па с; u – скорость, м/с; x – координата, м; δ_{ij} – дельта-функция Кронекера.

Динамическую вязкость μ рассчитывали как сумму коэффициентов динамической вязкости μ_l и турбулентной вязкости μ_t . $\mu = \mu_l + \mu_t$

Коэффициент турбулентной вязкости вычисляли по зависимости:

$$\mu_t = f_{\mu} \frac{C_{\mu} \rho k^2}{\varepsilon}, \quad (3.18)$$

где f_{μ}, C_{μ} – коэффициенты; ε – диссипация энергии турбулентности.

Коэффициент C_{μ} принимали $C_{\mu}=0,9$, согласно рекомендаций [13]. Коэффициент f_{μ} находили по формуле:

$$f_{\mu} = \left(1 - e^{-0,025 R_y} \right)^2 \cdot \left(1 + \frac{20,5}{R_T} \right), \quad (3.19)$$

где

$$R_y = \frac{\rho \sqrt{k} y}{\mu_l}, \quad (3.20)$$

$$R_T = \frac{\rho k^2}{\mu_l \varepsilon}, \quad (3.21)$$

y – расстояние от локального усредненного объема течения до стенки расчетной области, м.

На втором этапе на гранях модели расставили граничные условия: вход, стенка, выход. Вход – тип свободный вход, скорость воздушного потока в векторном виде и её значение по модулю в абсолютной системе координат. Стенка – логарифмический закон изменения скорости в турбулентном пограничном слое. Вектор скорости в непосредственной близости от стенки изменяется по логарифмической зависимости.

Безразмерное расстояние до стенки определяется зависимостью

$$y^+ = \frac{u_\tau \cdot y}{V}, \quad (3.22)$$

где u_τ – касательная составляющая скорости на расстоянии y от стенки, м/с.

При логарифмическом законе изменения скорости в турбулентном пограничном слое вводится понятие безразмерной эквивалентной "песочной" шероховатости, которое наряду с числом Re определяет сопротивление пневмосистемы. Влияние шероховатости на профиль скорости учитывали посредством введения эффективной молекулярной вязкости:

$$\mu_{eff} = \mu + C_r \cdot \rho \cdot u_\tau \cdot h_s, \quad (3.23)$$

где C_r – константа шероховатости,

В области действия логарифмического профиля u_τ находили из уравнения:

$$\frac{|V_\tau|}{u_\tau} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{E \cdot y^+}{1 + C_r \cdot h_s^+} \right), \quad (3.24)$$

$$\text{где } h_s^+ = \frac{u_\tau \cdot h_s}{V},$$

h_s – эквивалентная песочная шероховатость, мкм. $5 \leq h_s \leq 70$.

Выход – свободный выход, нулевое давление: $P=0$;

$$(V,n)>0 \quad V|_{\varpi} = V_{i\varpi}$$

$$(V, n) \leq 0 \quad \nabla(V_i, n)|_{\sigma} = 0$$

Для решения уравнений математической модели использовали прямоугольную адаптивную локально измельченную сетку (АЛИС). АЛИС имеет преимущество по сравнению с распространенными сетками по причине большой скорости её генерации и древовидной структуре, при которой каждая ячейка связана с сеткой нулевого уровня, имеющей полную геометрическую информацию.

В областях со сложной геометрией или там где необходимо провести расчет на более мелкой сетке, ячейки делятся на 8 равных ячеек. Математическая модель движения воздуха представляет собой совокупность уравнений конвективно-диффузионного переноса. В обобщенной дифференциальной форме эти уравнения имеют следующий вид:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \nabla(\vec{V}f) = \nabla(D\nabla f) + Q, \quad (3.25)$$

где ∇ - оператор Лапласа; f – рассчитываемая переменная; $\vec{V}$ – скорость (векторная величина); D – коэффициент диффузии; Q – источниковый член.

Для численного решения уравнений использовали метод конечных объемов, в котором уравнения интегрируются по объему каждой ячейки расчетной сетки и по отрезку времени τ .

Шаг по времени τ выбирали из условий устойчивости вычислительного алгоритма. В программном комплексе уравнения рассчитываются явным и неявным алгоритмами. Шаг по времени в явном алгоритме ограничен условием Куранта-Фридрихса-Леви:

$$\tau_{\text{expi}} = \text{CEL}_{\text{expi}} \tau_{\text{min}}, \quad (3.26)$$

$$\tau_{\text{min}} = \min_{k,i} \frac{h_{ki}}{u_{ki}}, \quad (3.27)$$

где τ_{min} – минимальный шаг по времени, полученный в результате обхода всех расчетных ячеек, h_{ki} , u_{ki} – размер k -ой ячейки и скорость в направлении оси x_i .

Выбор явного шага по времени осуществляется через задания "явного числа Куранта-Фридрихса-Леви" CFL_{expl} . $0 < CFL_{expl} \leq 1$.

Неявный алгоритм не имеет ограничений на величину шага по времени. Этот шаг задается или постоянным, или через "неявное число Куранта-Фридрихса-Леви" CFL_{impl} .

Для анализа результатов моделирования и визуального представления результатов на плоскости пользовались векторным полем скорости и заливкой из давления.

На рисунке 3.3 представлены векторное поле скорости воздушного потока на продольной осевой плоскости пневмосистемы и рисунке 3.4 - заливка из давления.

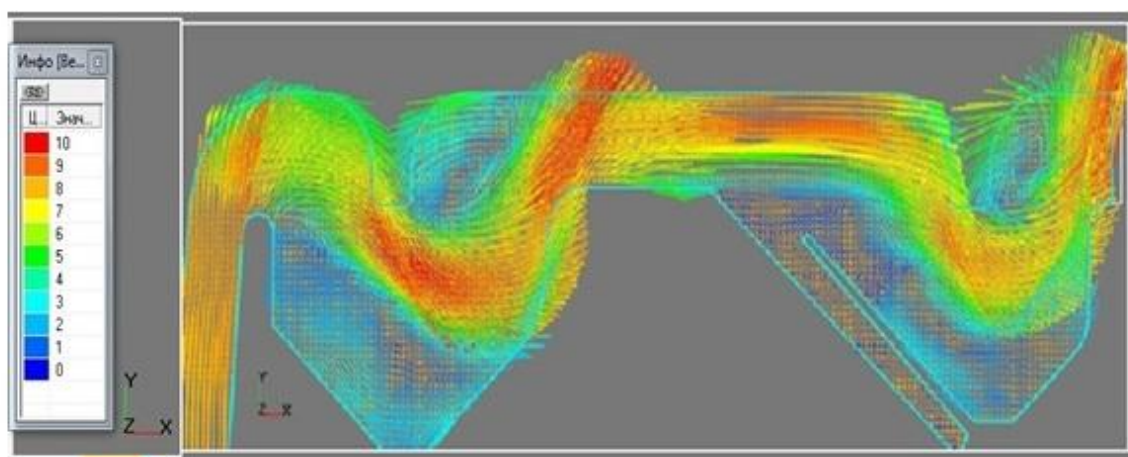


Рисунок 3.3 - Векторное поле скорости воздушного потока на продольной оси пневмосистемы

Анализ представленных результатов моделирования показывает, что высота (глубина) осадочных камер может быть уменьшена почти в два раза с 1,2 м до 0,55...0,6 м, так как, начиная практически со середины камер, наблюдается близкая к нулю скорость воздушного потока. Скорость воздушного потока в нижней части осадочной камеры секция фуража канала дорешетной очистки должна быть больше 1,5...2,0 м/с, что может обеспечить вынос за ее пределы легковесных компонентов вороха.

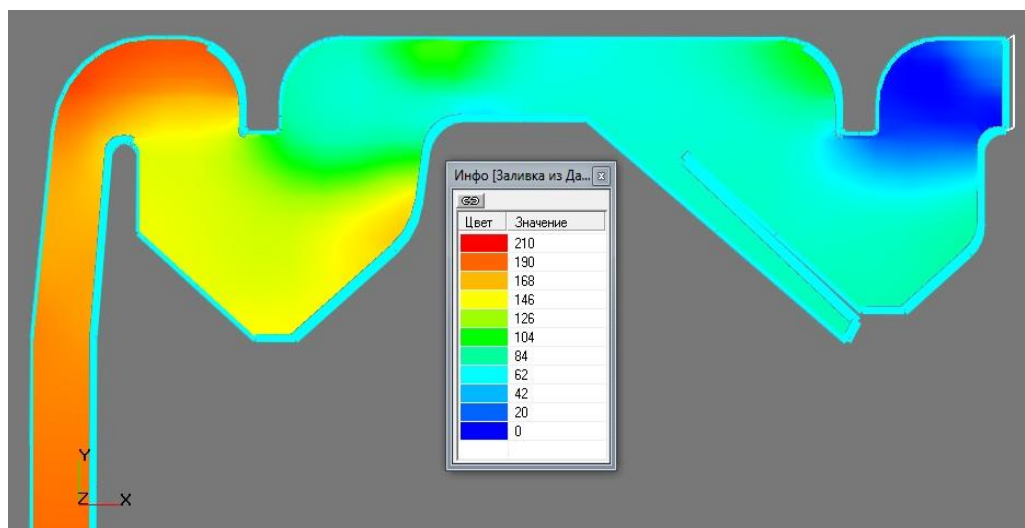


Рисунок 3.4 - Заливка из давления на продольной оси пневмосистемы

Протяженность или длину осадочных камер также необходимо уменьшить, учитывая завихрения и обратный ток воздуха за отражательными перегородками камер. Длину отражательной перегородки осадочной камеры канала послерешетной очистки для снижения сопротивления и размеров зоны завихрения требуется уменьшить до начала выноса примесей в горизонтальный канал дорешетной очистки или до значений превышающих высоту входного окна на 0,01..0,02 м.

Отражательная перегородка камеры канала дорешетной очистки при определенных значениях вектора ввода вороха в канал может быть полностью исключена из конструкции камеры, что снизит сопротивление дорешетной очистки. Потери давления (рисунок 3.4) или сопротивление пневмосистемы при холостом режиме работы превышают 205 Па.

Большее сопротивление присуще пневмосистеме послерешетной аспирации с вертикальным пневмосепарирующим каналом относительно большой длины и поворотами воздушного потока. При этом необходимо отметить тот факт, что при моделировании учитывалось условие свободного входа воздушного потока в канал послерешетной очистки.

С учетом результатов моделирования была создана замкнутая полая расчетная модель пневмосистемы с уменьшенными размерами осадочных

камер. Модель пневмосистемы с уменьшенными размерами камер приведена на рисунке 3.5.

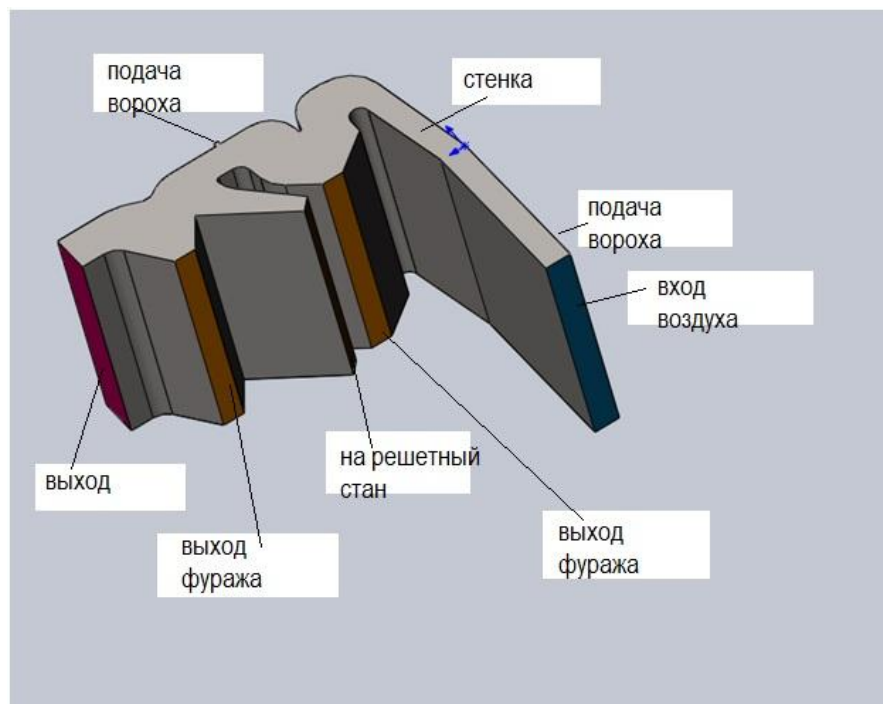


Рисунок 3.5 –Расчетная модель пневмосистемы уменьшенных размеров

В пневмосистеме кроме уменьшения высоты осадочных камер сокращены до минимума (0,12м) длина отражательной перегородки секционной камеры дорешетной очистки, длина самого канала и осадочных камер. Подача вороха на решетный стан предусмотрена как со стороны канала послерешетной очистки, так и с обратной стороны.

На рисунках 3.6 представлены векторное поле скорости воздушного потока на продольной осевой плоскости пневмосистемы.

Как видно из векторного поля, полученного по результатам моделирования (рис.3.6) осадочная камера послерешетной очистки уменьшенной высоты позволяет получать в нижней части близкие к нулевым значениям скорости воздушного потока, что говорит о возможности осаждения фуражных примесей. Структура воздушного потока в секционной осадочной камере и канале дорешетной очистки может обеспечить вынос за пределы секции фуража большей части легковесных примесей. В нижней части фуражной секции наблюдается обратное завихрение воздушного потока со скоростью до

2,4 м/с, которое вынесет из камеры в основной поток воздуха легковетные примеси, имеющие небольшую скорость витания.

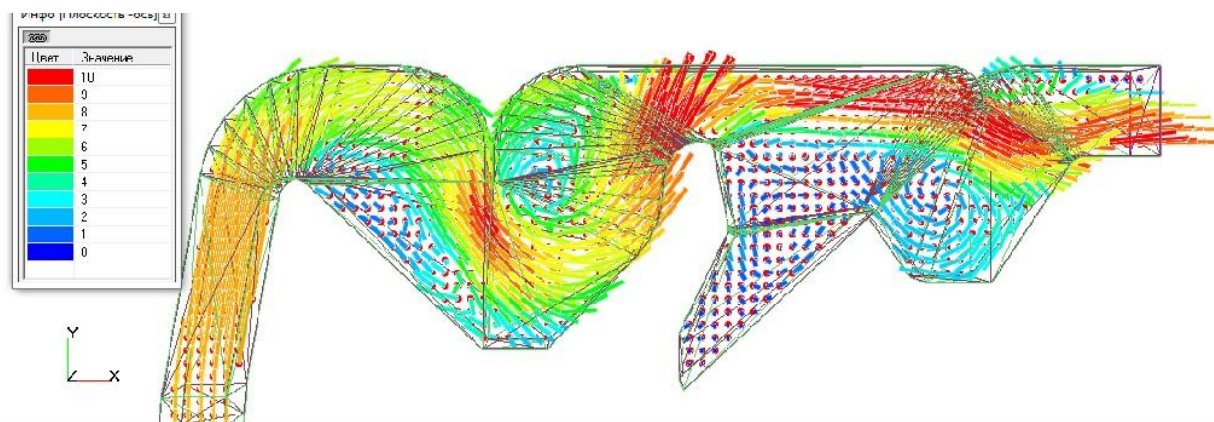


Рисунок 3.6 - Векторное поле скорости воздушного потока на продольной оси пневмосистемы уменьшенных размеров

На рисунке 3.7 приведена графическая зависимость распределения скорости воздушного потока по высоте канала в зоне ввода вороха.

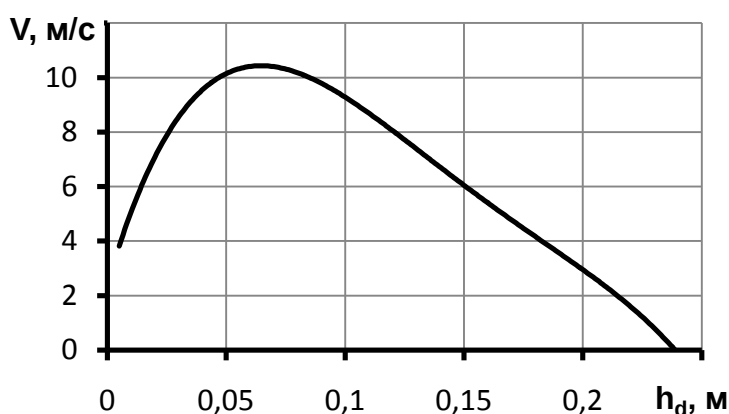


Рисунок 3.7 - Распределение скорости воздушного потока по высоте канала дорешетной очистки

Распределение воздушного потока по сечению горизонтального канала неравномерно, в верхней части канала скорость воздушного потока достигает 9,5...10,0 м/с, что в 2, 0...2,5 раза больше чем в нижней части. Такое распределение обусловлено поворотом воздушного потока при выходе из осадоч-

ной камеры канала послерешетной очистки и входе в канал дорешетной очистки.

На рисунке 3.8 представлена заливка из давления на продольной осевой плоскости пневмосистемы.

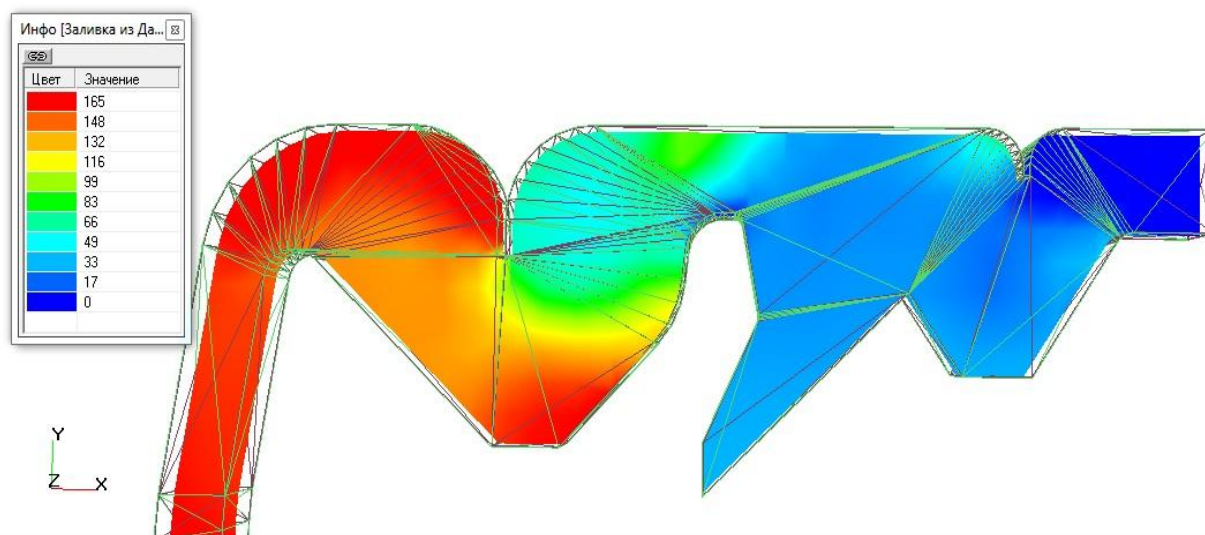


Рисунок 3.8 - Заливка из давления на продольной оси пневмосистемы

Сопротивление пневмосистемы уменьшенных размеров при холостом режиме работы не превышают 160 Па, что на 45 Па меньше чем у пневмосистемы с большим размером осадочных камер и отражательных перегородок. Меньшим сопротивлением (не более 60 Па) обладает пневмосистема дорешетной очистки, что обусловлено отсутствием поворотов канала и отражательной перегородки в осадочной камере. Сопротивление пневмосистемы послерешетной аспирации с вертикальным пневмосепарирующим каналом относительно большой длины и тремя плавными поворотами воздушного потока составляет более 90...95 Па. Моделирование проводилось при условии свободного входа воздушного потока в канал послерешетной очистки.

Таким образом, моделирование движения воздушного потока с использованием конечно-объемного метода решения уравнений гидродинамики и прямоугольной адаптивной сетки с локальным измельчением позволило построить векторное поле скоростей воздушного потока пневмосистемы с по-

следовательным прохождением последнего через послерешетную и дорешетную аспирации. Для замыкания уравнений Навье – Стокса применена стандартная k - ϵ модель турбулентности.

Результаты моделирования позволяют сделать заключение о возможности уменьшения габаритных размеров осадочных камер: высоты (глубины) почти в два раза с 1,2 м до 0,55...0,6 м; длины в 1,2...1,5 раза.

Длина отражательной перегородки осадочной камеры канала послерешетной очистки для снижения сопротивления и размеров зоны завихрения может уменьшиться до значений превышающих высоту входного окна на 0,01..0,02 м. Отражательная перегородка камеры канала дорешетной очистки при встречном вводе вороха в канал может быть полностью исключена из конструкции камеры, что снизит сопротивление дорешетной очистки.

Распределение воздушного потока по сечению горизонтального канала дорешетной аспирации неравномерно, в верхней части канала скорость воздушного потока достигает 9,5...10,0 м/с, что в 2, 0...2,5 раза больше чем в нижней части.

Уменьшение размеров пневмосистемы при холостом режиме работы позволяет снизить сопротивление на 45 Па.

Пневмосистема дорешетной очистки обладает меньшим сопротивлением (не более 60 Па), по сравнению с пневмосистемой послерешетной аспирации. Уменьшение высоты пневмосистемы дает возможность установки дополнительных ярусов решет в решетные станы без увеличения высоты воздушно-решетных зерноочистительных машин, а уменьшение длины осадочных камер позволит использовать пневмосистему на машинах с расположением двух решет в длину яруса.

3.3. Обоснование основных параметров и режима работы устройства для подачи вороха в канал дорешетной аспирации

Устройство для подачи вороха в канал должно обеспечить ввод всех компонентов вороха с определенной одинаковой скоростью и направлением

относительно воздушного потока независимо от удельной подачи, засоренности и влажности [132, 133, 207]. При этом предпочтение отдается рыхлому, предварительно расслоенному по плотности, слою, структура которого не нарушается подающим устройством. Из всех известных подающих устройств предпочтение отдается ленточным питателям и питателям лопастного типа с эластичной ячеистой поверхностью и подпружиненным клапаном.

К основным параметрам питающего устройства относятся его наружный $R_{\text{он}}$ и внутренний диаметры $R_{\text{ов}}$, положение кромки клапана относительно горизонтальной оси θ_o , суммарный объем ячеек W_y , протяженность ячейки в направлении вращения или длина ячейки l_y , глубина ячейки h_y или разность между наружным и внутренним радиусами, линейная скорость наружной поверхности V_o .

На рисунке 3.9 представлена расчетная схема вбрасывающего устройства барабанного типа покрытого обрешивенной рабочей поверхностью с шипами расположенными по винтовой спирали и нижним клапаном.

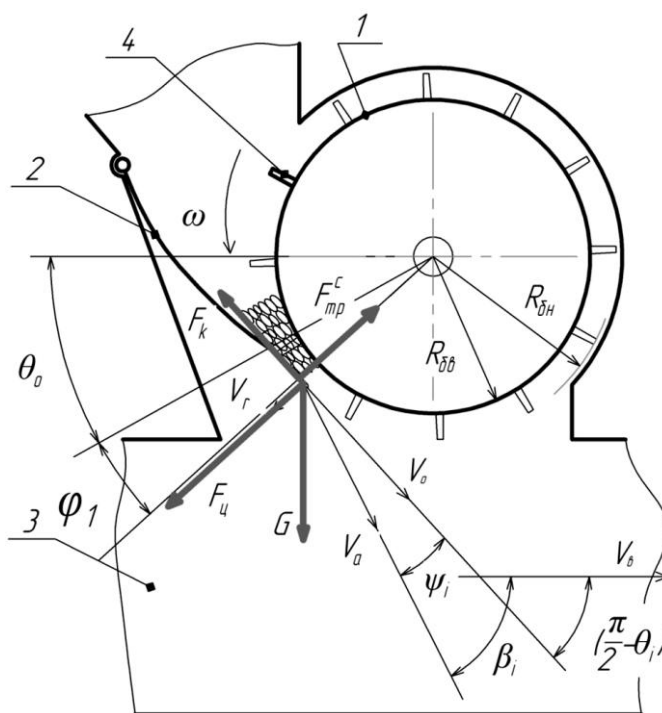


Рисунок 3.9 – Расчетная схема вбрасывающего устройства:

1 – вбрасывающий барабан; 2 – клапан барабана; 3 – горизонтальный канал дорешетной аспирации; 4 – шип барабана

Начало выгрузки компонентов вороха наступает в момент схода частицы вороха с кромки клапана. При этом исчезает нормальная реакция со стороны клапана на частицу, и последняя, не имея радиальной составляющей скорости, вбрасывается в горизонтальный воздушный поток со скоростью равной по направлению и значению относительной скорости V_o .

Угол между скоростью частицы вороха и скоростью воздушного потока будет составлять:

$$\text{при попутном вводе в канал: } \beta_o = \left(\frac{\pi}{2} - \theta_o\right);$$

$$\text{при встречном вводе: } \beta_o = \left(\frac{\pi}{2} + \theta_o\right).$$

На частицу вороха действуют следующие силы (рисунок 3.9):

сила тяжести: $G = m \cdot g$, H ; центробежная сила инерции: $F_y = m \cdot \omega^2 \cdot R_i$, H ;

сила кориолиса: $F_k = 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \frac{dR_i}{dt}$, H ; сила трения о компоненты вороха, рас-

положенные сзади по ходу вращения барабана:

$$F_{mp}^c = f^1 \cdot \left(2 \cdot m \cdot \omega \cdot \frac{dR_i}{dt} - m \cdot g \cdot \cos \theta_o\right), H.$$

В случае если проекция силы тяжести на направление нормали к центробежной силе больше силы кориолиса $m \cdot g \cdot \cos \theta_o > 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \frac{dR_i}{dt}$ возникает сила трения о поверхность шипа барабана:

$$F_{mp}^n = f \cdot \left(m \cdot g \cdot \cos \theta_o - 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \frac{dR_i}{dt}\right), H,$$

где f^1 - коэффициент внутреннего трения зернового вороха; f - коэффициент трения зернового вороха о поверхность шипа барабана; R_i - текущий радиус расположения частицы вороха на барабане, м; V_{Ri} - скорость перемещения частицы вороха в радиальном направлении, м/с.

Если принять допущение что шип имеют радиальное направление можно составить сумму проекций всех сил в направление радиуса барабана:

$$m \cdot \frac{d^2 R_i}{dt^2} = m \cdot \omega^2 \cdot R_i + m \cdot g \cdot \sin \theta_i - f^1 \cdot \left(2 \cdot m \cdot \omega \cdot \frac{dR_i}{dt} - m \cdot g \cdot \cos \theta_i \right). \quad (3.28)$$

При выполнении условия $m \cdot g \cdot \cos \theta_i > 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \frac{dR_i}{dt}$ уравнение примет

вид:

$$m \cdot \frac{d^2 R_i}{dt^2} = m \cdot \omega^2 \cdot R_i + m \cdot g \cdot \sin \theta_i - f \cdot \left(m \cdot g \cdot \cos \theta_i - 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \frac{dR_i}{dt} \right), \quad (3.29)$$

где θ_i – центральный текущий угол положения частицы вороха в момент выброса из ячейки, рад.

Уравнения представляют собой известные в теории дифференциальные уравнения второго порядка относительного движения в радиальном направлении [195]. Решение уравнений позволяет определить ускорение и скорость относительного движения частицы вороха, время за которое частица вороха достигает внешнего радиуса барабана, угол поворота барабана за время перемещения частицы к внешнему радиусу барабана.

Приняв за начало отсчета время начала выгрузки частицы вороха, находящейся на внешнем радиусе можно определить центральный текущий угол положения барабана в момент выброса из ячейки частицы вороха, находящейся на максимальном удалении от поверхности барабана (максимальном погружении) по формуле:

$$\theta_i = \theta_o + \varphi_{1i}, \quad (3.30)$$

где φ_{1i} – угол поворота барабана за время достижения частицей вороха внешнего радиуса, рад.

Угол поворота барабана за время достижения частицей вороха внешнего радиуса можно определить с учетом угловой скорости барабана и времени перемещения частицы вороха в радиальном направлении из выражения:

$$\varphi_{1i} = \omega \cdot t_{R_{\text{он}}}, \quad (3.31)$$

где $t_{R_{\delta n}}$ - время, за которое частица вороха достигает наружного радиуса барабана $R_{\delta n}$, м.

С учетом значения угла поворота барабана за время достижения частицей вороха внешнего радиуса дифференциальное уравнение примет вид:

$$m \cdot \frac{d^2 R_i}{dt^2} = m \cdot \omega^2 \cdot R_i + m \cdot g \cdot \sin(\theta_o + \omega \cdot t_i) - f \cdot \left(2 \cdot m \cdot \omega \cdot \frac{dR_i}{dt} - m \cdot g \cdot \cos \theta_i \right) \quad (3.32)$$

$$\text{при начальных условиях: } t_o = 0; R_o = R_{bmin}; \frac{dR_o}{dt} = 0, \quad (3.33)$$

где R_{bmin} - минимальный радиус положения частицы вороха в условной ячейке барабана, м.

Минимальный радиус положения частицы вороха при условии укладки частиц вороха длинной стороной в направлении перемещения с учетом характеристики вороха определится по формуле:

$$R_{bmin} = R_{\sigma b} + \frac{m_b - 3 \cdot \sigma_b}{2}. \quad (3.34)$$

Граничным условием будет достижение частицей вороха наружного радиуса барабана:

$$R_i = R_{\delta n}. \quad (3.35)$$

Выброс последней частицы вороха из ячейки произойдет при центральном угле, определяющем положение внешней кромки ячейки относительно горизонтальной оси барабана:

$$\theta_{\max} = \theta_o + \varphi_{li} = \theta_o + \omega \cdot t_i. \quad (3.36)$$

Направление вбрасывания частиц зернового вороха для частиц, расположенных у внутреннего радиуса барабана с учетом радиальной скорости перемещения частицы вдоль радиуса (угол между скоростью частицы и направлением воздушного потока) определится из выражения: при попутном вводе

$$\beta_i = \frac{\pi}{2} - \theta_o - \varphi_{1i} + \psi_i = \frac{\pi}{2} - \theta_o - \omega \cdot t_i + \arctg\left(\frac{V_{Ri}}{V_o}\right), \quad (3.37)$$

при встречном вводе:

$$\beta_i = \frac{\pi}{2} + \theta_o + \varphi_{1i} + \psi_i = \frac{\pi}{2} + \theta_o + \omega \cdot t_i + \arctg\left(\frac{V_{Ri}}{V_o}\right), \quad (3.38)$$

где ψ_i – угол между абсолютной и относительной скоростью частицы вороха, рад.

Скорость частиц вороха в момент вбрасывания в воздушный поток горизонтального канала дорешетной очистки в начале выгрузки равна относительной скорости наружной поверхности барабана:

$$V_{a\min} = V_o. \quad (3.39)$$

Скорость частиц вороха в момент вбрасывания в воздушный поток в конце выгрузки из ячейки можно определить из выражения:

$$V_{a\max} = \sqrt{V_o^2 + V_{R\phi\phi}^2} = \sqrt{V_o^2 + \left(\frac{dR_{\phi n}}{dt}\right)^2}. \quad (3.40)$$

Центральный угол поворота барабана от начала вбрасывания частиц вороха до момента выброса частиц вороха расположенных у внутренней поверхности барабана зависит от разницы внутреннего и наружного радиусов или высоты шипа. С уменьшением высоты шипа угол поворота снижается, поэтому высоты шипа должна быть как можно меньше и выбираться исходя из максимальной производительности и радиуса барабана. Расстояние между шипами должно учитывать длину зерновок вороха. По данным [250] наибольшую длину имеют зерна риса, ячменя и овса. Тогда расстояние между шипами можно определить из выражения:

$$l_{ш} \geq l_{\max} + \delta_1, \quad (3.41)$$

где $l_{\max}$ – максимальная длина зерновки овса, м; δ_1 – зазор между зерновкой и шипами ячейки, м.

Количество шипов, расположенных в ряд по окружности барабана с учетом толщины шипа можно определить по формуле:

$$z \leq \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{\text{бв}}}{l_{\text{max}} + \delta_1 + \delta}. \quad (3.42)$$

где δ – толщина шипа или его диаметр, м; z – количество шипов на барабане в одном ряду, шт.

Количество шипов округляется в меньшую сторону до целого числа, а затем корректируется зазор между зерновкой и шипом δ_1 .

Требуемый рабочий объем барабана ($\text{м}^3/\text{с}$), исходя из максимальной удельной подачи, можно определить из выражения:

$$\sum W_{\delta} = \frac{q_{\text{max}}}{\gamma \cdot k_3}, \quad (3.43)$$

где γ – объемный вес зернового вороха, $\text{кг}/\text{м}^3$, k_3 – коэффициент полноты заполнения барабана, принимается 0,7..0,85.

С учетом угловой скорости вбрасывающего барабана можно определить требуемый рабочий объем барабана за один оборот по формуле ($\text{м}^3/\text{об}$):

$$W_o = \frac{2 \cdot \pi \cdot q_{\text{max}}}{\gamma \cdot k_3 \cdot \omega}. \quad (3.44)$$

Требуемый рабочий объем барабана можно определить также исходя из конструктивных параметров:

$$W_{\text{ок}} = \pi \cdot (R_{\text{бн}}^2 - R_{\text{бв}}^2) \cdot L_{\delta} - \frac{\pi \cdot \delta^2 \cdot h_{\text{ш}} \cdot z \cdot z_p}{4}, \quad (3.45)$$

где L_{δ} – длина вбрасывающего барабана или ширина пневмосистемы, м; $h_{\text{ш}}$ – высота шипа, м; z_p – количество рядов шипов на барабане.

Очевидно, что высота шипа определяется из выражения:

$$h_{\text{я}} = R_{\text{бн}} - R_{\text{бв}}. \quad (3.46)$$

Количество рядов шипов с учетом шага их расположения и диаметра шипа определяется из выражения:

$$z = \frac{L_{\delta}}{2 \cdot l_{\text{ш}} + \delta}. \quad (3.47)$$

Приравняв правые части выражений 3.43 и 3.45 с учетом составляющих из выражений 3.43; 3.47 и 3.46 можно получить уравнение, позволяющее определять наружный радиус вбрасывающего барабана для ввода вороха с максимальной удельной подачей, с принятым предварительно внутренним диаметром и угловой скоростью:

$$R_{\text{он}}^2 - R_{\text{ов}}^2 - \frac{2 \cdot q_{\text{max}}}{\gamma \cdot \omega \cdot k_3 \cdot L_{\delta}} - \frac{\pi \cdot \delta^2 \cdot (R_{\text{он}} - R_{\text{ов}}) \cdot R_{\text{ов}}}{2 \cdot (l_{\text{ш}} + \delta) \cdot (2 \cdot l_{\text{ш}} + \delta)} = 0 \quad (3.48)$$

Выражение 3.48 представляет собой квадратное уравнение относительно наружного радиуса барабана при принятых значениях остальных параметров.

Таким образом, вбрасывание вороха в горизонтальный канал дорешетной сепарации начинается с угла поворота вбрасывающего барабана относительно горизонтальной оси θ_0 со скоростью V_{amin} под углом β_0 к направлению воздушного потока и заканчивается при угле поворота θ_{max} со скоростью V_{amax} под углом β_i к направлению воздушного потока.

После ввода компонентов вороха в горизонтальный канал дорешетной аспирации они подвергаются воздействию со стороны воздушного потока, перемещающемуся вдоль оси канала со средней скоростью V_d . Схема сил действующих на компоненты вороха в канале дорешетной аспирации при встречном вводе представлена на рисунке 3.10.

Расчет траекторий полета частиц вороха в пневмосепарирующих каналах рассматривался многими исследователями [62, 175, 207]. Для описания движения отдельных частиц вороха в воздушном потоке каналов получены системы дифференциальных уравнений относительно неподвижной или подвижной систем координат на плоскости. Решение систем дифференциальных уравнений второго порядка проводилось различными известными математическими методами [10, 162, 209].

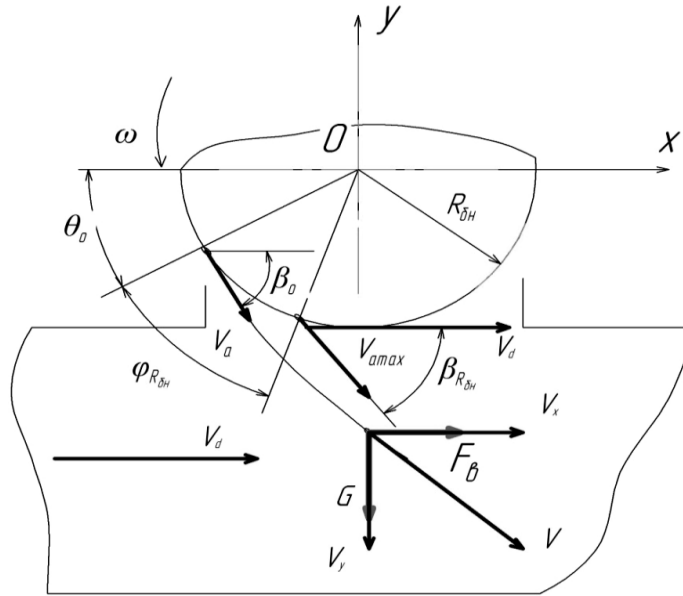


Рисунок 3.10 – Схема сил действующих на компоненты вихря в канале до-
решетной аспирации

Расположив начало декартовой системы координат в центре вбрасывающего барабана и направив ось x в направлении воздушного потока получим систему дифференциальных уравнений применительно к рассматриваемым условиям:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} &= -k_n \cdot \frac{dx}{dt} \cdot \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} + k_n \cdot \left(V_d - \frac{dx}{dt}\right)^2 \\ \frac{d^2 y}{dt^2} &= -k_n \cdot \frac{dy}{dt} \cdot \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} - g, \end{aligned} \quad (3.49)$$

где k_n – коэффициент парусности компонентов вихря. м^{-1} .

Начальными условиями для решения системы уравнений в момент ввода компонентов вихря расположенных на внешнем радиусе вбрасывающего барабана при попутном вводе относительно направления воздушного потока будут:

$$\begin{aligned} x(0) &= -R_{обн} \cdot (\cos \theta_o - (1 - \sin \theta_o) \cdot \operatorname{tg} \theta_o), y(0) = -R_{обн}, \\ \frac{dx}{dt}(0) &= \omega \cdot R_{обн} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta_o\right), \frac{dy}{dt}(0) = -\omega \cdot R_{обн} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta_o\right). \end{aligned} \quad (3.50)$$

Начальными условиями для решения системы уравнений в момент ввода компонентов вороха расположенных на внутреннем радиусе вбрасывающего барабана при попутном вводе относительно направления воздушного потока будут:

$$\begin{aligned}
 x(0) &= -R_{\text{ош}} \cdot \left[\cos(\theta_o + \omega \cdot t_{R_{\text{ош}}}) - \{1 - \sin(\theta_o + \omega \cdot t_{R_{\text{ош}}})\} \cdot \text{tg} \left\{ \theta_o + \omega \cdot t_{R_{\text{ош}}} - \text{arctg} \left(\frac{\frac{dR}{dt}(R_{\text{ош}})}{\omega \cdot R_{\text{ош}}} \right) \right\} \right], \\
 y(0) &= -R_{\text{ош}}, \\
 \frac{dx}{dt}(0) &= \sqrt{(\omega \cdot R_{\text{ош}})^2 + \left(\frac{dR}{dt}(R_{\text{ош}}) \right)^2} \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} - \theta_o - \omega \cdot t_{R_{\text{ош}}} + \text{arctg} \left(\frac{\frac{dR}{dt}(R_{\text{ош}})}{\omega \cdot R_{\text{ош}}} \right) \right), \\
 \frac{dy}{dt}(0) &= -\sqrt{(\omega \cdot R_{\text{ош}})^2 + \left(\frac{dR}{dt}(R_{\text{ош}}) \right)^2} \cdot \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta_o - \omega \cdot t_{R_{\text{ош}}} + \text{arctg} \left(\frac{\frac{dR}{dt}(R_{\text{ош}})}{\omega \cdot R_{\text{ош}}} \right) \right).
 \end{aligned} \tag{3.51}$$

Граничным условием является достижение компонентами вороха по оси y координаты, соответствующей положению нижней стенки горизонтального канала дорешетной очистки:

$$y(t) = -(R_{\text{ош}} + h_d), \tag{3.52}$$

где h_d – глубина (высота) канала дорешетной очистки в зоне ввода вороха, м.

Начальными условиями для решения системы уравнений в момент ввода компонентов вороха расположенных на внешнем радиусе вбрасывающего барабана при встречном вводе будут:

$$\begin{aligned}
 x(0) &= R_{\text{ош}} \cdot (\cos \theta_o - (1 - \sin \theta_o) \cdot \text{tg} \theta_o), \\
 y(0) &= -R_{\text{ош}}, \\
 \frac{dx}{dt}(0) &= \omega \cdot R_{\text{ош}} \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} + \theta_o \right) = -\omega \cdot R_{\text{ош}} \cdot \sin \theta_o, \\
 \frac{dy}{dt}(0) &= -\omega \cdot R_{\text{ош}} \cdot \sin \left(\frac{\pi}{2} + \theta_o \right) = -\omega \cdot R_{\text{ош}} \cdot \cos \theta_o.
 \end{aligned} \tag{3.53}$$

Начальными условиями для решения системы уравнений в момент ввода компонентов вороха расположенных на внутреннем радиусе вбрасывающего барабана при встречном вводе будут:

$$\begin{aligned}
 x(0) &= R_{\bar{o}H} \cdot \left[\cos(\theta_o + \omega \cdot t_{R_{\bar{o}H}}) - \{1 - \sin(\theta_o + \omega \cdot t_{R_{\bar{o}H}})\} \cdot \operatorname{tg} \left\{ \theta_o + \omega \cdot t_{R_{\bar{o}H}} - \operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{dR}{dt}(R_{\bar{o}H})}{\omega \cdot R_{\bar{o}H}} \right) \right\} \right], \\
 y(0) &= -R_{\bar{o}H}, \\
 \frac{dx}{dt}(0) &= -\sqrt{(\omega \cdot R_{\bar{o}H})^2 + \left(\frac{dR}{dt}(R_{\bar{o}H}) \right)^2} \cdot \sin \left(\theta_o + \omega \cdot t_{R_{\bar{o}H}} - \operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{dR}{dt}(R_{\bar{o}H})}{\omega \cdot R_{\bar{o}H}} \right) \right), \\
 \frac{dy}{dt}(0) &= -\sqrt{(\omega \cdot R_{\bar{o}H})^2 + \left(\frac{dR}{dt}(R_{\bar{o}H}) \right)^2} \cdot \cos \left(\theta_o + \omega \cdot t_{R_{\bar{o}H}} - \operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{dR}{dt}(R_{\bar{o}H})}{\omega \cdot R_{\bar{o}H}} \right) \right).
 \end{aligned} \tag{3.54}$$

Решение дифференциального уравнения второго порядка 3.50 с учетом начальных условий 3.51 и 3.52 при попутном вводе вороха, начальных условий 3.54 и 3.55 при встречном вводе вороха, граничного условия 3.53 совместно с дифференциальным уравнением 3.32 и выражением 3.48 было проведено с помощью прикладного математического пакета Maple 14. При проведении расчетов были учтены следующие условия: коэффициенты парусности для полноценного зерна принимались $0,07...0,145 \text{ м}^{-1}$; фуражной фракции $0,146...0,275 \text{ м}^{-1}$; фракции отходов $0,275...4,2 \text{ м}^{-1}$. При расчетах траекторий и скоростей компонентов вороха значения параметров изменяли в следующих пределах: начальный угол ввода вороха в канал при попутном вводе $\beta_0 = 15...90^\circ$; начальный угол ввода вороха в канал при встречном вводе $\beta_0 = 95...165^\circ$; высоту (глубину) канала дорешетной очистки с учетом глубины канала послерешетной очистки $h_d = 0,18...0,26 \text{ м}$; окружную скорость вбрасывающего барабана или начальную скорость вбрасывания вороха $V_0 = 1,0...3,0 \text{ м/с}$; внутренний радиус вбрасывающего барабана $R_{\bar{o}B} = 0,052...0,152 \text{ м}$; сред-

ную скорость воздушного потока в канале дорешетной очистки при использовании воздушного потока, обработавшего в канале послерешетной аспирации $V_d = 6,0 \dots 9,5$ м/с.

Использование встречного ввода вороха для частичного разделения зернового вороха на фракции, с выделением на этапе дорешетной очистки части фуражной фракции и фракции отходов имеет преимущество по сравнению с попутным вводом. Результаты расчета траекторий движения компонентов вороха при его вводе со скоростью 1,3 м/с барабаном с радиусом 0,102 м под углом 150° относительно направления воздушного потока, имеющего среднюю скорость в канале 8,5 м/с (встречный ввод) представлены на рисунке 3.11.

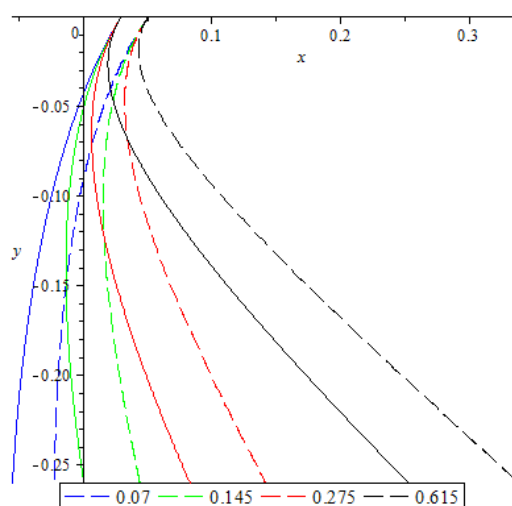


Рисунок 3.11 – Расчетные траектории движения компонентов вороха в канале дорешетной очистки при начальном угле ввода 150°

С увеличением глубины осадочной камеры зона распределения полноценного зерна и фуража растет, однако этот путь ведет к повышению высоты аспирации и увеличению габаритного размера по высоте.

На рисунке 3.12 представлена графическая зависимость зоны распределения полноценного зерна от угла ввода вороха.

Для оценки возможности дальнейшего расслоения компонентов вороха за счет инерционных сил и действия силы тяжести, с учетом различия в на-

правлениях и скоростях движения приобретенных в канале дорешетной очистки, проводился расчет траекторий движения после прохождения границы нижней стенки канала и перемещения в пределах осадочной камеры. При этом было сделано допущение о том, что скорость движения воздушного потока в пределах камеры близка к нулю и ею в расчетах можно пренебречь.

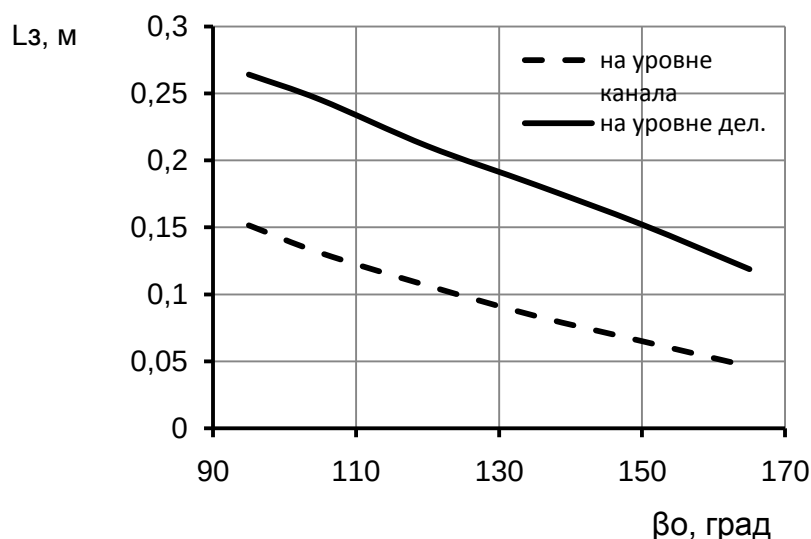


Рисунок 3.12 – Зависимость зоны распределения компонентов основной фракции в канале дорешетной очистки от угла ввода вороха

Скорректировав дифференциальные уравнения 3.50, и приняв за начальные условия координаты и скорость компонентов вороха в момент нахождения на уровне границы нижней стенки канала, было проведено их решение с помощью прикладного математического пакета Maple 14, совместно с уравнениями 3.32, 3.47, 3.50 и построены траектории движения компонентов вороха в осадочной камере. Положение верхней кромки разделительной стенки изменяли в пределах $h_0=0,2\dots0,5$ м.

Разделительная стенка делит осадочную камеру на две секции: секцию для сбора основной фракции, предварительно очищенной в канале от легко-весных и фуражных фракций по аэродинамическим свойствам и секцию для сбора выделенных фуражных фракций и части легко-весных примесей. Как показывает анализ траекторий движения и результатов расчета, при переме-

щении по осадочной камере компоненты вороха, имея различие в направлениях и численных значениях скоростей, увеличивают расстояние между своими траекториями, повышая тем самым вероятность разделения.

Как видно из рисунка 3.12 с уменьшением угла ввода вороха навстречу воздушному потоку зона распределения основной фракции растёт, как на уровне канала, так и на уровне делительного клапана. Аналогичным образом, растут зоны распределения фуражной и отходовой фракций, что предполагает и повышение полноты разделения вороха на фракции в дорешетной аспирации.

На основании результатов расчетов и графического представления траекторий и скоростей движения компонентов вороха (Приложение Г) можно отметить преимущество встречного ввода вороха независимо от скорости воздушного потока в канале и начальной скорости вбрасывания. При встречном вводе вороха наблюдается большая разница между траекториями движения компонентов на границе фракции полноценного зерна ($k_n=0,145 \text{ м}^{-1}$) и фуражной фракции ($k_n=0,273 \text{ м}^{-1}$). Увеличение угла ввода вороха приводит во первых к уменьшению всей зоны расслоения вороха по горизонтали, во вторых, зоны разделения и вывода разделяемых компонентов по горизонтали приближаются к зоне ввода вороха, что значительно затрудняет возможность использования инерционных сил для дальнейшего расслоения компонентов вороха после их выхода за границу нижней стенки канала. Использование попутного ввода наоборот приводит к смещению зоны разделения и вывода разделяемых компонентов по горизонтали, что увеличивает габариты осадочной камеры, а с учетом взаимодействия компонентов вороха ведет к росту вероятности попадания полноценного зерна в фуражную фракцию.

Вбрасывающие барабаны большего размера или с большим внутренним радиусом, исходя из требования повышения начальной скорости вбрасывания для исключения пересечения траекторий движения компонентов вороха с одинаковыми коэффициентами парусности, при прочих равных условиях не дают существенного увеличения длины зоны распределения.

На рисунке 3.13 представлены траектории движения компонентов вороха, полученные при вбрасывании вороха в канал под углом 45° с начальной скоростью $1,0 \dots 1,3$ м/с при средней скорости воздушного потока в канале $6,0$ м/с и высоте канала $0,26$ м и различных размерах вбрасывающего барабана.

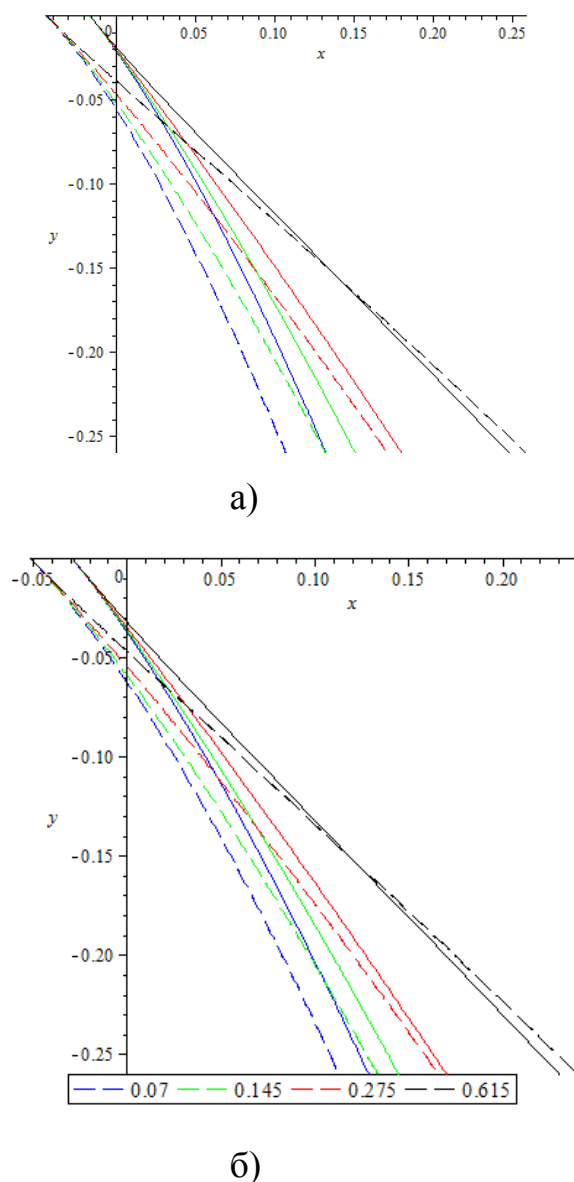


Рисунок 3.13- Траектории движения компонентов вороха в канале дорешетной очистки: а) при внутреннем радиусе барабана $R_{\text{об}} = 0,077$ м; б) $R_{\text{об}} = 0,102$ м

Как видно из рисунка 3.13а, при внутреннем радиусе вбрасывающего барабана $R_{\text{об}} = 0,077$ м и начальной скорости вбрасывания вороха $1,0$ м/с протяженность зоны распределения основной фракции составляет $0,039$ м.

При внутреннем радиусе вбрасывающего барабана $R_{\text{бв}} = 0,102$ м и скорости вбрасывания 1,3 м/с зона распределения основной фракции составляет 0,032 м (рисунок 3.13б).

Наиболее приемлемый путь повышения эффективности пневмосепарации с использованием инерционных и аэродинамических свойств вороха, по мнению многих исследователей – это повышение скоростного режима и высоты или глубины зоны сепарации [10, 67, 94, 101, 132, 197, 221]. По результатам исследований В.И. Агаркова и А.В. Коновалова [6, 7, 124] скорость воздушного потока при разделении на фракции наиболее целесообразно выбирать в пределах 8,5...9,1 м/с при высоте зоны разделения 0,21 м.

Повышение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки, при использовании в нем только воздушного потока прошедшего через канал послерешетной очистки, возможно за счет уменьшения высоты (глубины) канала, увеличения глубины канала послерешетной очистки и общего расхода воздуха пневмосистемой или дополнительного забора воздуха после осадочной камеры послерешетной аспирации. На рисунке 3.14 представлена зависимость зоны распределения основной фракции от скорости воздушного потока в канале.



Рисунок 3.14 – Зависимость зоны распределения основной фракции в канале дорешетной очистки от скорости воздуха при вводе под углом 135°

Расчет проводился при высоте канала $h_d=0,22$ м, вбрасывании вороха со скоростью 1,0 м/с вбрасывающим барабаном с внутренним радиусом $R_{\text{бб}} = 0,077$ м под начальным углом 135° .

Повышение скорости воздушного потока в канале с $V_d=6,5$ м/с до 9,5 м/с ведет к росту расчетной длины зоны распределения основной фракции с 0,05 м до 0,124 м или более чем в два раза. Перекрывание траекториями движения фуражных фракций траекторий движения зерна уменьшается и составляет не более 0,015 м или менее 20,0% протяженности зоны.

3.4. Выводы

1. В качестве канала дорешетной аспирации наиболее рационально использовать горизонтальный канал с секционной осадочной камерой, служащий одновременно воздухоотводящим каналом для вывода воздушного потока из осадочной камеры послерешетной аспирации к радиальному вентилятору. Новизна технического решения защищена патентом РФ 2469525 на изобретение.

2. Последовательное использование воздушного потока в пневмосистеме с горизонтальным каналом дорешетной аспирации позволяет уменьшить затраты энергии на привод вентилятора по сравнению с параллельной схемой соединения каналов и вентилятора.

3. Моделирование движения воздушного потока, с использованием конечно-объемного метода решения уравнений гидродинамики и прямоугольной адаптивной сетки с локальным измельчением, позволило построить векторное поле скоростей воздушного потока, заливку из давления в пневмосистеме и сделать заключение о возможности уменьшения габаритных размеров осадочных камер и отражательных перегородок.

4. Уменьшение размеров пневмосистемы при холостом режиме работы позволяет снизить сопротивление на 45 Па.

5. В результате моделирования установлено неравномерное распределение воздушного потока по сечению горизонтального канала дорешетной

аспирации: в верхней части канала скорость воздушного потока достигает 9,5...10,0 м/с, что в 2, 0...3,5 раза больше чем в нижней части.

6. Для уменьшения угла разброса вороха и увеличения длины зоны ввода вороха барабаном его внутренний радиус должен составлять 0,075...0,15 м.

7. В результате моделирования установлено преимущество встречного ввода вороха в канал, которое обеспечивает при угле ввода $90...120^{\circ}$ длину зоны распределения фуражной фракции 0,12...0,15 м, что в 1,5...2,0 раза превышает длину аналогичной зоны при попутном угле ввода $45...60^{\circ}$.

8. Основным фактором, влияющим на распределение фуражной фракции, является скорость воздушного потока. При повышении скорости воздушного потока в канале с 6,5 м/с до 9,5 м/с расчетную длину зоны распределения фуражной фракции растет с 0,055 м до 0,124 м или более чем в два раза.

9. Разделительную стенку, делящую осадочную камеру на секцию для сбора основной фракции и секцию для сбора выделенных фуражных фракций рационально оборудовать поворотным клапаном, позволяющим регулировать соотношение ширины камер в зависимости от состава вороха и режима работы пневмосистемы.

10. Проведенное моделирование работы пневмосистемы не учитывает влияние компонентов вороха на воздушный поток, как несущую среду, взаимодействие компонентов вороха между собой, поэтому окончательно рациональные параметры и режим работы пневмосистемы могут быть определены только экспериментальным путем.

4. Программа и методика экспериментальных исследований

4.1. Программа экспериментальных исследований

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

- определить распределение скорости воздушного потока по сечению пневмосистемы для оценки результатов полученных при моделировании ее работы;
- исследовать и обосновать рациональное положение и режим работы вбрасывающего устройства ввода вороха в канал дорешетной аспирации;
- обосновать целесообразность деления нижней части канала послерешетной очистки при подаче вороха опорной колеблющейся сеткой и определить рациональные параметры предварительной зоны канала;
- выявить влияние глубины горизонтального канала дорешетной очистки на качество его работы и определить минимальные значения, обеспечивающие приемлемые качественные показатели;
- исследовать влияние подачи вороха на качественные показатели работы двухаспирационной пневмосистемы с одним воздушным потоком;
- обосновать рациональную схему размещения решет в решетном стане;
- исследовать возможность вывода нижнего слоя зерна с конца сортировальных решет без подачи в канал послерешетной очистки при различных режимах работы;
- изучить влияние подачи воздуха и зернового вороха на сопротивление элементов пневмосистемы и удельные затраты энергии.

4.2. Экспериментальные установки, приборы и оборудование

Для проведения исследований и обоснования основных параметров пневмосистемы, с обслуживанием послерешетной и дорешетной аспираций одним воздушным потоком, изготовлена экспериментальная установка. Об-

щий вид установки приведен на рисунке 4.1. Технологическая схема работы установки показана на рисунке 4.2.

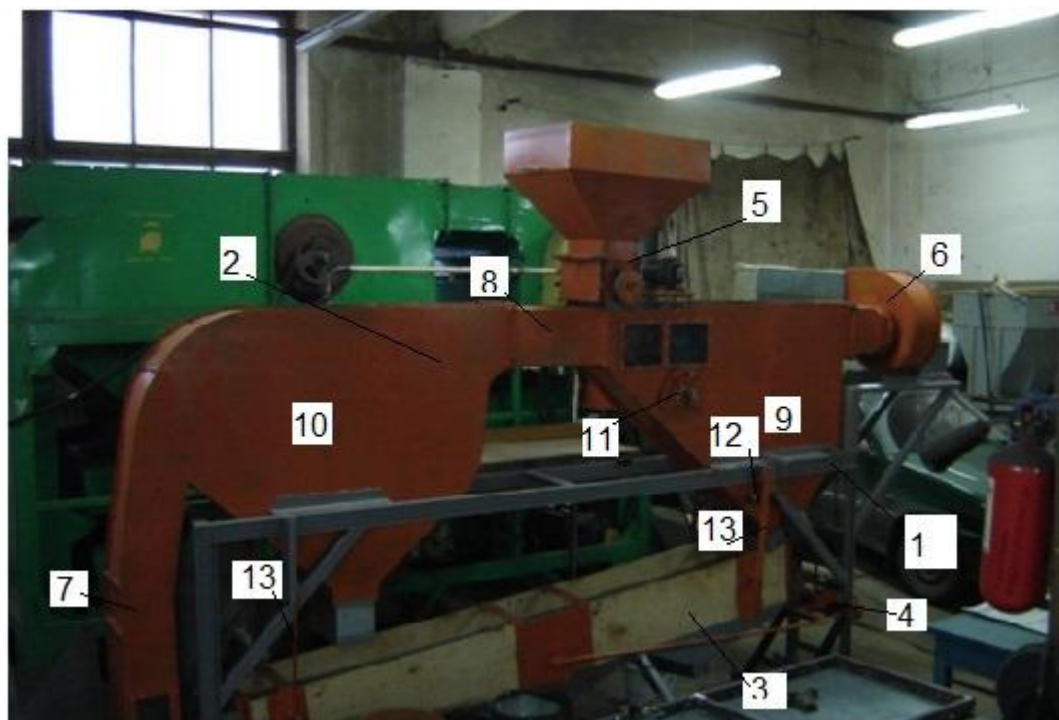


Рисунок 4.1 – Общий вид экспериментальной установки:

1 – рама; 2 – двухаспирационная пневмосистема; 3 – решетный стан с двухъярусным расположением решет; 4 – механизм привода решетного стана; 5 – вбрасывающее устройство с загрузочным бункером; 6 – центробежный вентилятор; 7 – канал послерешетной аспирации; 8 – канал дорешетной аспирации; 9 – двухсекционная 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

Установка состоит из рамы 1, на которой установлена двухаспирационная пневмосистема 2, центробежный вентилятор 6, механизм привода решетного стана 4. Двухаспирационная пневмосистема 2 включает канал послерешетной аспирации 7 со своей осадочной камерой 10, горизонтальный канал дорешетной аспирации 8 с двухсекционной осадочной камерой 9, всасывающий воздуховод и центробежный вентилятор 6. Подача вороха в канал дорешетной очистки осуществляется вбрасывающим устройством 5 из загруз-

зочного бункера. Решетный стан 3 закреплен на раме 1 с помощью пружинных подвесок 13 и приводится в колебательное движение эксцентриковым механизмом привода 4 от электродвигателя посредством клиноременной передачи. На боковой стенке двухсекционной осадочной камеры 9 канала дорешетной аспирации 8 установлен механизм управления разделительным клапаном 11, который разделяет камеру на две секции. Гравитационный клапан 12 установлен в конце канала подачи зернового вороха на решетную очистку из секции осадочной камеры 9 канала дорешетной аспирации 8. Горизонтальный канал дорешетной аспирации 8 соединяет осадочную камеру 10 канала послерешетной аспирации 7, двухсекционную осадочную камеру 9, всасывающий воздуховод в единый аспирационный блок с центробежным вентилятором 6. 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. Новизна технического решения по двухаспирационной пневмосистеме защищена патентом 2469525 РФ МПК A01F 12/44 на изобретение [182].

Установка имеет рабочую ширину пневмосистемы 0,3 м, а в продольно-вертикальной плоскости истинный размер пневмосистемы с одним решетным станом, имеющим двухъярусное расположение решет с шариковыми очистителями и установкой в каждом ярусе в длину трех решетных полотен длиной 0,99 м каждое.

Установка работает следующим образом (рисунок 4.2). Зерновой ворох загружается в бункер 6, откуда через дозирующую заслонку по скатной поверхности направляется к вбрасывающему устройству 5. Вбрасывающим устройством 5 с обрешиненной рабочей поверхностью и сменным клапаном 7, обеспечивающим изменение угла ввода вороха в канал по отношению к направлению воздушного потока, ворох вбрасывается в пневмосепарирующий канал дорешетной аспирации 8.

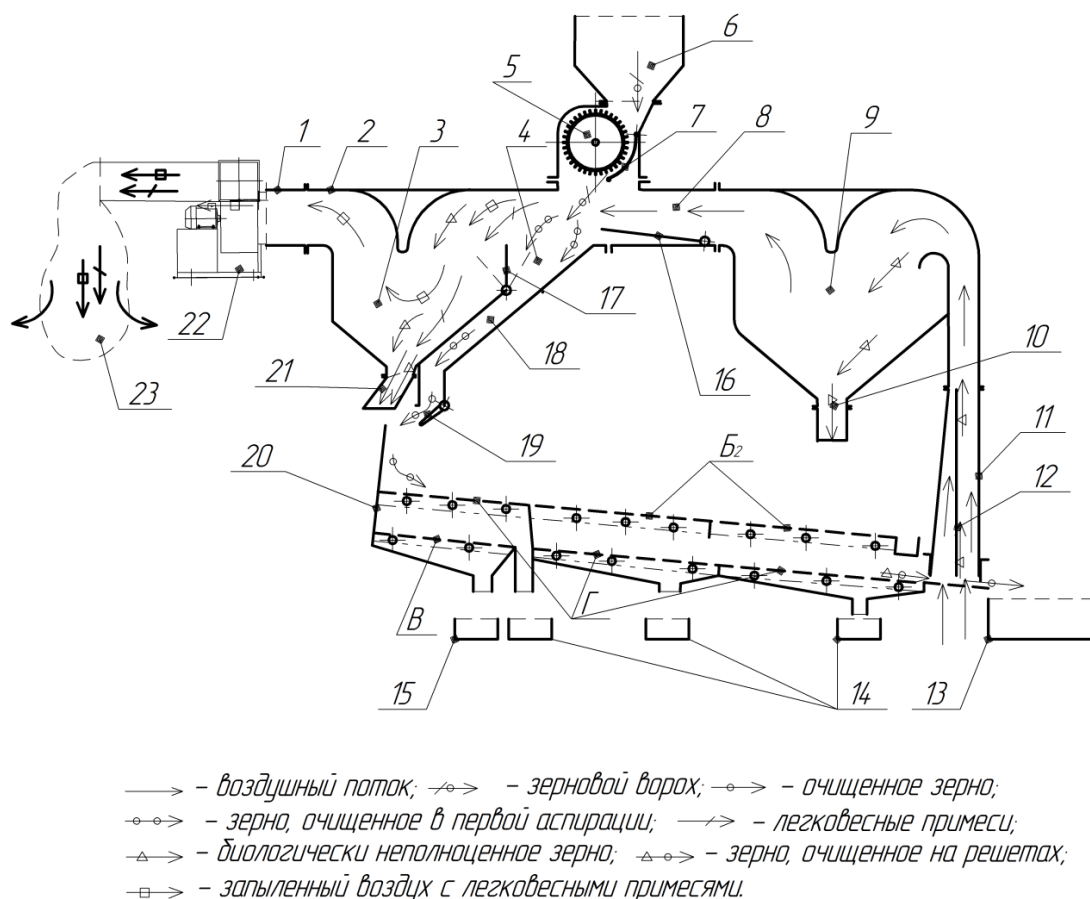


Рисунок 4.2 - Схема экспериментальной установки с двухъярусным решетным станом:

1 – всасывающий воздуховод к вентилятору; 2 – осадочная камера канала дорешетной аспирации; 3 – секция для сбора засорителей и биологически неполноценных зерновок; 4 – секция для выделения зерна, очищенного при дорешетной аспирации; 5 – вбрасывающее устройство; 6 – загрузочный бункер; 7 – клапан вбрасывающего устройства; 8 – пневмосепарирующий канал дорешетной аспирации; 9 – осадочная камера канала послерешетной аспирации; 10, 19 – сборники осадочных камер; 11 – пневмосепарирующий канал послерешетной аспирации; 12 – разделительная стенка канала послерешетной аспирации; 13 – сборник очищенного зерна; 14 – сборники фуражных фракций; 15 – сборник мелких примесей; 16 – клапан регулировки скорости в канале; 17 – разделительный регулировочный клапан; 18 – канал подачи зерна на решетную очистку; 19 – гравитационный клапан; 20 – решетный стан; 22 – центробежный вентилятор; 23 – сборник легковесных фракций; B_2 – колосовые решета, Γ – сортировальные решета; B – подсевное решето

В этот же канал поступает воздух, забранный через канал послерешетной очистки 11 из атмосферы. На входе в канал воздух продувает идущее сходом с сортировальных решет Γ зерно, вынося в осадочную камеру 9 щуплые биологически неполноценные зерновки, оставшиеся легковесные и другие примеси. Основная часть вынесенных воздухом компонентов оседает в

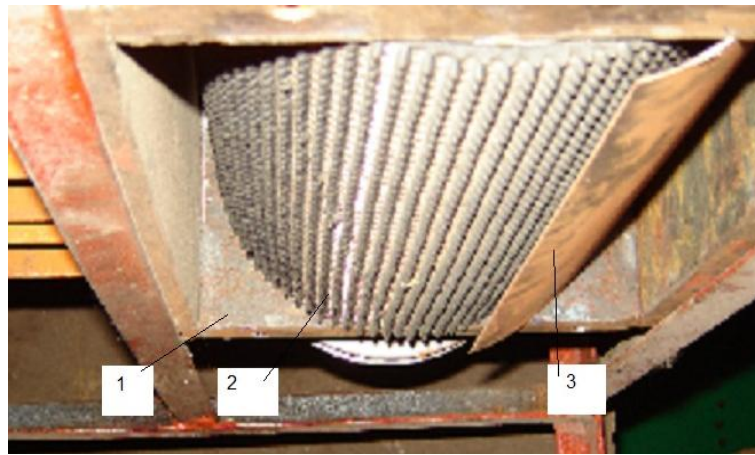
осадочной камере 9 и сборнике 10, а воздух с пылью поступает в канал 8 дорешетной очистки, где встречается с зерном, только вошедшим в машину. В канале дорешетной очистки под воздействием воздушного потока происходит разделение зернового вороха на две части: с большей и меньшей плотностью компонентов. Более плотные компоненты вороха, включая и полноценное зерно основной культуры незначительно изменяя траекторию движения, направляются в секцию 4 осадочной камеры, отделенную разделительным регулировочным клапаном 17 и через канал 18 и гравитационный клапан 19 поступают на решетный стан 20. Компоненты вороха с меньшей плотностью, включая легковесные примеси, часть засорителей, дробленого и щуплого зерна отклонившись под действием воздушного потока, поступают в секцию 3 осадочной камеры 2 канала дорешетной очистки. Компоненты вороха, кроме легковесных примесей и пыли осаждаются в секции 3 и сборнике 21 осадочной камеры, а последние направляются вентилятором 22 по всасывающему воздуховоду 1 в сборник легковесных фракций. Решетный стан 20 имеет двухъярусное размещение решет с шариковой очисткой отверстий от зававших зерён. В верхнем ярусе в длину расположены сортировальное Γ и два колосовых решета B_2 . В нижнем ярусе подсевное B , разгрузочный канал для вывода схода с подсевного решета в сборник фуража и два сортировальных решета Γ . Верхнее сортировальное решето выделяет проходом из зернового вороха часть мелких примесей и мелкого фуражного зерна, а оставшейся ворох с крупными примесями сходом поступает на колосовые решета. Все компоненты вороха, за исключением крупных примесей, проходом поступают на сортировальные решета нижнего яруса, где выделяется оставшееся мелкое фуражное зерно основной культуры и мелкие примеси. Выделенное каждым решетом фуражное зерно с частью мелких примесей поступает в свои сборники 14. Крупные примеси с колосовых решет верхнего яруса поперечным лотком направляются в сборник крупных примесей. Подсевное решето нижнего яруса выделяет проходом, из поступающего на него с верхнего сортировального решета вороха, содержащего мелкие примеси и мелкое

фуражное зерно, мелкие примеси. Идущее сходом с сортировальных решет нижнего яруса зерно основной фракции, из которого выделены большая часть мелкого фуражного зерна, мелких и легковесных примесей, часть засорителей, дробленого и щуплого зерна, рамкой с опорной сеткой подается в канал 11 дорешетной очистки. В канале дорешетной очистки происходит выделение щуплых биологически неполноценных зерновок, оставшихся легковесных и других примесей.

В конструкции шариковой очистки решетных полотен решетного стана применено техническое решение по патенту 2386486 РФ МПК В07 В 1/54, позволяющее ликвидировать мертвые зоны и исключить забиваемость отверстий решет на границах клеток подрешетной отражательной поверхности.

На установке предусмотрена возможность изменения положения разделительного клапана 17 и положения вбрасывающего устройства 5 в горизонтальном направлении, скорости ввода вороха в канал и скорости воздушного потока в каналах, частоты колебаний решетного стана. В канале дорешетной очистки 8 скорость воздушного потока дополнительно можно регулировать с помощью клапана 16. При опущенном клапане 16 конструктивная глубина канала послерешетной очистки и высота канала дорешетной очистки обеспечивают соотношение скоростей 1,44 :1 соответственно. Конструкция установки позволяла изменять количество и положение решет в решетном стане и выводить в отдельные сборники сход с колосовых решет (крупные примеси), проход подсежных решет (мелкие примеси); проход каждого сортировального решета отдельно (фуражное зерно). Нижняя часть канала послерешетной аспирации 11 выполнена съёмной, что позволяло в процессе проведения опытов использовать несколько вариантов конструкции.

Вбрасывающее устройство представляет собой отдельный блок, который с возможностью перестановки закрепляется на горизонтальном пневмосепарирующем канале дорешетной очистки. Оно включает (рисунок 4.3) корпус 1, в котором с помощью самоустанавливающихся подшипников закреплён вал вбрасывающего барабана 2.



а)



б)

Рисунок 4.3 – Питающее устройство:

а – вбрасывающий барабан: 1 – корпус; 2 – барабан с обрезиненной поверхностью; 3 – сменный клапан; б – бункер с дозирующей заслонкой: 4 – бункер; 5 – дозирующая заслонка; 6 – шкала дозирующей заслонки

Сверху на барабане закреплена обрезиненная поверхность с шипами расположенными рядами или в шахматном порядке. Характеристика рабочей поверхности вбрасывающего устройства приведена в таблице 4.1. Наружный диаметр барабана без рабочей поверхности составляет 0,102 м. Под барабаном на поворотной оси устанавливается сменный клапан 3 различной длины, обеспечивающий определенный угол вбрасывания вороха по отношению к горизонтали или направлению воздушного потока в канале. Привод, вбрасы-

вающий барабан получает от электродвигателя посредством клиноременной передачи.

Таблица 4.1 – Характеристика рабочей поверхности вбрасывающего устройства

Вариант поверхности	Высота резиновых шипов, мм	Диаметр резиновых шипов, мм	Расстояние между шипами, мм	Расположение шипов
а	7	2,5	9	рядное
б	10	3,0	12	рядное
в	10	3,0	24	в шахматном порядке

На корпусе вбрасывающего устройства устанавливается питающий бункер 4 (рисунок 4.3б) с дозирующей заслонкой 5 и наклонной направляющей скатной пластиной для подачи вороха к барабану со стороны клапана. Подачу вороха в установку в пределах $q = 0,25...2,25$ кг/(с·дм) изменяли дозирующей заслонкой. Скорость вбрасывания вороха в пневмосепарирующий канал дорешетной очистки изменяли от 0,75 до 4,95 м/с регулированием частоты вращения ротора электродвигателя частотным преобразователем марки СТА-С2-380В-0,75/1,5. Скорость воздушного потока в пневмосепарирующем канале послерешетной аспирации изменяли частотным преобразователем марки СТА-С2-380В-1,5/2,2, а в канале дорешетной очистки дополнительно изменением положения клапана 16 (рисунок 4.2).

Для обоснования целесообразности разделения нижней части канала послерешетной очистки на две зоны и определения рациональных параметров каждой из зон была изготовлена сменная нижняя часть (рисунок 4.4). Нижняя часть канала состоит из основной части 1 и входной расширяющейся к низу части 2, между которыми закреплена подвижная внутренняя стенка 3. С обеих сторон канал охватывают боковины лотка 6 подачи вороха с решетного стана, между которыми закреплена подающая опорная сетка 8. На передней стенке входной части канала и задней – основной части установлены подвижные клапаны 5 и 4 с нижней эластичной вставкой. Положение клапа-

нов изменяли в зависимости от подачи и толщины слоя вороха на входе в канал послерешетной очистки.

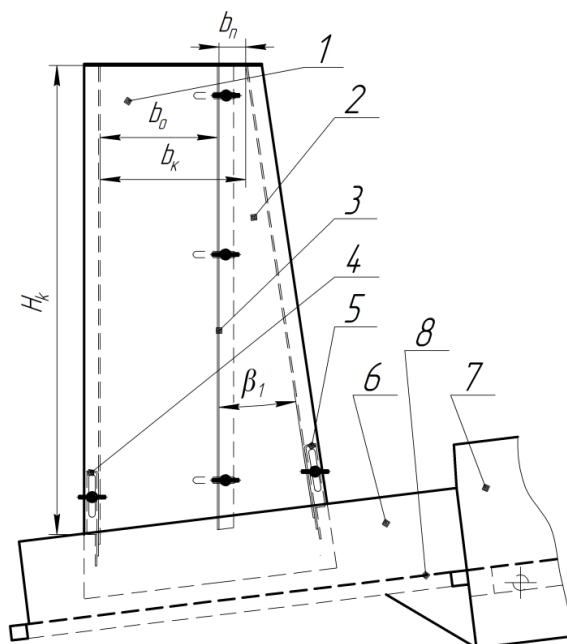


Рисунок 4.4 - Схема нижней съемной части канала послерешетной аспирации:

1- основная часть канала; 2 – входная расширяющаяся часть канала; 3 – подвижная внутренняя стенка; 4, 5 – выходной и входной подвижные клапаны с нижней эластичной вставкой; 6 – лоток подачи вороха с решетного стана в канал послерешетной очистки; 7 – решетный стан; 8 – опорная подающая сетка

Для проведения исследований по обоснованию принципиальной схемы универсальной воздушно-решетной зерноочистительной машины с пневмосистемой, обслуживаемой одним воздушным потоком и решетным станом с выделением в отдельные ярусы колосовых и подсевных решет, с наклоном противоположно сортировальным, изготовлена экспериментальная установка (рисунок 4.5).

Установка отличается от экспериментальной установки, представленной на рисунках 4.1, уменьшенными размерами осадочных камер каналов послерешетной очистки 2 и особенно канала дорешетной очистки 8 и схемой размещения решет в решетном стане 14. Высота осадочной камеры канала послерешетной очистки уменьшена с 1,22 м по сравнению до 0,94 м, длина с 1,25 м до 0,97 м.

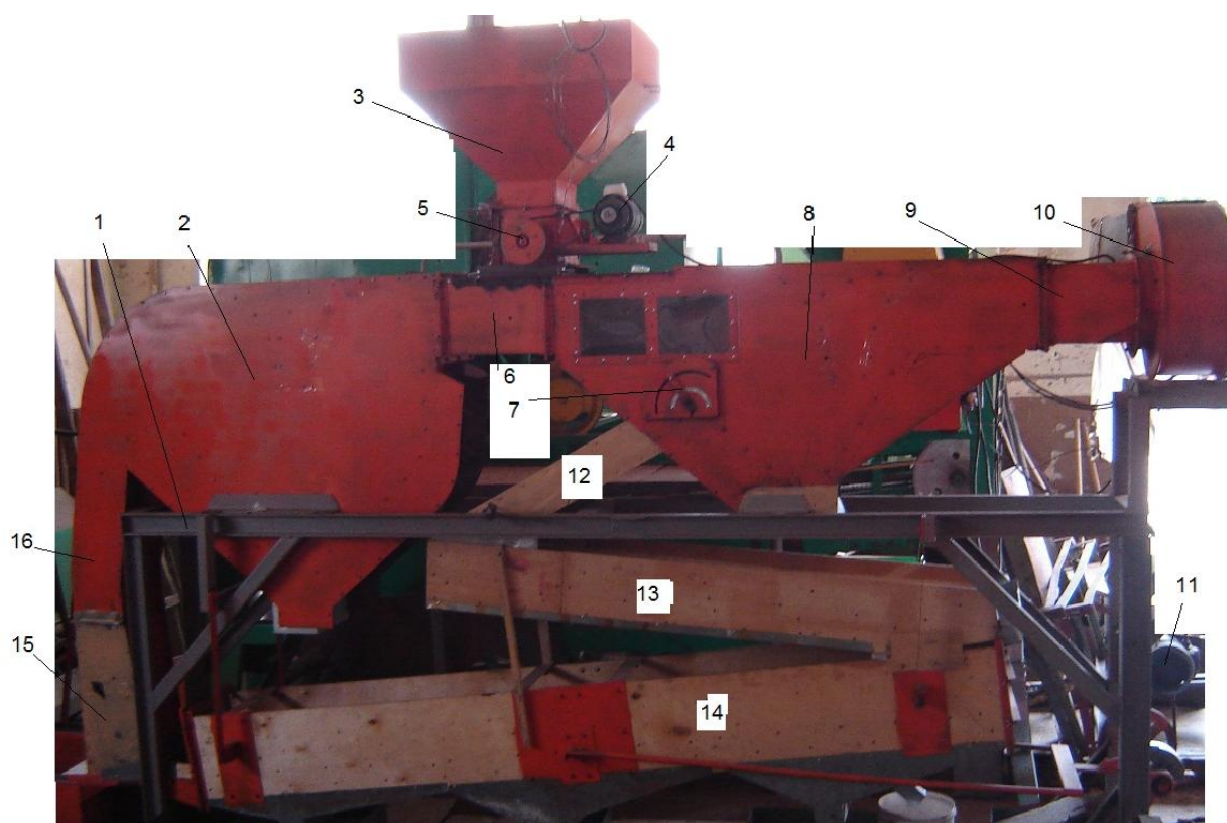


Рисунок 4.5 - Экспериментальная установка с размещением колосовых и подсевных решет в отдельных ярусах:

1 – рама; 2 – осадочная камера послерешетной очистки; 3 – загрузочный бункер; 4 – привод вбрасывающего устройства; 5 - вбрасывающее устройство; 6 – горизонтальный канал дорешетной очистки; 7 – механизм управления разделительным клапаном; 8 – осадочная камера канала дорешетной очистки; 9 – всасывающий воздуховод; 10 – центробежный вентилятор; 11 – привод решетного стана; 12 – канал подачи вороха на решетную очистку; 13 верхняя часть стана; 14 - основная часть стана; 15 – нижняя часть канала послерешетной очистки; 16 – канал послерешетной очистки

Высота секции для выделения фракции фуража осадочной камеры канала дорешетной очистки уменьшена с 1,17 м до 0,63 м, а её длина с 0,95 м до 0,51 м. В верхней части осадочной камеры канала послерешетной аспирации, в месте перехода её в канал дорешетной аспирации, выполнено регулируемое воздухозаборное окно 9 (рисунок 4.5).

В канале дорешетной очистки взамен установленного на оси клапана регулировки скорости 16 (рисунок 4.2) установлен клапан изменения сечения канала дорешетной очистки 9 (рисунок 4.5). Принципиальное отличие клапана изменения сечения канала дорешетной очистки состоит в возможности, как его плоскопараллельного перемещения, так и независимого перемещения передней и задней сторон.

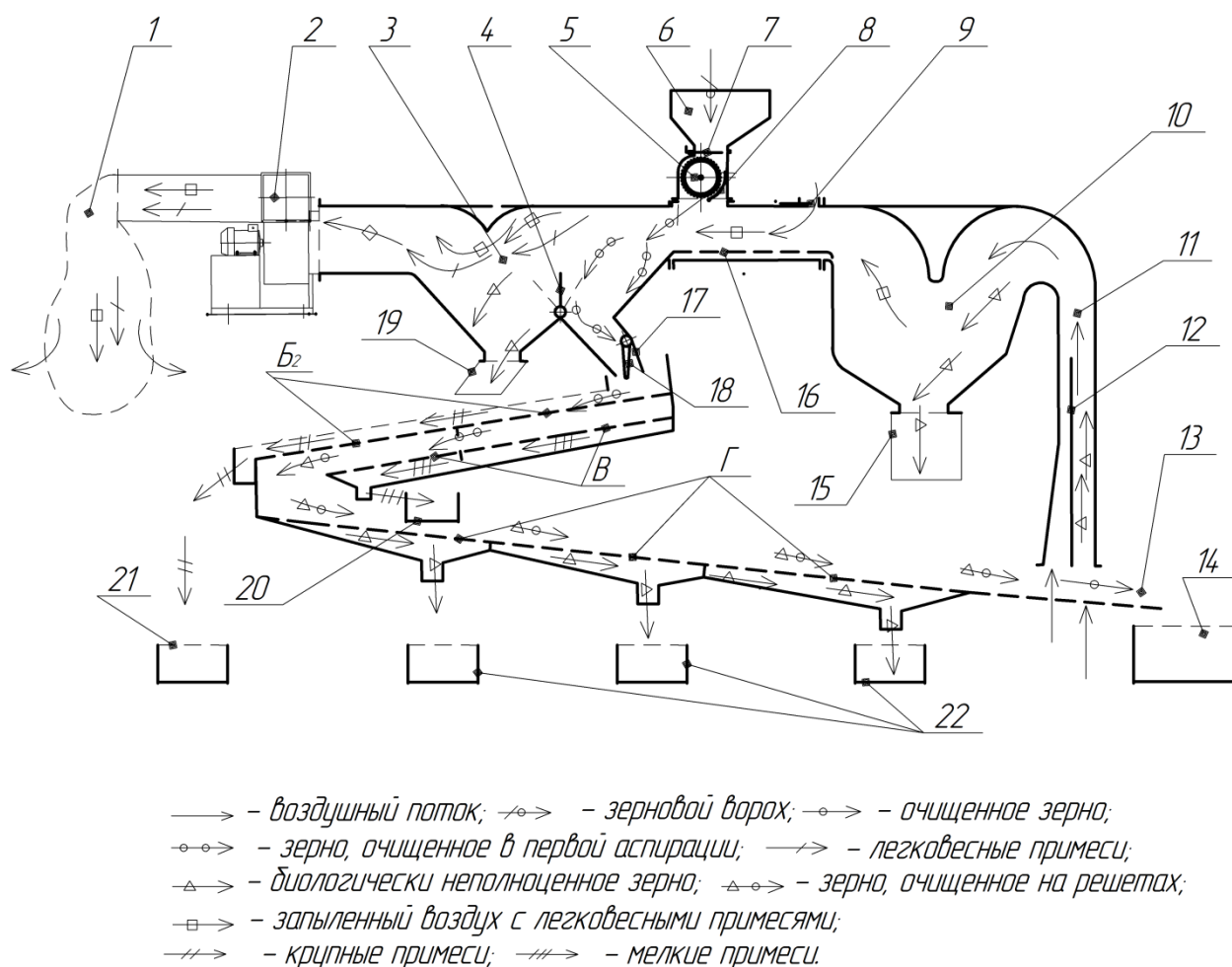


Рисунок 4.6 - Схема работы экспериментальной установки с расположением колосовых и подсевных решет в отдельных ярусах с обратным наклоном:

1 - пылеотделитель; 2 - центробежный вентилятор; 3 - осадочная камера канала дорешетной аспирации; 4 - разделительный регулировочный клапан; 5 - вбрасывающее устройство; 6 - загрузочный бункер; 7 - дозирующая заслонка бункера; 8 - клапан вбрасывающего устройства; 9 - воздухозаборное окно канала дорешетной сепарации; 10 - осадочная камера канала послерешетной аспирации; 11 - пневмосепарирующий канал послерешетной аспирации; 12 - разделительная стенка канала послерешетной аспирации; 13 - поверхность подачи вороха со стана в канал послерешетной очистки; 14 - сборники очищенного зерна; 15, 19 - сборники осадочных камер; 16 - клапан изменения сечения канала; 17 - канал подачи зерна на решета; 18 - гравитационный клапан; 20 - сборник мелких примесей; 21 - сборник крупных примесей; 22 - сборники фуража решет; Б₂ - колосовые решета, Г - сортировальные решета; В - подсевные решета

Воздушный поток, отработавший в канале послерешетной очистки 11, поступает после его осадочной камеры 10 в канал дорешетной очистки. С открытием воздухозаборного окна 9 увеличивается общее количество воздуха, поступающего в канал дорешетной очистки. Это дает возможность повысить полноту выделения каналом фуражных компонентов вороха. Зерновой ворох, после выделения каналом дорешетной очистки 3 основной части легко-

весных примесей, большей части засорителей, дробленого и щуплого зерна, по короткому каналу 17, через открывающийся под его весом гравитационный клапан 18, поступает на верхнюю часть решетного стана. В верхней части стана в два яруса установлены колосовые и подсевные решета с наклонным обратным каналу 17. Колосовые решета B_2 верхнего яруса выделяют из вороха крупные примеси, которые поперечным лотком направляются в приемник крупных примесей 21. Остальной ворох, поступает на подсевные решета, установленные в одном ярусе под колосовыми. Проход подсевных решет, мелкие примеси, поддоном и лотком выводятся в приемник мелких примесей 20. Очищенный от крупных и части мелких примесей зерновой ворох меняет направление движения и перемещается на нижний ярус с сортировальными решетами. На сортировальных решетах выделяется мелкое фуражное зерно основной культуры и оставшиеся мелкие примеси, которые направляются в приемники фуража, отдельно с каждого решета.

Зерно основной фракции, из которого выделены большая часть мелкого фуражного зерна, мелких и легковесных примесей, часть засорителей, дробленого и щуплого зерна, идущее сходом с сортировальных решет, подается в канал 11 дорешетной очистки. В канале дорешетной очистки происходит выделение щуплых биологически неполноценных зерновок, оставшихся легковесных и других примесей.

Для исследования возможности вывода нижнего слоя зерна с сортировальных решет, установленных по три в одном ярусе в основную фракцию без подачи в канал послерешетной очистки на решетный стан изготовили подвижный подающий лоток 3 с делительной пластиной 4 (рисунок 4.7). Подвижный подающий лоток 3 закреплен в пазах боковин наставки решетного стана 1, с возможностью вертикального перемещения. В передней части лотка, на одном уровне по высоте с опорной сеткой, жестко установлена делительная пластина 4. Между пластиной 4 и сортировальным решето при перемещении лотка вверх образуется зазор, одинаковый по всей ширине решетного стана. В этот образовавшийся зазор перемещается нижний слой зер-

на с конца сортировальных решет, который минуя канал послерешетной аспирации выводится лотком 6 в отдельный сборник.

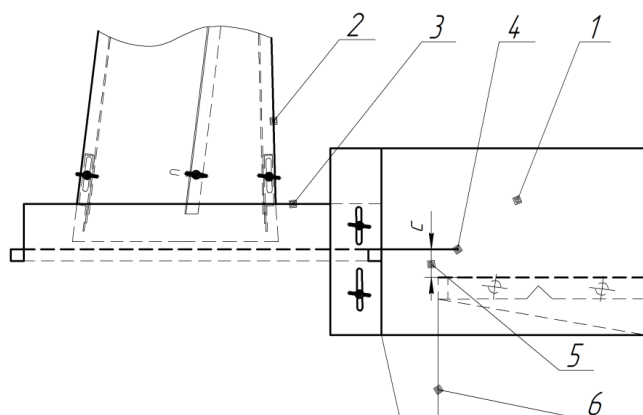


Рисунок 4.7 - Схема подвижного подающего лотка решетного стана:

1 - решетный стан с ярусом сортировальных решет; 2 – пневмосепарирующий канал послерешетной аспирации; 3 – подвижный подающий лоток; 4 – делительная пластина лотка, 5 – регулируемый зазор между сортировальным решетом и пластиной; 6 – лоток вывода нижнего слоя с сортировальных решет

В процессе проведения экспериментальных исследований проводили измерение параметров следующими приборами:

мощность, потребляемую электродвигателями – прибором для измерения мощности марки GPM-8212+RS-232 (внесен в Государственный Реестр Средств измерений РФ) и комплектом измерительным К-540;

параметры воздушного потока (скорость, статическое, полное и динамическое давление) - многофункциональным измерительным прибором Testo 435-3 со встроенным датчиком для измерения дифференциального давления с комплектом зондов к прибору Testo 435-3 (внесен в Государственный Реестр Средств измерений РФ);

частоту вращения колеса вентилятора, вала вбрасывающего устройства, вала привода решетного стана – тахометрами DT6236B и ТЧ-10-Р,

влажность зерна - влагомер зерна WILE-65 для экспресс-анализа (внесен в Государственный Реестр Средств измерений РФ);

массу навесок и проб отдельных фракций - на лабораторных весах ВМК 202 (внесен в Государственный Реестр Средств измерений РФ) и платформенных весах до 20 и 50 кг;

отрезки времени - секундомером.

В таблице 4.2 по каждому из применяемых приборов представлены измеряемые параметры, пределы измерения и погрешности измерения.

Таблица 4.2 – Пределы и погрешности измерения используемых приборов

Марка прибора	Измеряемый параметр	Пределы измерения	Погрешность
GPM-8212+RS-232	Активная мощность (P)	0,32 мВт...13,2кВт	$\pm(0,2 \times P_{\text{изм}} \dots 0,2 P_{\text{к}})$
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+ Зонд скорости воздуха с обогреваемой струной, D7,5 мм,	Скорость воздуха (V)	0...20 м/с	$\pm(0,03 \text{ м/с} + 0,05 \times V_{\text{изм}})$
Testo 435-3+ трубка Пито	Давление (P)	0...2000 гПа	$\pm 5 \text{ гПа}$
DT6236B	Частота вращения (n)	0,5...19999	$\pm 0,05\% n_{\text{изм}}$
WILE-65	Влажность зерна (W)	Зерновые 8...25%	от $W = 5 \dots 20\% \leq 1,0$; от $W = 20 \dots 35\% \leq 1,5$
BMK 202	Масса (m)	0,5...200 г	$\pm 50 \text{ мг}$

Определение аэродинамических и размерных характеристик компонентов зерновой смеси проводили на лабораторном парусном классификаторе и отсева лабораторном марки РЛ-1 соответственно.

4.3. Методика проведения исследований и обработки экспериментальных данных

4.3.1. Общая методика проведения исследований и обработки экспериментальных данных

Экспериментальные исследования проводили на комбайновом ворохе озимой пшеницы сорта Престиж со средней влажностью 14%, содержанием компонентов вороха, имеющих скорость витания менее 5,7 м/с - 1,93%, среднюю толщину менее 1,8 мм – 2,075%, среднюю толщину менее 2,0 мм – 6,58%.

При исследовании физико-механических свойств исходного вороха озимой пшеницы, отобранные образцы разделяли по толщине компонентов вороха на решетках с продолговатыми отверстиями и шагом по ширине 0,2 мм на лабораторном рассеве. Компоненты вороха, выделенные по толщине в один класс, разделяли затем по скорости витания на парусном классификаторе. Скорость воздушного потока в классификаторе изменяли через одинаковые приращения динамического давления. По результатам взвешивания компонентов вороха каждого класса по толщине и скорости витания определялись статистические характеристики исходного вороха и строились кривые статистического распределения компонентов вороха по толщине и скорости витания.

Для обеспечения одновременной загрузки ворохом каналов дорешетной и послерешетной аспирации, решет в решетном стане после того как были установлены требуемые параметры проведения опыта проводилось включение привода вбрасывающего устройства, вентилятора и решетного стана, а затем открывалась дозирующая заслонка загрузочного бункера. После поступления основной фракции в приемник очищенного зерна одновременно проводилось отключение привода вентилятора и решетного стана и закрытие дозирующей заслонки. Опорожнялись без взвешивания приемники осадочных камер, легковесных, мелких и колосовых примесей и приемники фуражных фракций, выделенных сортировальными решетками. Отсчет времени опыта начинался после повторного открытия дозирующей заслонки с одновременным включением приводов вентилятора и решетного стана. В конце опыта, не дожидаясь окончания зернового вороха в загрузочном бункере, проводилось отключение привода вентилятора и решетного стана и закрытие дозирующей заслонки. Содержимое всех приемников взвешивалось, отбирали образцы для дальнейшего анализа, и только после этого производилось смешивание компонентов вороха из всех приемников.

Компоненты вороха, выделенные аспирационной системой послерешетной очистки в осадочную камеру канала и аспирационной системой до-

решетной очистки в осадочную камеру и сборник легковесных примесей по окончании опыта взвешивали на весах, а затем отбирали образцы для разборки по аэродинамическим свойствам, размерным характеристикам и составу. Образцы, отобранные из вороха, выделенного в осадочные камеры, перед разборкой по составу, разделяли на парусном классификаторе на четыре класса по скорости витания: до 4 м/с; 4...5,7 м/с; 5,7...8,0 м/с и более 8,0 м/с. Образцы со скоростями витания 4...5,7 м/с и 5,7...8,0 м/с разделяли по составу компонентов на солоmistые фракции; засорители; дробленое зерно; необмолоченные зерновки и целое зерно. Кроме того, образцы этих классов разделяли на лабораторном рассеве по толщине компонентов. Образцы, имеющие скорость витания более 8,0 м/с, разделяли на решетке с шириной отверстий равной ширине отверстий сортировальных решет для определения доли полноценного зерна, вынесенного в осадочную камеру.

Потери полноценного зерна Π_a , % аспирационными системами дорешетной или послерешетной аспираций определяли по формуле:

$$\Pi_a = \frac{M_{ок} \cdot m_{зн}}{m_n \cdot M_{он} \cdot P_z} \cdot 100, \quad (4.1)$$

где $M_{ок}$ - масса вороха, выделенного в осадочную камеру, кг; $m_{зн}$ - масса полноценного зерна в навеске после выделения, кг; m_n - масса навески, взятой из осадочной камеры, кг; $M_{он}$ - общая масса вороха, прошедшего через установку за время опыта, кг; P_z - доля полноценного зерна в исходном ворохе.

Общую массу вороха, прошедшего через установку за время опыта определяли по формуле:

$$M_{он} = M_{окд} + M_{окл} + M_{оо} + \sum M_{ср} + M_{пр} + M_{кр} + M_{оф}, \quad (4.2)$$

где $M_{окд}$ - масса вороха, выделенного в осадочную камеру канала дорешетной очистки за время опыта, кг; $M_{окл}$ - масса вороха, выделенного в осадочную камеру канала послерешетной очистки за время опыта, кг; $M_{оо}$ - масса

легковесных примесей, выделенных в сборник за время опыта, кг; $\sum M_{cp}$ - масса фуражных фракций вороха, выделенных всеми сортировальными решетками, кг; M_{np} - масса мелких фракций вороха, выделенных подсевными решетками, кг; M_{kp} - масса крупных фракций вороха, выделенных колосовыми решетками, кг; M_{opf} - масса основной фракции вороха, выделенного за время опыта, кг.

Полноту выделения легковесных примесей и других компонентов вороха, имеющих скорость витания $V < V_{кл}$, аспирационными системами определяли по формуле:

$$\varepsilon_{лн} = \frac{\frac{M_{окд} \cdot m_{лн}^o}{m_{нд}} + \frac{M_{окп} \cdot m_{лн}^n}{m_{нп}} + M_{оо}}{M_{он} \cdot P_{лн}} \cdot 100, \%, \quad (4.3)$$

где $m_{лн}^o$ - масса легковесных примесей (компонентов вороха со скоростью витания $V < V_{кд}$) в навеске из осадочной камеры канала дорешетной очистки; $m_{лн}^n$ - масса легковесных примесей (компонентов вороха со скоростью витания $V < V_{кл}$) 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; $P_{лн}$ - доля легковесных примесей (компонентов вороха со скоростью витания $V < V_{кл}$) в исходном ворохе.

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

$$\varepsilon_{лн} = \left(1 - \frac{P_{лн}^o}{P_{лн}}\right) \cdot 100, \%, \quad (4.4)$$

где $P_{лн}^o$ - содержание легковесных примесей (компонентов вороха со скоростью витания $V < V_{кл}$) в основной фракции после очистки; $P_{лн}$ - содержание

легковесных примесей (компонентов вороха со скоростью витания $V < V_{\kappa\lambda}$) в исходном ворохе.

Полноту выделения легковесных примесей и других компонентов вороха, имеющих скорость витания $V < V_{\kappa\lambda}$, отдельно аспирационной системой дорешетной очистки определяли по формуле:

$$\varepsilon_{\kappa\lambda} = \frac{\frac{M_{\text{окд}} \cdot m_{\text{лп}}^{\delta}}{m_{\text{нд}}} + M_{\text{оо}}}{M_{\text{он}} \cdot P_{\text{лп}}} \cdot 100, \% \quad (4.5)$$

Полноту выделения легковесных примесей и других компонентов вороха, имеющих скорость витания $V < V_{\kappa\lambda}$, отдельно аспирационной системой послерешетной очистки определяли по формуле:

$$\varepsilon_{\kappa\lambda} = \frac{\frac{M_{\text{окп}} \cdot m_n^*}{m_{\text{нп}}}}{M_{\text{он}} \cdot P_n^*} \cdot 100, \% \quad (4.6)$$

где m_n^* - масса легковесных компонентов вороха со скоростью витания $V_{\kappa\lambda} \leq V < V_{\kappa\lambda}$ в навеске из осадочной камеры канала послерешетной очистки;
 P_n^* - доля легковесных компонентов вороха со скоростью витания $V_{\kappa\lambda} \leq V < V_{\kappa\lambda}$ в исходном ворохе.

Пропускную способность установки или подачу вороха определяли по формулам:

$$q = \frac{M_{\text{он}}}{t_{\text{он}}}, \text{ кг/с}, \quad Q = 3,6 \frac{M_{\text{он}}}{t_{\text{он}}}, \text{ т/ч}, \quad (4.7)$$

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

Удельную подачу вороха в пневмосистему установки определяли с учетом ширины пневмосепарирующих каналов (B_n):

$$q_n^* = \frac{M_{\text{он}}}{t_{\text{он}} \cdot B_n}, \text{ кг/(с} \cdot \text{дм)}, \quad (4.8)$$

или в т/(ч·дм) по формуле: $q_n = 3,6 \cdot \frac{M_{on}}{t_{on} \cdot B_n}$.

Удельную нагрузку на решета (кг/(ч·дм²)) находили по формуле:

$$q_{pi} = \frac{M_{on}}{t_{on} \cdot S_{pi}},$$

где S_{pi} - площадь сортировальных, подсевных или колосовых решет на установке, дм².

Качество работы сортировальных решет оценивали полнотой выделения мелких компонентов вороха с толщиной $b < b_{cp}$ по формуле:

$$\varepsilon_{cp} = \frac{\sum M_{cpi}}{M_{on} \cdot P_{b < b_{cp}}^*} \cdot 100, \%, \quad (4.9)$$

где M_{cpi} - масса фуражных фракций вороха, выделенных i -сортировальным решето; кг; $P_{b < b_{cp}}^*$ - доля фуражных фракций вороха с толщиной $b < b_{cp}$ в исходном ворохе.

После разборки образца основной фракции полноту выделения фуражных фракций сортировальными решетками находили по формуле:

$$\varepsilon_{cp} = \left(1 - \frac{P_{b < b_{cp}}^o}{P_{b < b_{cp}}^*}\right) \cdot 100, \%, \quad (4.10)$$

где $P_{b < b_{cp}}^o$ - доля фуражных фракций вороха в основной фракции после очистки.

Полноту выделения фуражных фракций вороха отдельным сортировальным решето оценивали по формуле:

$$\varepsilon_{cp}^i = \frac{M_{cpi}}{M_{on} \cdot P_{b < b_{cp}}^* \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{cp}^{i-1}}{100}\right)} \cdot 100, \%, \quad (4.11)$$

где ε_{cp}^{i-1} - полнота выделения фуражных фракций вороха впереди стоящим решетом (по направлению перемещения вороха в решетном стане), %.

Коэффициент сепарации фуражной фракции вороха отдельным сортировальным решетом находили по формуле:

$$\mu_i = \frac{-\ln \left[\frac{(1 - 0,01 \cdot (\varepsilon_{cp}^{i-1} + \varepsilon_{cp}^i))}{(1 - 0,01 \cdot \varepsilon_{cp}^{i-1})} \right]}{L_i}, \text{ м}^{-1}, \quad (4.12)$$

где L_i - длина i -сортировального решета, м.

Потери полноценного зерна решетной очисткой (сходом с колосовых решет) определяли по формуле:

$$П_p = \frac{M_{кр} \cdot m_{знк}}{m_{нк} \cdot M_{оп} \cdot P_3} \cdot 100, \%, \quad (4.13)$$

где $m_{знк}$ - масса полноценного зерна в навеске после выделения, кг; $m_{нк}$ - масса навески, взятой из приемника крупных фракций, кг.

Удельные затраты энергии на привод вентилятора (кВт/т) для выделения легковесных компонентов вороха пневмосистемой находили по формуле:

$$N_{y\partial} = \frac{N}{3,6 \cdot q}, \quad (4.14)$$

где N - затраты мощности на привод вентилятора, кВт.

Удельные затраты энергии на привод вентилятора (кВт/тыс.м³) для обеспечения подачи воздуха в пневмосистему (без зернового вороха) определяли по формуле:

$$N_{y\partial}^* = \frac{N}{3,6 \cdot q_{\epsilon}}, \quad (4.15)$$

где q_{ϵ} - расход воздуха через пневмосистему, тыс. м³/ч.

Для оценки равномерности распределения воздушного потока по сечению каналов дорешетной и послерешетной очисток и определения скорости проводили замер скорости в зоне ввода вороха в канал дорешетной очистки и на высоте трех эквивалентных диаметров от места присоединения нижней расширяющейся части канал. При размещении отверстий для замера скорости в каналах руководствовались общепринятыми принципами разбивки каналов прямоугольного сечения на площадки одинаковой площади с размещением отверстий в центре.

Скорость воздушного потока в каналах (м/с) определяли, как среднюю по полученным в результате измерения значениям, по формуле:

$$V_{\kappa} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n},$$

где V_i - скорость воздушного потока, замеренная в i – точке канала, м/с; n - количество точек замера скорости в одном сечении канала.

Расход воздуха пневмосистемой установки (м³/с), при закрытых гравитационном и воздухозаборном клапанах, определяли по формуле с учетом скорости воздушного потока в канале послерешетной очистки:

$$q_{\kappa} = V_{\kappa n} \cdot l_{\kappa n} \cdot b_n, \quad (4.16)$$

где $V_{\kappa n}$ - скорость воздушного потока в канале послерешетной очистки, м/с; $l_{\kappa n}$ - глубина основной части канала послерешетной очистки, м; b_n - ширина пневмосистемы установки, м.

Герметичность пневмосистемы и гравитационного клапана оценивали по разнице расходов воздуха полученных при замере скорости в воздухозаборном воздуховоде и канале послерешетной аспирации, коэффициентом подсоса по формуле:

$$k_n = \frac{q_{\kappa \kappa}}{q_{\kappa}}, \quad (4.17)$$

где $q_{\text{вв}}$ расход воздуха, полученный через замер скорости в воздухозаборном воздуховоде, $\text{м}^3/\text{с}$.

Статистическую обработку результатов экспериментов и построение графических зависимостей проводили с использованием пакетов прикладных программ *STATISTICA 10.*, *Microsoft Excel 2007*, *Mathcad 14* и других.

4.3.2. Методика проведения исследований и обработки экспериментальных данных по определению сопротивления элементов пневмосистемы и скорости воздушного потока в осадочных камерах

С целью оценки сопротивления отдельных элементов пневмосистемы проводили замер статистического и полного давления (разряжения) в определенных точках. Схема расположения точек замера на пневмосистеме установки представлена на рисунке 4.8.

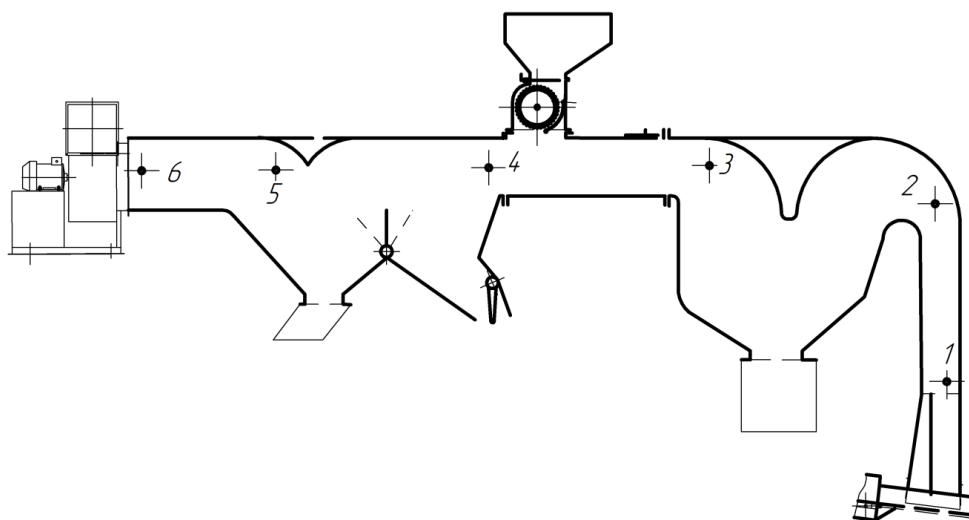


Рисунок 4.8 – Схема расположения точек замера давления (разряжения) на установке

Точки, в которых проводились замеры статистического и полного давления (разряжения) на схеме отмечены цифрами, начиная от расширяющейся части канала послерешетной аспирации. Статическое разряжение, замеренное в первой точке, учитывало сопротивление подающей сетки и нижней расширяющейся части канала, разделенной перегородкой. В точке 2 замерялось статическое разряжение (сопротивление) всего канала послерешетной

аспирации. В точке 3 дополнительно к статистическому разряжению, замеренному в точке 2, добавлялось сопротивление осадочной камеры канала послерешетной очистки. В точке 4 замерялось статистическое разряжение (сопротивление) канала послерешетной очистки со своей камерой и канала дорешетной очистки. В точке 5 дополнительно к статистическому разряжению, замеренному в точке 4, добавлялось сопротивление секционной осадочной камеры канала дорешетной очистки. В точке 6 замерялось общее статистическое разряжение (сопротивление пневмосистемы), включая всасывающий воздуховод к вентилятору.

Статическое сопротивление (Па) элементов пневмосистемы определяли по формуле:

$$H = H_i - H_{i-1}, \quad (4.18)$$

где H_i - статистическое разряжение (сопротивление), замеренное после элемента пневмосистемы, Па; H_{i-1} - статистическое разряжение (сопротивление), замеренное до элемента пневмосистемы, Па.

При подаче зернового вороха проводили замеры статистического разряжения (сопротивления) в точках 1, 3, 5 и 6, что давало возможность определить сопротивление зернового вороха в аспирационных системах дорешетной и послерешетной аспираций (Па) по формулам:

$$H_{cl}^n = H_3^* - H_3, H_{cl}^d = (H_6^* - H_6) - (H_3^* - H_3), \quad (4.19)$$

где H_6^* - статистическое сопротивление пневмосистем дорешетной и послерешетной аспираций при подаче зернового вороха, Па; H_6 - статистическое сопротивление пневмосистем дорешетной и послерешетной аспираций, Па.

Для оценки распределения скорости воздушного потока в продольно-вертикальном направлении по среднему сечению осадочных камер замеряли скорость и направление воздушного потока в точках, отмеченных цифрами на схеме (рисунки 4.9 и 4.10).

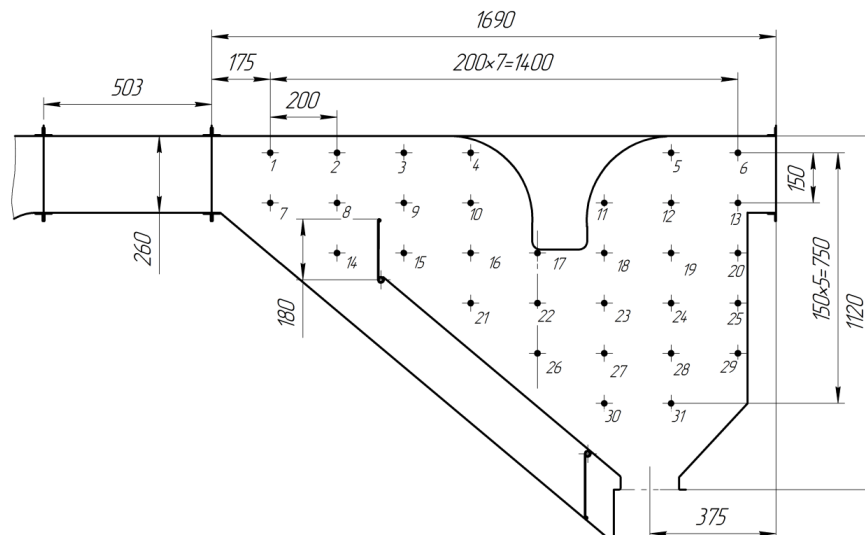


Рисунок 4.9 – Схема мест измерения скорости воздуха в осадочной камере канала дорешетной очистки

В боковинах осадочных камер в отмеченных местах выполнялись отверстия, для установки в них трубки Пито. В период проведения опытов отверстия герметизировали. Отверстия располагали рядами с шагом по горизонтали 200 мм и вертикали 150 мм. Правый крайний ряд отверстий размещен на расстоянии 50 мм от вертикальной стенки осадочной камеры. При выполнении отверстий в боковой стенке осадочной камеры канала послерешетной очистки использовали тот же способ их размещения (рисунок 4.10).

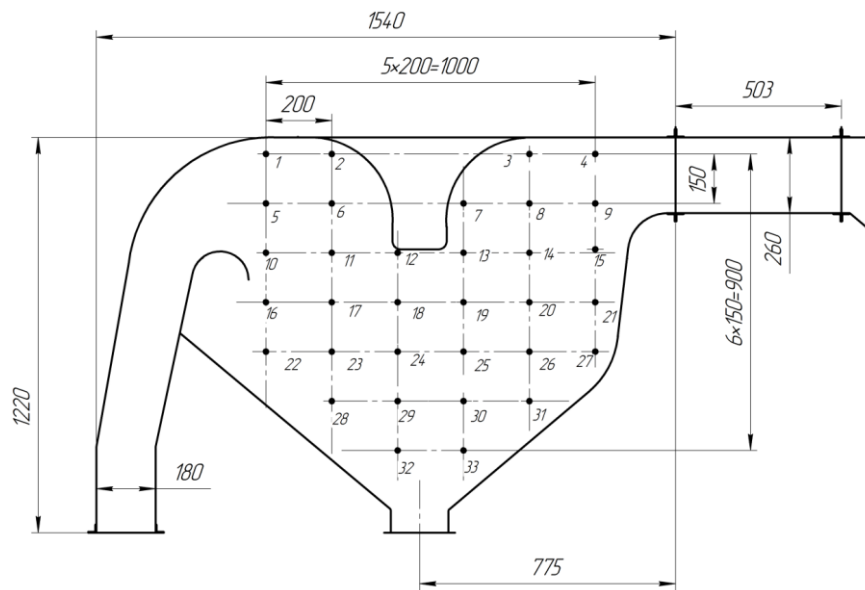


Рисунок 4.10 – Схема точек замера скорости воздушного потока в осадочной камере канала послерешетной очистки

5. Экспериментальные исследования двухаспирационной пневмосистемы с одним воздушным потоком

5.1. Обоснование основных параметров подачи вороха в канал дорешетной аспирации

К параметрам, характеризующим процесс ввода вороха в горизонтальный канал дорешетной аспирации, как показало моделирование и результаты, полученные другими исследователями [82, 142, 207], относятся:

размеры вбрасывающего барабана или его внутренний радиус, на котором расположены шипы ($R_{\delta\sigma}$); положение вбрасывающего устройства относительно разделительной стенки секционной осадочной камеры по высоте (H) и горизонтали (a); угол вбрасывания вороха в канал по отношению к направлению воздушного потока (β); скорость вбрасывания вороха (Va); угол постановки клапана, расположенного на разделительной стенке (α).

Внутренний радиус вбрасывающего барабана был выбран на основе результатов моделирования и составлял $R_{\delta\sigma}=0,102$ м. В качестве рабочей поверхности барабана применяли резиновую поверхность с шипами диаметром $\delta=0,004$ мм и высотой $h_{ш}=0,02$ м, расположенными в шахматном порядке с шагом $l_{ш}=0,024$ м. Поверхность крепилась на барабане таким образом, чтобы обеспечить расположение рядов шипов в радиальном направлении по винтовой линии с числом ходов равным двум.

Положение вбрасывающего устройства по высоте или расстояние по вертикали между стенкой секционной осадочной камеры было выбрано на основе результатов моделирования. Для обоснования положения вбрасывающего устройства по горизонтали, режима работы вбрасывающего устройства и угла постановки разделительного клапана были проведены экспериментальные исследования.

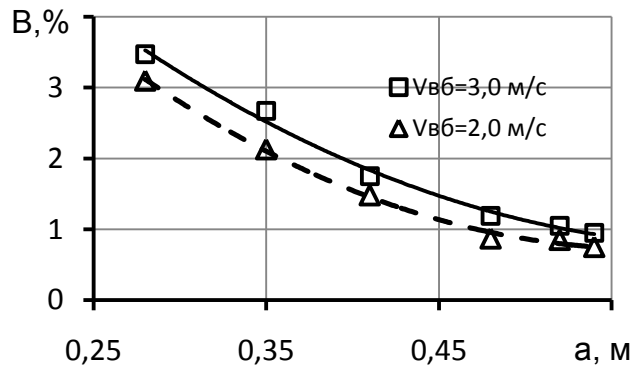
Положение вбрасывающего устройства относительно разделительной стенки осадочной камеры, является одним из основных факторов определяющих возможность предварительного разделения вороха на стадии доре-

шетной очистки на фракции. Исходя из результатов моделирования при попутном вводе, без учета взаимодействия компонентов, положение разделительной стенки, на уровне осадочной камеры, должно находиться на расстоянии 0,28...0,43 м от оси вбрасывающего барабана. Остальные регулируемые и изменяемые параметры принимали следующие значения: высота (глубина) канала дорешетной очистки $h_d = 0,26$ м; подача вороха $q = 0,67$ кг/(с·дм); средняя скорость воздушного потока в канале $V_d = 6,4$ м/с; угол ввода вороха относительно направления воздушного потока $\beta_o = 40^\circ$; длина разделительного клапана $l_p = 0,12$ м; угол установки разделительного клапана относительно горизонтали $\alpha = 60^\circ$. Скорость вбрасывания вороха устанавливали частотным преобразователем, меняя частоту вращения вбрасывающего барабана, и принимали равной $V_{\text{вб}} = 2,0$ м/с и $V_{\text{вб}} = 3,0$ м/с.

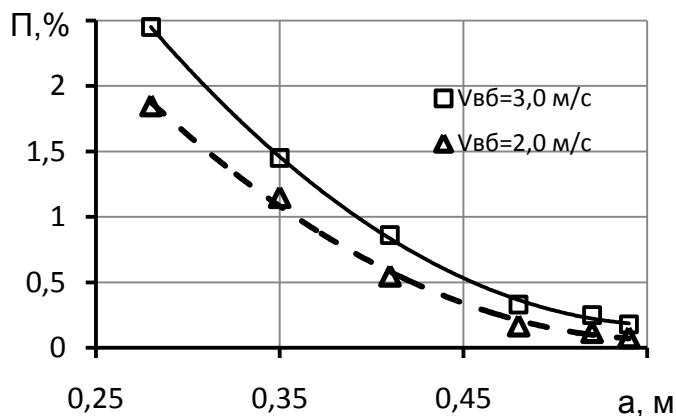
На рисунке 5.1 представлены графические зависимости выделения легковесных компонентов вороха и потерь полноценного зерна от положения вбрасывающего устройства по горизонтали.

Расположение вбрасывающего устройства на расстоянии менее 0,45 м от оси разделительного клапана приводит к повышенным потерям полноценного зерна в фуражную фракцию, выделяемую каналом дорешетной аспирации, независимо от скорости вбрасывания вороха (рисунок 5.1б). Большее выделение компонентов вороха соответствует большей скорости вбрасывания. Более высокие потери полноценного зерна, как и выделение легковесных компонентов вороха, наблюдается при меньших расстояниях между вбрасывающим барабаном и осью разделительного клапана. Потери полноценного зерна более интенсивно уменьшаются при удалении вбрасывающего барабана от разделительной стенки камеры с 0,28 м до 0,42 ... 0,45 м.

Поэтому, исходя из потерь полноценного зерна в фуражную фракцию, расстояние между осями вбрасывающего барабана и делительного клапана, установленного на стенке, разделяющей осадочную камеру на секции, должно составлять 0,48...0,54 м.



а)



б)

Рисунок 5.1 – Влияние положения вбрасывающего устройства: а) на выделение легковесных компонентов вороха дорешетной аспирацией; б) потери зерна

Поворотный делительный клапан, устанавливаемый на разделительной стенке осадочной камеры должен иметь определенную длину. Приняв, положение вбрасывающего барабана относительно оси разделительного клапана 0,52 м, и используя тот же режим работы, были проведены экспериментальные исследования по схеме однофакторного эксперимента. Длину поворотного делительного клапана изменяли ступенчато в пределах $l_p = 0,08...0,19$ м.

На рисунке 5.2 представлены графические зависимости выделения компонентов вороха дорешетной аспирацией и потерь полноценного зерна в фуражную фракцию от длины поворотного клапана.

Увеличение длины поворотного клапана с 0,08 до 0,13 м снижает выделение компонентов вороха дорешетной аспирацией в 1,05 раза, а потери зерна в фуражную фракцию уменьшаются при этом на 0,45% (рисунок 5.2). Ин-

тенсивность уменьшения выделения компонентов вороха нарастает при дальнейшем увеличении длины поворотного клапана с 0,13 м до 0,19 м. Выделение компонентов вороха дорешетной аспирационной системой, при изменении длины клапана в указанных пределах, снижается с 1,62% до 1,31% или в 1,24 раза. Это происходит по причине того, что клапан такой длины прерывает основную часть траекторий компонентов вороха с коэффициентами парусности $k_n > 0,145 \text{ м}^{-1}$ в осадочной камере, направляя их вместе с полноценным зерном в секцию осадочной камеры для сбора полноценного зерна.

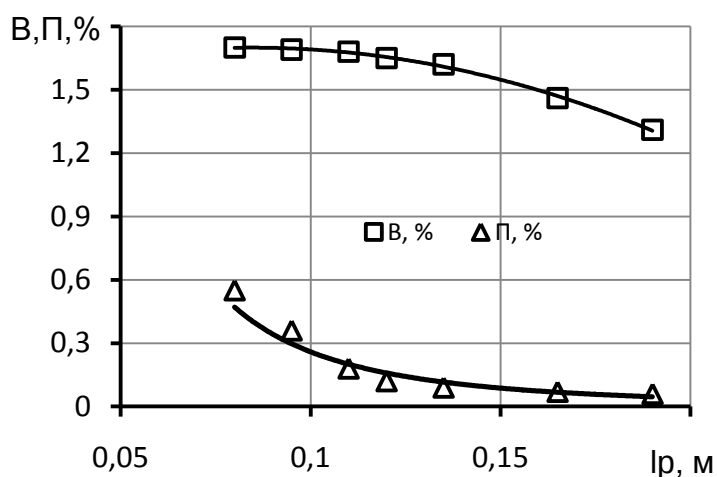
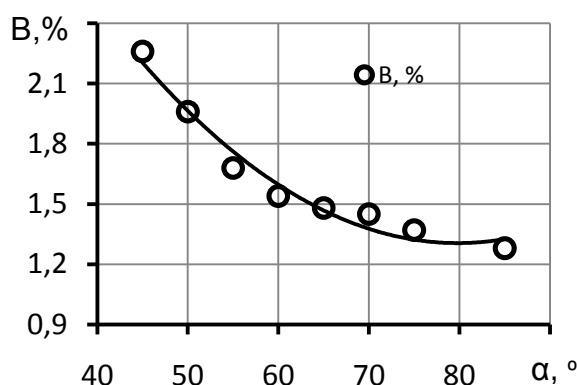


Рисунок 5.2 – Влияние длины поворотного делительного клапана: на выделение компонентов вороха дорешетной аспирацией и потери зерна

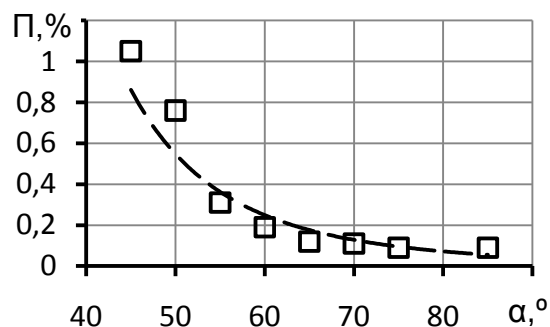
Выделение легковесных компонентов с коэффициентами парусности $k_n > 0,275 \text{ м}^{-1}$ при изменении длины клапана в таком интервале остается практически неизменным и составляет 0,34...0,36%. Потери зерна в диапазоне изменения длины поворотного клапана от 0,13 до 0,19 м изменяются в незначительных пределах 0,03...0,004%.

Таким образом, длину поворотного клапана, устанавливаемого на разделительной стенке осадочной камеры канала дорешетной очистки наиболее рационально принять 0,11..0,13 м.

Угол установки поворотного клапана относительно горизонтали, даже при неизменной длине, может изменить количественный и качественный состав вороха выделяемого на этапе дорешетной аспирации по аэродинамическим свойствам. Угол установки поворотного клапана относительно горизонтали изменяли в пределах $40...85^\circ$. Графические зависимости влияния угла установки поворотного клапана на выделение компонентов вороха дорешетной аспирацией и потери полноценного зерна в фуражную фракцию представлены на рисунке 5.3.



а)



б)

Рисунок 5.3 – Влияние угла установки поворотного делительного клапана: а) на выделение компонентов вороха дорешетной аспирацией; б) потери зерна

Анализ графических зависимостей выделения компонентов вороха дорешетной аспирацией от угла установки делительного клапана показывает, что с увеличением угла установки клапана выделение вороха снижается во всем интервале его изменения. Более интенсивно выделение вороха фураж-

ных фракций, с коэффициентами парусности компонентов $0,145 \dots 0,275 \text{ м}^{-1}$, снижается при увеличении угла с 45° до 60° . В этом интервале изменения угла, выделение вороха фуражных фракций снижается с 1,9 до 1,19% или в 1,6 раза, а выделение легковесных примесей в пылеотделитель снижается на 0,02%.

При дальнейшем увеличении угла установки клапана интенсивность уменьшения выделения падает. При увеличении угла установки клапана до 75° выделение компонентов вороха в осадочную камеру дорешетной аспирации снижается на 0,14% или всего в 1,13 раза. Одновременно и практически синхронно со снижением выделения компонентов вороха уменьшаются и потери полноценного зерна в фуражную фракцию. Потери зерна при изменении угла установки делительного клапана $60 \dots 80^\circ$ изменяются в пределах $0,19 \dots 0,09\%$. С уменьшением угла установки делительного клапана с 60° до 45° наблюдается резкий рост потерь зерна – с 0,19% до 1,05% или в 5,53 раза.

Поэтому рабочим регулировочным диапазоном изменения угла установки клапана наиболее рационально считать углы $\alpha = 55 \dots 75^\circ$.

Угол вбрасывания вороха в горизонтальный канал дорешетной аспирации или угол между направлением вбрасывания вороха и направлением воздушного потока также влияет на качественные показатели работы дорешетной аспирации. Согласно результатам моделирования, с точки зрения получения максимального расслоения траекторий вороха, углы вбрасывания наиболее рационально выбирать в пределах $\beta = 35 \dots 50^\circ$.

Для подтверждения выбора углов вбрасывания вороха были проведены однофакторные эксперименты. Углы вбрасывания изменяли ступенчато заменой клапана вбрасывающего барабана с различной длиной (30; 40; 50; 60; 70 и 85°). Положение вбрасывающего барабана составляло $a=0,52 \text{ м}$, длина разделительного клапана $l_p=0,12 \text{ м}$; угол установки разделительного клапана относительно горизонта $\alpha = 60^\circ$. подача вороха $q = 0,67 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{дм})$; средняя

скорость воздушного потока в канале $V_d=6,4$ м/с; скорость вбрасывания вороха $V_{вб}=1,7$ м/с.

Меньшие значения начальных углов вбрасывания вороха (рисунок 5.4) обеспечивают большее выделение компонентов вороха дорешетной аспирацией. Уменьшение угла вбрасывания вороха с 50° до 30° увеличивает общее выделение компонентов дорешетной аспирацией на 0,65%, а при уменьшении угла с 85° до 50° увеличение выделения составляет только 0,35%. При угле вбрасывания вороха менее 40° появляются потери зерна, имеющего скорость витания более 8,0 м/с.

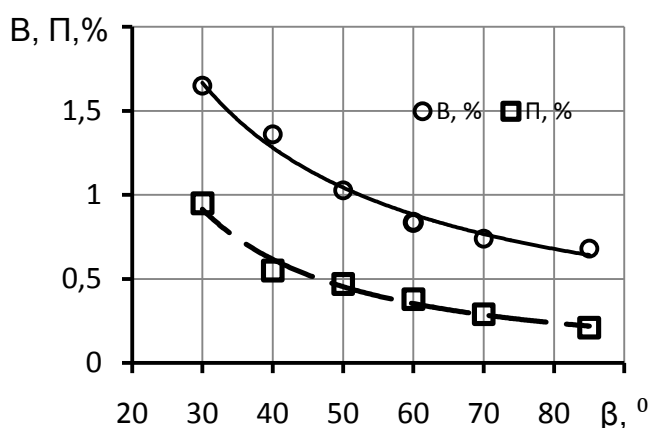


Рисунок 5.4 – Влияние угла вбрасывания вороха на выделение его легковесных компонентов дорешетной аспирацией

Поэтому угол вбрасывания вороха в горизонтальный воздушный поток канала дорешетной аспирации наиболее рационально выбирать в пределах $45...50^\circ$.

Результаты моделирования разделения вороха каналом дорешетной аспирации на фракции не могут дать однозначного ответа по выбору скорости вбрасывания вороха. Во время проведения опытов по обоснованию рациональной скорости вбрасывания вороха другие параметры принимали следующие значения: положение вбрасывающего барабана относительно разделительной стенки по горизонтали $a=0,52$ м, длина разделительного клапана $l_p=0,12$ м; угол установки разделительного клапана относительно горизонта

ли $\alpha = 65^\circ$. подача вороха $q = 0,67 \text{ кг/(с·дм)}$; средняя скорость воздушного потока в канале $V_d = 5,6 \text{ м/с}$; угол вбрасывания вороха $\beta = 50^\circ$. Окружную скорость вбрасывающего барабана или начальную скорость вбрасывания вороха изменяли в пределах $V_{вб} = 1,1 \dots 3,5 \text{ м/с}$.

Графические зависимости выделения компонентов вороха дорешетной аспирацией представлены на рисунке 5.5. Выделение компонентов вороха дорешетной аспирацией растет во всем диапазоне изменения скорости от 1,1 до 3,5 м/с. Интенсивность роста выделения в интервале изменения скорости вбрасывания различна. Большая интенсивность прироста выделения компонентов вороха наблюдается при увеличении скорости вбрасывания от 1,1 до 2,1 м/с.

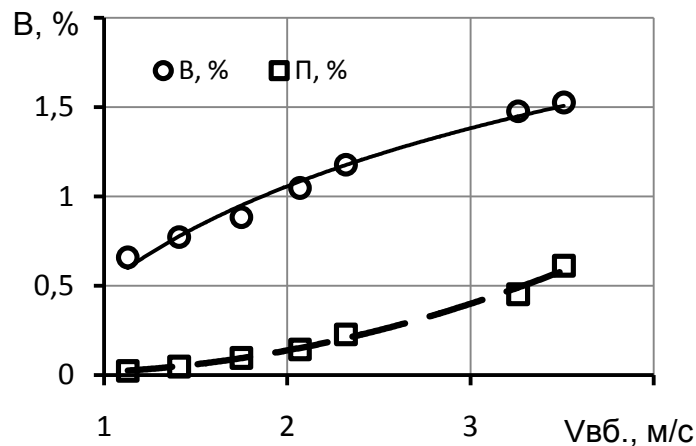


Рисунок 5.5 – Влияние скорости вбрасывания вороха на выделение его легковесных компонентов дорешетной аспирацией

Общее выделение вороха в этом диапазоне изменения скорости вбрасывания выросло с 0,49 до 0,79% или в 1,6 раза. Увеличение скорости вбрасывания до 3,0 м/с ведет к росту выделения компонентов вороха дорешетной аспирацией с 0,79 до 1,05% или в 1,3 раза. При дальнейшем увеличении скорости вбрасывания вороха с 3,0 до 3,5 м/с прирост выделения аспирацией составил всего 0,08%.

Такой характер зависимости объясняется следующим. При увеличении скорости вбрасывания с 1,1 до 2,1 м/с растут углы вбрасывания частиц вороха расположенных вблизи внутреннего радиуса вбрасывающего барабана, что уменьшает столкновение компонентов вороха, имеющих одинаковые коэффициенты парусности. Кроме того, повышение скорости вбрасывания вороха уменьшает концентрацию его компонентов в самом канале, что снижает сопротивление пневмосистемы и ведет к меньшему снижению скорости воздушного потока в зоне разделения. За счет уменьшения концентрации вороха в канале и зоне разделения снижается вероятность столкновения компонентов вороха с разными коэффициентами парусности. Прирост выделения компонентов вороха аспирацией при скоростях вбрасывания 3,0 м/с и более может происходить также за счет роста центрального угла вбрасывания вороха и попадания в дальнюю секцию осадочной камеры, предназначенную для сбора фуражной фракции, компонентов близким по своим аэродинамическим свойствам к полноценному зерну и даже само зерно. Поэтому, при скоростях вбрасывания более 2,0...2,1 м/с интенсивность роста потерь возрастает (рисунок 5.5).

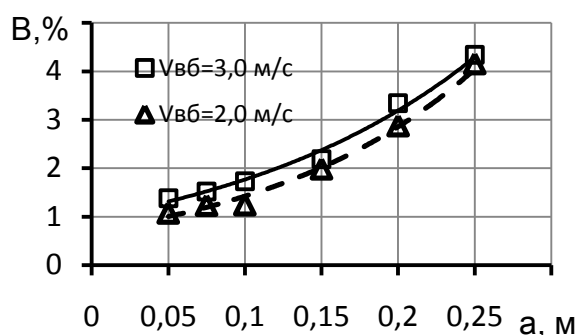
С увеличением скорости вбрасывания с 1,1 до 2,1 м/с наблюдается рост потерь полноценного зерна с 0,02 до 0,12%, а при дальнейшем увеличении скорости до 3,5 м/с потери увеличиваются до 0,51%.

Таким образом, несмотря на уменьшение концентрации вороха и снижение вероятности соударения компонентов при увеличении скорости вбрасывания, за счет роста кинетической энергии компонентов вороха с близкими коэффициентами парусности возможно изменение направления движения полноценного зерна при столкновении с попаданием в секцию осадочной камеры фуражной фракции. Поэтому скорость вбрасывания вороха, исходя из потерь полноценного зерна в фуражную фракцию, более рационально выбирать в пределах 2,0...3,2 м/с.

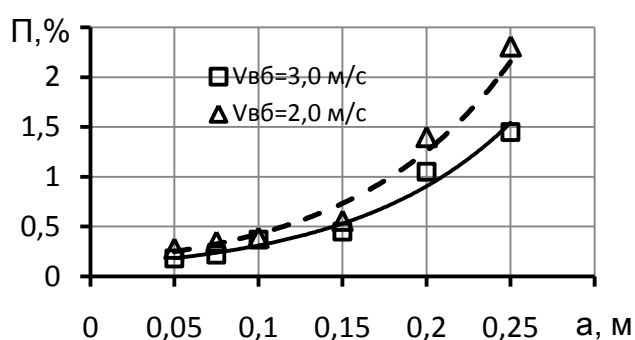
Результаты моделирования выявили преимущество встречного ввода вороха перед попутным. Для его подтверждения были проведены экспери-

ментальные исследования. Вбрасывающее устройство устанавливалось с разворотом на 180° по отношению к пневмосистеме и возможностью изменения расстояния по отношению к разделительной стенке $0,05 \dots 0,25$ м.

На рисунке 5.6 представлены графические зависимости выделения легковесных компонентов вороха и потерь полноценного зерна от положения вбрасывающего устройства по горизонтали.



а)



б)

Рисунок 5.6 – Влияние положения вбрасывающего устройства при встречном вбрасывании:

а) на выделение легковесных компонентов вороха дорешетной аспирацией; б) потери зерна

Расположение вбрасывающего устройства на расстоянии более 0,15 м приводит к повышенным потерям полноценного зерна в фуражную фракцию, выделяемую каналом дорешетной аспирации, независимо от скорости вбрасывания вороха (рисунок 5.6б). Большие значения выделения компонентов вороха соответствуют большей скорости вбрасывания. Потери полноценного

зерна более интенсивно увеличиваются при удалении вбрасывающего барабана от разделительной стенки камеры с 0,15 м до 0,25 м. При приближении вбрасывающего барабана на расстояние менее 0,15 м интенсивность уменьшения потерь зерна снижается. Поэтому, исходя из потерь полноценного зерна в фуражную фракцию, расстояние между осями вбрасывающего барабана и делительного клапана, установленного на стенке, разделяющей осадочную камеру на секции, должно составлять 0,05...0,15 м.

Угол вбрасывания вороха в горизонтальный канал дорешетной аспирации при встречном направлении относительно воздушного потока согласно результатам моделирования наиболее рационально выбирать в пределах $\beta=110...140^\circ$. Однако, результаты экспериментальных исследований показали, что при углах вбрасывания менее $120...125^\circ$ потери полноценного зерна превышают 0,5% (рисунок 5.7).

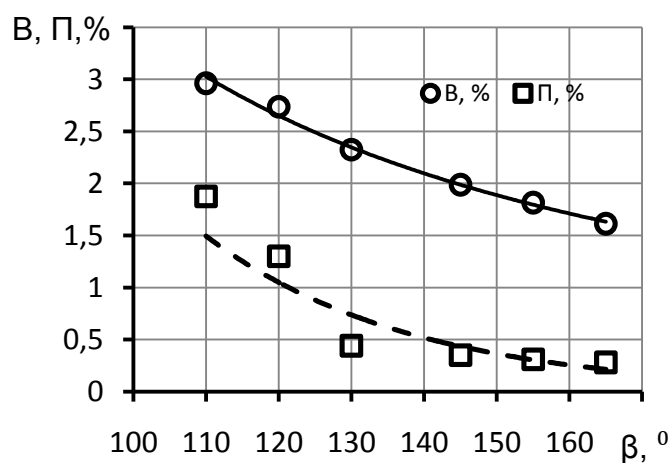


Рисунок 5.7 – Влияние угла вбрасывания вороха на выделение легковесных компонентов дорешетной аспирацией при встречном вводе

Одновременно с уменьшением потерь при увеличении угла вбрасывания снижается выделение компонентов вороха фуражной фракции до 1,5...1,75%, что сравнимо с выделением при попутном вводе.

На основании проведенных исследований можно выбрать рациональные параметры ввода вороха в горизонтальный канал дорешетной аспирации:

угол вбрасывания вороха в горизонтальный воздушный поток канала дорешетной аспирации: при попутном вводе $45...50^\circ$; при встречном вводе $130...145^\circ$; расстояние между осью вбрасывающего барабана и стенкой, разделяющей осадочную камеру на секции: при попутном вводе $0,48...0,54$ м; при встречном вводе $0,05...0,15$ м; скорость вбрасывания вороха $2,0...3,2$ м/с; длину разделительного клапана $0,11...0,13$ м; рабочий регулировочный диапазон изменения угла установки разделительного клапана при встречном вводе $80...125^\circ$ и при попутном вводе $55...75^\circ$.

5.2. Влияние высоты канала дорешетной аспирации на показатели выделения фуражной фракции

Высота или глубина горизонтального канала дорешетной аспирации, с учетом использования в нем воздушного потока, отработавшего в канале послерешетной аспирации, оказывает влияние на скорость воздушного потока в самом канале без изменения общего расхода воздуха пневмосистемой машины. Как показывает анализ результатов исследований, добиться увеличения выделения фуражных фракций вороха на стадии дорешетной очистки по аэродинамическим свойствам без увеличения потерь зерна в фуражную фракцию можно за счет повышения скорости воздушного потока в зоне ввода и разделения вороха. Так, при средних скоростях воздушного потока в канале дорешетной очистки $5,4...6,0$ м/с выделение компонентов вороха не превышает $0,7...1,1\%$. Причем, большая часть из выделенного вороха приходится на компоненты с коэффициентом парусности $k_n \geq 0,276 \text{ м}^{-1}$, которые составляют основу фракции отходов. Доля фуражных фракций в выделенном ворохе составляет не более $37...38\%$.

Повышение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки до $6,5...6,7$ м/с увеличивает выделение компонентов вороха дорешетной аспирационной системой до $1,5...1,6\%$ при потерях зерна в фуражную фракцию значительно меньше допустимых. Поэтому, повышение скорости воздушного потока будет способствовать росту полноты выделения фуражных

фракций по аэродинамическим свойствам на стадии дорешетной очистки. Однако, уменьшение высоты канала, сокращение времени нахождения компонентов вороха под воздействием воздушного потока в свою очередь будет наоборот способствовать снижению полноты выделения именно фуражных фракций, близких по аэродинамическим свойствам своим компонентам полноценному зерну.

Однозначно оценить влияние уменьшения высоты канала, исходя из результатов моделирования без учета взаимодействия компонентов, не представляется возможным. Это потребовало проведения экспериментальных исследований. Сечение канала изменяли перемещением клапана изменения сечения канала дорешетной аспирации 16 (рисунок 4.6). На рисунке 5.8 представлены экспериментальная зависимость изменения скорости воздушного потока по высоте канала при средней скорости воздушного потока в канале послерешетной аспирации $V_n = 9,1$ м/с и зависимость, полученная по результатам моделирования.

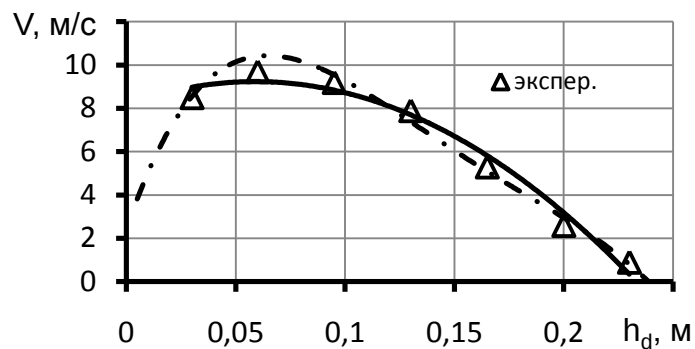


Рисунок 5.8 – Распределение скорости воздушного потока по высоте канала дорешетной аспирации в зоне ввода вороха

Анализ экспериментальных данных и полученных в результате моделирования показывает одинаковый характер изменения скорости воздушного потока по сечению канала. Расхождение между фактическими данными, полученными в результате замера, и результатами моделирования не превышает 7 %.

На рисунке 5.9 представлена зависимость выделения компонентов вороха аспирационными системами дорешетной и послерешетной очисток от высоты канала дорешетной очистки при средней скорости воздушного потока в канале послерешетной очистки $V_n=8,3$ м/с и подаче вороха $q=0,95$ кг/(с·дм). Глубина канала послерешетной очистки во время опытов составляла 0,18 м, параметры вбрасывающего устройства соответствовали рациональным значениям, определенным в предыдущем разделе.

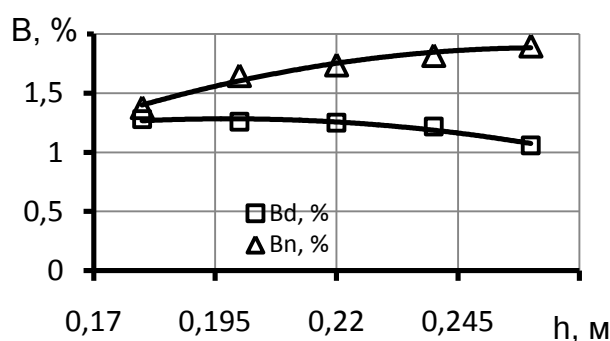


Рисунок 5.9 – Влияние высоты канала дорешетной аспирации в зоне ввода вороха на выделение компонентов вороха аспирациями

Анализ представленных на рисунке 5.9 зависимостей показывает, что при уменьшении высоты канала с 0,26 м до 0,22 м выделение компонентов вороха горизонтальным каналом дорешетной аспирации возрастает с 1,06 до 1,25% за счет увеличения скорости воздушного потока в канале. Выделение компонентов вороха каналом послерешетной очистки снижается в это время с 1,9 до 1,74% , а общее выделение обеими аспирационными системами возрастает с 2,96 до 3,04% или в 1,03 раза. При дальнейшем уменьшении высоты канала дорешетной аспирации с 0,22 до 0,18 м прирост выделения компонентов вороха этим каналом замедляется и увеличивается всего на 0,03 %. Одновременно возрастает интенсивность снижения выделения компонентов вороха послерешетной аспирацией. Так, при высоте канала дорешетной аспирации 0,18 м выделение каналом послерешетной аспирации уменьшается до 1,38% или практически в 1,26 раза. Общее выделение компонентов вороха по аэродинамическим свойствам обеими аспирационными системами снижается

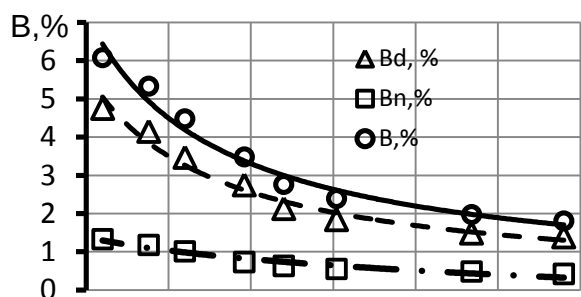
по сравнению с высотой канала дорешетной аспирации 0,22 м в 1,14 раза и составляет 2,66%.

Таким образом, уменьшение высоты канала послерешетной очистки с целью повышения скорости воздушного потока и эффективности выделения фуражных фракций не приводит к существенному повышению выделения компонентов вороха по аэродинамическим свойствам. При глубине канала послерешетной очистки 0,18 м и использовании воздушного потока последовательно в горизонтальном канале дорешетной очистки, его высоту наиболее рационально выбирать в пределах 0,22...0,24 м.

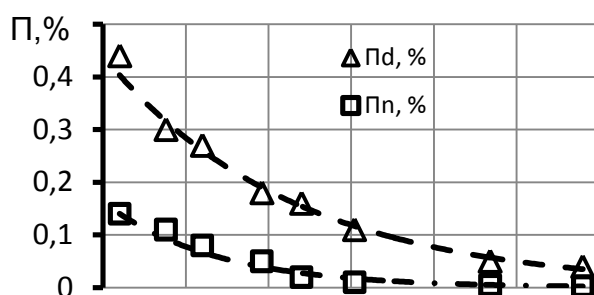
5.3. Влияние дополнительного забора воздуха на качественные показатели работы пневмосистемы

Основным путем повышения эффективности работы канала дорешетной очистки, как показали теоретические предпосылки, является повышение скорости воздушного потока в канале. Учитывая тот факт, что уменьшение высоты канала в небольших пределах не привело к существенному росту скорости и повышению эффективности, для экспериментальной оценки влияния скорости воздушного потока на работу канала использовали дополнительный забор воздуха после осадочной камеры канала послерешетной очистки. При открытии воздухозаборного окна, каналом дорешетной очистки забирается дополнительный воздух через окно до тех пор, пока сопротивление канала послерешетной очистки и его осадочной камеры не сравняются с сопротивлением окна. Это приводит к снижению скорости воздушного потока в канале послерешетной очистки, уменьшению за счет этого сопротивления пневмосистемы послерешетной очистки, росту общего расхода воздуха пневмосистемой и скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки. Так при открытии воздухозаборного окна до 0,02 м скорость воздушного потока в канале послерешетной очистки снижается с 9,95 м/с до 9,2...9,3 м/с или в 1,08 раза. Одновременно скорость воздушного потока в канале дорешетной очистки возрастает с 7,2 м/с до 8,1 м/с или в 1,13 раза.

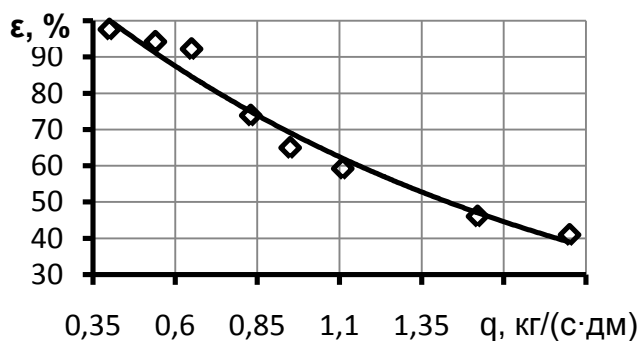
С увеличением скорости воздушного потока в канале дорешетной аспирации, за счет дополнительного забора воздуха через воздухозаборное окно, растет выделение компонентов вороха аспирационной системой дорешетной очистки и всей пневмосистемой в целом (рисунок 5.10).



а)



б)



в)

Рисунок 5.10 – Влияние подачи вороха на:

а) выделение компонентов вороха аспирациями; б) потери зерна в фуражную фракцию; в) полноту выделения пневмосистемой: высота канала $h_d=0,26$ м; открытие воздухозаборного окна $0,015...0,025$ м

В зависимости от подачи 68...75% компонентов вороха, выделяемых по аэродинамическим свойствам, приходится на аспирационную систему дорешетной очистки. За счет этого уменьшается концентрация компонентов, подлежащих выделению в канале послерешетной очистки, что облегчает его

работу и ведет к росту полноты выделения по аэродинамическим свойствам. При увеличении удельной подачи вороха до $1,5 \dots 1,8 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{дм})$ доля компонентов, выделяемых пневмосистемой дорешетной аспирации, снижается на $68 \dots 70\%$ (рисунок 5.10 а). Интенсивность снижения выделения компонентов вороха аспирационными системами дорешетной и послерешетной аспирации при увеличении подачи различная. С большей интенсивностью происходит снижение выделения компонентов вороха каналом дорешетной аспирации, особенно при увеличении удельной подачи с $0,4$ до $0,95 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{дм})$. Выделение компонентов вороха уменьшается с $4,75$ до $2,75 \%$ или в $1,73$ раза. Снижение выделения компонентов вороха каналом послерешетной аспирации составляет при этом $0,7\%$.

Потери полноценного зерна в фуражную фракцию пневмосистемой дорешетной аспирации уменьшаются с $0,44$ до $0,16 \%$ и пневмосистемой послерешетной аспирации с $0,14$ до $0,02 \%$ (рисунок 5.10 б). Полнота выделения компонентов вороха пневмосистемой в целом по аэродинамическим свойствам снижается при этом с $97,6$ до $65,0 \%$ или в $1,5$ раза (рисунок 5.10 в).

Дальнейшее увеличение удельной подачи с $0,95$ до $1,8 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{дм})$ вызывает снижение выделения компонентов вороха аспирационной системой дорешетной очистки с $2,75$ до $1,51 \%$ и аспирационной системой послерешетной очистки с $0,63$ до $0,42 \%$ или в $1,8$ и $1,5$ раза соответственно. Наблюдается дальнейшее снижение полноты выделения компонентов вороха по аэродинамическим свойствам с $65,0$ до $40,9 \%$ или в $1,58$ раза.

Таким образом, дополнительный забор воздуха через окно в верхней стенке канала, в месте его соединения с осадочной камерой канала послерешетной очистки, позволяет повысить установленную скорость воздушного потока в канале дорешетной аспирации до $7,5 \dots 9,5 \text{ м}/\text{с}$, что увеличивает до $68 \dots 75\%$ долю компонентов вороха, выделяемых по аэродинамическим свойствам аспирационной системой дорешетной очистки при удельных подачах вороха $0,4 \dots 1,8 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{дм})$.

В ворохе, выделенном аспирационной системой дорешетной очистки значительную долю (от 64,2 до 31,9 %) занимают компоненты имеющие скорость витания более 5,7 м/с и относящиеся к фуражной фракции.

Существенное (в 2,5 раза) снижение полноты выделения компонентов вороха аспирационными системами при увеличении удельной подачи вороха с 0,4 до 1,8 кг/(с·дм) вызывает необходимость совершенствования конструкции канала послерешетной очистки и повышения рабочей скорости воздушного потока в канале за счет частотного регулирования вентилятора.

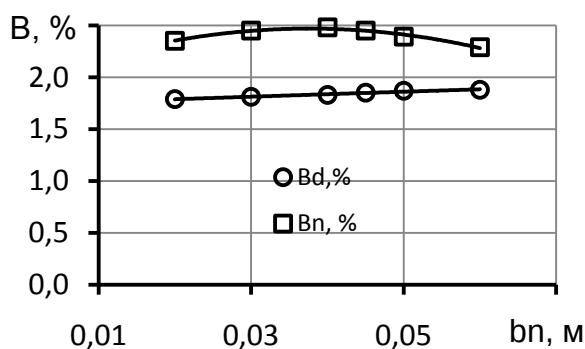
5.4. Влияние глубины предварительной зоны канала послерешетной аспирации на показатели выделения фуражной фракции

Многие высокопроизводительные двухаспираторные воздушно-решетные машины с вертикальным каналом послерешетной аспирации имеют в своей конструкции наставку, в виде рамки с опорной сеткой, к решетному стану для подачи вороха в канал. Подающая рамка устанавливается на уровне сортировального решета нижнего яруса и обеспечивает подачу вороха после решетной очистки, выровненным по высоте слоем, со скоростью близкой к скорости его перемещения по сортировальным решетам. По мнению В.Е. Саитова, расположенная со стороны входа в канал зернового вороха, расширяющаяся часть канала служит в качестве предварительной зоны псевдооживления и способствует расслоению вороха по плотности компонентов [225, 228].

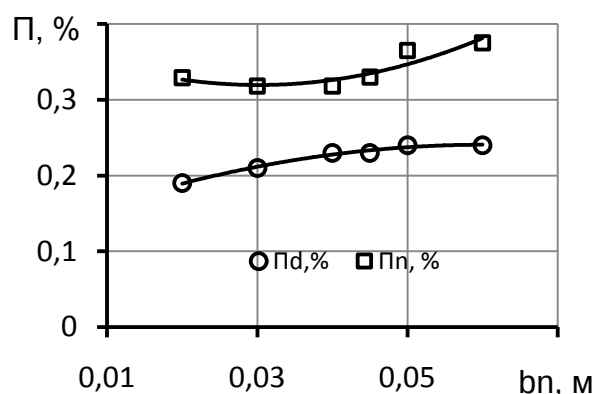
Согласно результатам предварительных экспериментальных исследований эффективность использования предварительной расширяющейся зоны канала для расслоения вороха за счет эффекта «псевдооживления» при такой длине и высоте слоя относительно мала. Вместе с тем, даже отсутствие подвижного клапана на внутренней перегородке канала при его разделении на две зоны позволяет практически исключить подсос «холостого» воздуха каналом и нарушение его работы.

Для обоснования рациональных параметров деление канала послерешетной очистки на две зоны были проведены исследования по схеме однофакторного эксперимента. При проведении опытов использовали сменную нижнюю часть канала послерешетной аспирации (рисунок 4.4), устанавливаемую на основной канал. Глубину предварительной зоны изменяли перемещением подвижной внутренней стенки. Суммарная глубина основной и предварительной зон канала непосредственно над опорной сеткой, в месте установки клапанов составляла 0,36 м. Подача вороха при проведении опытов составляла 0,6 и 0,95 кг/(с·дм).

На рисунке 5.11 представлены графические зависимости выделения компонентов вороха аспирационными системами дорешетной и послерешетной аспирации от длины предварительной зоны канала послерешетной аспирации.



а)



б)

Рисунок 5.11 – Влияние глубины предварительной зоны канала послерешетной аспирации:

а) на выделение компонентов вороха аспирациями; б) потери полноценного зерна

Как видно из графических зависимостей большая часть компонентов вороха выделяется по аэродинамическим свойствам каналом послерешетной очистки. При разделении канала послерешетной очистки на две части, с расширением предварительной зоны книзу для снижения скорости воздушного потока при входе зернового вороха в канал, выделение компонентов вороха каналом послерешетной аспирации увеличивается в 1,2...1,35 раза по сравнению с каналом без предварительной зоны. Изменение глубины предварительной зоны с 0,02 до 0,03 ...0,04 м увеличивает выделение компонентов вороха каналом послерешетной аспирации с 2,35 до 2,45...2,48%. Дальнейшее увеличение глубины предварительной зоны канала до 0,06 м вызывает снижение выделения компонентов вороха до 2,29...2,3%.

Потери полноценного зерна в фуражную фракцию при наличии предварительной зоны канала послерешетной очистки снижаются на 0,2...0,3% или в 1,5...1,8 раза по сравнению с каналом без предварительной зоны и не превышают 0,4 %. Минимальные потери соответствуют глубине предварительной зоны канала 0,02...0,03м.

Рост выделения компонентов вороха каналом послерешетной аспирации и одновременное снижение потерь зерна в фуражную фракцию при наличии предварительной зоны объясняется выравниванием скорости воздушного потока в основной зоне канала. Равномерный слой зернового вороха подается с решетного стана в основную зону канала при постепенном увеличении скорости воздушного потока проходящего через зерновой слой. Это способствует исключению значительного перераспределения зернового вороха по сечению канала, которое ведет к появлению участков с повышенной скоростью и выносу полноценного зерна. Вместе с тем, чрезмерное увеличение предварительной зоны канала за счет уменьшения глубины основной зоны вызывает рост концентрации компонентов вороха в нижней части основной зоны, и как следствие снижение их выделения. Рост выделения компонентов вороха аспирационной системой дорешетной аспирации при увеличении глубины предварительной зоны канала послерешетной аспирации с 0,02 до 0,06

м составляет 0,05%, что говорит о некотором повышении общего расхода воздуха пневмосистемой.

Работу обеих аспирационных систем при изменении глубины предварительной зоны канала послерешетной аспирации можно оценить полнотой выделения компонентов вороха (рисунок 5.12).

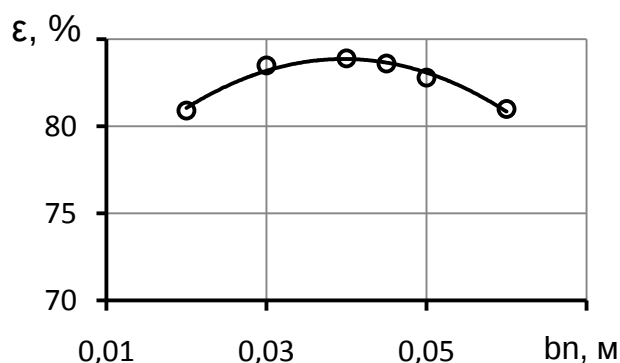


Рисунок 5.12 – Влияние глубины предварительной зоны канала на полноту выделения компонентов вороха аспирациями

Полнота выделения компонентов вороха по аэродинамическим свойствам пневмосистемой при удельной подаче 0,6 кг/(с·дм) достигает 80,9...83,9%. Это на 6,4...10,4% больше по сравнению с пневмосистемой, оборудованной каналом послерешетной аспирации без предварительной зоны. Большие значения полноты выделения компонентов вороха наблюдаются при глубине предварительной зоны канала 0,03...0,04 м, что составляет 16...20% от глубины основной зоны канала.

В таблице 5.1 представлено распределение компонентов вороха, выделенных пневмосистемой послерешетной аспирации по составу в зависимости от глубины предварительной зоны канала при подаче вороха 0,6 кг/(с·дм). Как видно из таблицы основную часть в ворохе, выделенном пневмосистемой послерешетной аспирации, занимает биологически неполноценное зерно, в том числе и с толщиной зерновок меньше ширины отверстий сортировальных решет. При максимальной полноте выделения компонентов вороха пневмосистемой выделение послерешетной аспирацией необмолоченных

зерновок возрастает до 18,81...19,56%, дробленого зерна до 2,14...2,21% и засорителей до 0,94...0,99%, снижается доля, занимаемая в выделенном ворохе биологически неполноценным целым зерно до 75,67...74,88%.

Таблица 5.1 – Распределение компонентов вороха, выделенных послерешетной аспирацией по составу

Глубина предварительной зоны канала, % (м)	Соломистые фракции, %	Недомолоченные зерновки, %	Дробленое зерно, %	Засорители, %	Неполноценное целое зерно, %
11 (0,02)	2,10	17,76	2,12	0,61	77,40
17 (0,03)	2,37	19,56	2,21	0,99	74,88
22 (0,04)	2,44	18,81	2,14	0,94	75,67
25 (0,045)	2,56	15,17	2,00	0,89	79,39
28 (0,05)	2,24	13,21	1,97	0,78	81,80
33 (0,06)	2,05	11,34	1,85	0,53	84,23

Соломистые фракции занимают в ворохе, выделенном каналом послерешетной аспирации 2,05... 2,56%, а их основная часть выделяется каналом дорешетной очистки.

Таким образом, применение канала послерешетной очистки с разделением в нижней части на две зоны, подачей зернового вороха рамкой с опорной сеткой и забором воздушного потока через слой зерна, позволяет улучшить эффективность работы пневмосистемы. Полнота выделения компонентов вороха по аэродинамическим свойствам пневмосистемой увеличивается на 6,4...10,4% при снижении потерь полноценного зерна каналом послерешетной очистки до 0,33% при удельной подаче 0,6 кг/(с·дм). Рациональная глубина предварительной зоны канала в верхней части составляет 15...20% от общей глубины канала послерешетной очистки. Переднюю стенку канала для увеличения протяженности предварительной зоны необходимо устанавливать под углом к вертикали 10...12° с отклонением в сторону входной части. Высота разделительной перегородки должна составлять 0,58...0,65 м.

Для обоснования рациональных параметров канала послерешетной очистки при подачах зернового вороха более 1,0 кг/(с·дм) требуется проведение дополнительных исследований.

5.5. Обоснование рационального сечения канала послерешетной аспирации и режима работы пневмосистемы при различной подаче

Применение канала послерешетной очистки с разделением в нижней части на две зоны, с подачей зернового вороха рамкой с опорной сеткой и забором воздушного потока через слой зерна, позволяет улучшить эффективность работы пневмосистемы. Полнота выделения компонентов вороха по аэродинамическим свойствам пневмосистемой увеличивается на 6,4...10,4% при снижении потерь полноценного зерна каналом послерешетной очистки до 0,33% при удельной подаче 0,6 кг/(с·дм) и общей глубине канала 0,18 м.

Однако увеличение подачи до 1,5...1,8 кг/(с·дм) снижает эффективность работы, как канала послерешетной очистки, так и канала дорешетной очистки. При этом основная часть компонентов вороха или более 60% выделяется каналом послерешетной очистки, что снижает эффективность работы пневмосистемы за счет высокой концентрации в канале компонентов вороха, имеющих скорость витания меньше скорости воздушного потока установленной в канале. Использование воздухозаборного окна после канала послерешетной очистки позволяет увеличить выделение компонентов вороха аспирационной системой дорешетной очистки до 68...75%. Одновременно наблюдается снижение выделения вороха послерешетной аспирацией, как по причине роста концентрации вороха в канале с увеличением подачи, так и за счет снижения скорости воздушного потока при открытии окна.

Это подтверждает необходимость исследований по обоснования рациональной глубины канала послерешетной аспирации при подачах зернового вороха более 1, 0 кг/(с·дм) и интенсификации работы канала дорешетной очистки путем увеличения скорости воздушного потока в нем без дополнительного забора воздуха окном.

Предварительные исследования позволили выявить наиболее значимые факторы, влияющие на работу пневмосепарирующего канала послерешетной аспирации и уровни их варьирования. С целью уменьшения количества опы-

тов был реализован многофакторный эксперимент для четырех факторов по плану Бокса (B_4). Уровни варьирования выбранных факторов представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Уровни варьирования выбранных факторов и их значения

Уровни варьирования факторов	Наименование факторов и значения их параметров			
	Подача вороха q , кг/(с·дм)	Скорость воздушного потока V_n , м/с	Глубина предварительной зоны канала b_n , м	Глубина канала h_n , м
Верхний (+1)	1,9	8,8	0,070	0,250
Средний (0)	1,3	8,5	0,045	0,215
Нижний (-1)	0,7	8,2	0,020	0,180

Удельную подачу вороха при проведении многофакторного эксперимента изменяли от 0,7 до 1,9 кг/(с·дм), с интервалом варьирования 0,6 кг/(с·дм). При выборе скорости воздушного потока в канале послерешетной аспирации учитывались результаты проведенных ранее экспериментальных исследований. Максимальное значение скорости в канале выбиралось исходя из выноса не более 0,5 % полноценного зерна в фуражную фракцию. Глубину канала послерешетной очистки изменяли в пределах 0,18...0,25 м. Интервал изменения глубины или протяженности предварительной зоны канала был выбран на основе результатов исследований, полученных при глубине канала $h_n=0,18$ м.

В качестве критерия оптимизации рассматривали выделение компонентов вороха, включая биологически неполноценные зерновки, имеющих скорость витания менее 8,0 м/с. Потери полноценного зерна, путем его выноса в осадочную камеру послерешетной аспирации, служили ограничивающим критерием. Результаты расчета коэффициентов уравнения регрессии для выделения компонентов вороха $B_n, \%$ и потерь полноценного зерна в фуражную фракцию $\Pi_n, \%$ представлены в Приложении Ж.

Уравнение регрессии второго порядка в закодированном виде для выделения компонентов вороха, имеющих скорость витания менее 8 м/с в пневмосепарирующем канале послерешетной аспирации имеет вид:

$$B_n = 2,505 - 0,97 \cdot q + 0,22 \cdot V_n + 0,456 \cdot h_n + 0,063 \cdot b_n - 0,25 \cdot q^2 - 0,023 \cdot V_n^2 - 0,03 \cdot b_n^2 - 0,07 \cdot h_n^2 + 0,021 \cdot q \cdot V + 0,1 \cdot q \cdot b_n + 0,001 \cdot q \cdot h_{nn} - 0,04 \cdot V_n \cdot b_n + 0,079 \cdot V_n \cdot h_{nn} + 0,015 \cdot b_n \cdot h_n, \quad (5.1)$$

при коэффициенте множественной корреляции $R = 0,954$.

После исключения незначимых коэффициентов пошаговым методом уравнение регрессии с закодированными переменными принимает вид:

$$B_n = 2,51 - 0,97 \cdot q + 0,232 \cdot V_n + 0,068 \cdot b_n + 0,441 \cdot h_n - 0,25 \cdot q^2 - 0,08 \cdot h_n^2 + 0,092 \cdot q \cdot b_n + 0,085 \cdot V_n \cdot b_n, \quad (5.2)$$

при значении коэффициента множественной корреляции $R = 0,952$.

Анализ уравнения 5.2 показывает, что основное влияние на выделение компонентов вороха каналом послерешетной аспирации в выбранном интервале варьирования оказывает удельная подача. На рисунке 5.13 представлена зависимость выделения компонентов вороха от удельной подачи и глубины канала послерешетной очистки.

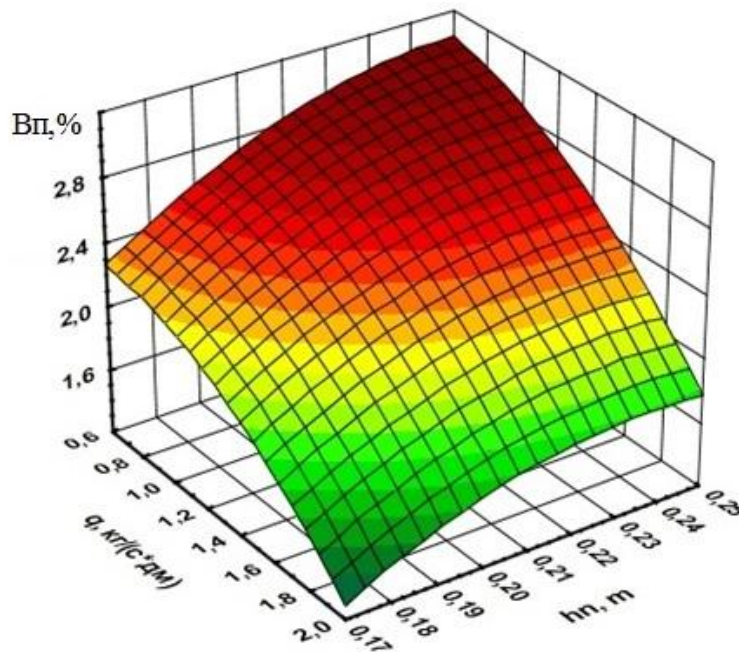


Рисунок 5.13 – Влияние подачи и глубины канала послерешетной аспирации на выделение компонентов вороха

Анализ уравнения 5.2 и графической зависимости 5.13 показывает, что влияние подачи на выделение компонентов вороха носит нелинейный харак-

тер. Так, при скорости воздушного потока в канале 8,5 м/с, глубине предварительной зоны канала 0,045 м и глубине канала 0,18 м выделение компонентов вороха составляет 2,76 % при подаче 0,7 кг/(с·дм). Увеличение удельной подачи до 1,3 кг/(с·дм) снижает выделение компонентов вороха каналом послерешетной очистки до 2,02 % или в 1,37 раза.

Дальнейшее увеличение удельной подачи до 1,9 кг/(с·дм) снижает выделение компонентов вороха каналом послерешетной очистки до 1,27...1,34 % или в 1,55 раза. Таким образом, можно констатировать, что с увеличением удельной подачи при неизменной глубине канала интенсивность снижения выделения компонентов возрастает.

В отличие от удельной подачи, с увеличением глубины канала наблюдается рост выделения компонентов вороха. Увеличение глубины канала до 0,2...0,22 м, при одновременном увеличении удельной подачи до 1,3 кг/(с·дм) позволяет достигнуть выделения компонентов вороха 2,6...2,7 %. Такое выделение практически соответствует показателям выделения при подаче 0,7 кг/(с·дм) и глубине канала 0,18 м. При дальнейшем увеличении глубины канала до 0,24...0,25 м такие же показатели выделения компонентов вороха наблюдается при подаче 1,45...1,55 кг/(с·дм). Влияние глубины канала, как и подачи, носит нелинейный характер. Поэтому с увеличением глубины канала свыше 0,21...0,22 м прирост выделения компонентов вороха замедляется, что можно объяснить ростом неравномерности распределения вороха по сечению канала.

Таким образом, увеличение глубины канала не может в полной мере компенсировать снижение выделения компонентов вороха при увеличении его удельной подачи свыше 1,45...1,55 кг/(с·дм).

Скорость воздушного потока в выбранном диапазоне её изменения влияет на выделение компонентов вороха в меньшей степени. На рисунке 5.14 представлена зависимость выделения компонентов вороха от удельной подачи и скорости воздушного потока в канале послерешетной очистки при глубине канала 0,215 м и глубине предварительной зоны канала 0,045 м.

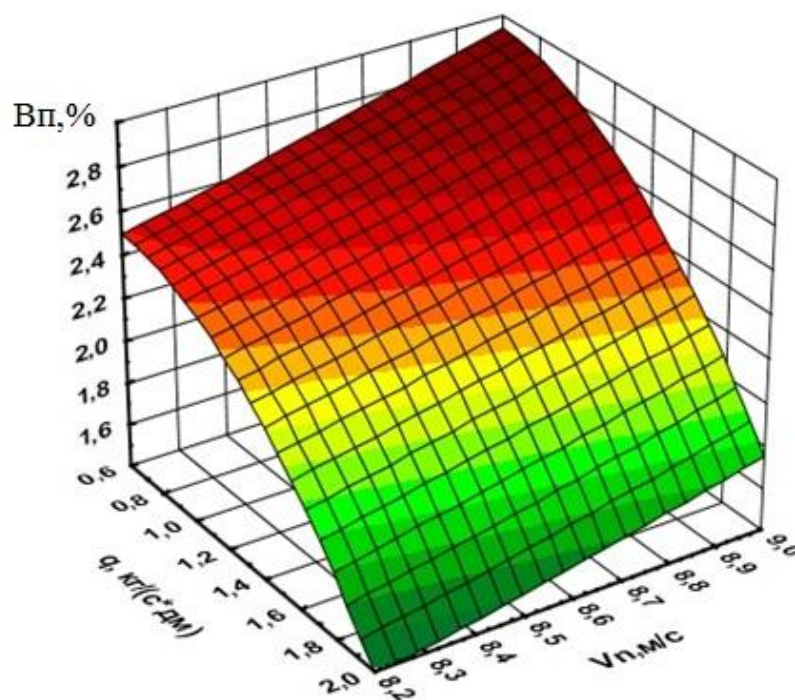


Рисунок 5.14 – Влияние подачи и скорости воздушного потока в канале послерешетной очистки на выделение компонентов вороха

С увеличением скорости воздушного потока с 8,2 до 8,8 м/с наблюдается рост выделения компонентов вороха без превышения потерь зерна в фуражную фракцию более 0,5 %. Причем, влияние скорости в диапазоне её изменения до 9,0 м/с носит практически линейный характер. Прирост выделения компонентов вороха 0,30 % наблюдается при подаче вороха 0,7 кг/(с·дм) и повышении установленной скорости в канале послерешетной очистки с 8,2 до 9,0 м/с. Такое же увеличение скорости воздушного потока в канале при удельной подаче 1,3 кг/(с·дм) вызывает прирост выделения компонентов вороха 0,38...0,43 %. При удельной подаче 1,9 кг/(с·дм) прирост выделения компонентов составляет 0,41...0,45 %.

На основании этих результатов можно отметить целесообразность повышения скорости воздушного потока при более высокой удельной подаче. При удельных подачах 1,3...1,9 кг/(с·дм) и повышении установленной скорости в канале до 9,0 м/с вынос полноценного зерна в фуражную фракцию не превышает 0,22 %.

Таким образом, повышение установленной скорости воздушного потока в канале послерешетной очистки более 8,8...9,0 м/с при удельных подачах более 1,3 кг/(с·дм) позволяет увеличить выделение компонентов вороха на 0,3...0,45 %.

Глубина предварительной зоны канала послерешетной аспирации по сравнению с остальными факторами оказывает меньшее влияние на выделение компонентов вороха каналом. На рисунке 5.15 представлена зависимость выделения компонентов вороха от глубины канала и протяженности предварительной зоны при скорости воздушного потока 8,5 м/с и удельной подаче вороха 1,3 кг/(с·дм).

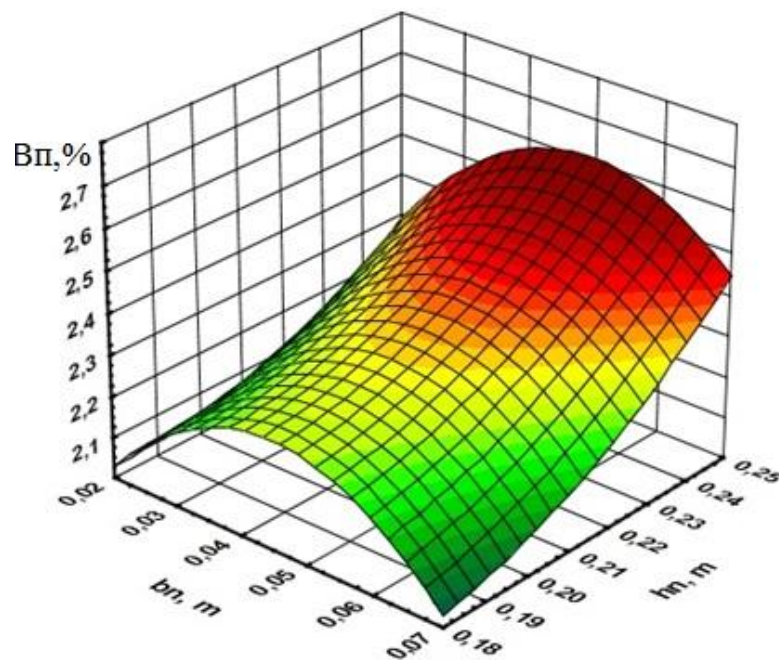


Рисунок 5.15 – Влияние протяженности предварительной зоны и глубины канала на выделение компонентов вороха

Как видно из графической зависимости при глубине канала 0,18 м максимальные значения выделения компонентов вороха наблюдается при протяженности предварительной зоны 0,035...0,045 м. С увеличением глубины канала до 0,25 м максимум выделения компонентов вороха каналом послерешетной аспирации смещается в сторону увеличения протяженности предварительной зоны до 0,045...0,055 м.

Таким образом, независимо от глубины канала и удельной подачи вороха протяженность предварительной зоны канала наиболее рационально выбирать в пределах 18...22 % от глубины канала.

Потери полноценного зерна в фуражную фракцию каналом послерешетной аспирации так же описываются уравнением регрессии второго порядка в закодированных переменных:

$$\begin{aligned} \Pi_n = & 0,156 - 0,39 \cdot q + 0,644 \cdot V_n - 0,42 \cdot h_n - 0,15 \cdot b_n + 0,215 \cdot q^2 - 0,031 \cdot V_n^2 - \\ & - 0,05 \cdot b_n^2 + 0,113 \cdot h_n^2 - 0,03 \cdot q \cdot V_n + 0,045 \cdot q \cdot b_n + 0,473 \cdot q \cdot h_n - 0,02 \cdot V_n \cdot b_n + \\ & + 0,016 \cdot V_n \cdot h_n - 0,13 \cdot b_n \cdot h_n, \end{aligned} \quad (5.3)$$

при коэффициенте корреляции $R = 0,95$.

После исключения незначимых коэффициентов уравнением регрессии для потерь зерна в фуражную фракцию в закодированных переменных принимает вид:

$$\begin{aligned} \Pi_n = & 0,158 - 0,39 \cdot q + 0,639 \cdot V_n - 0,43 \cdot h_n - 0,14 \cdot b_n + 0,203 \cdot q^2 + \\ & + 0,099 \cdot h_n^2 + 0,484 \cdot q \cdot h_n - 0,14 \cdot b_n \cdot h_n, \end{aligned} \quad (5.4)$$

при коэффициенте корреляции $R = 0,945$.

Анализ уравнения регрессии показывает, что влияние на потери полноценного зерна в фуражную фракцию оказывают все выбранные факторы: глубина канала, удельная подача вороха, скорость воздушного потока в канале, глубина предварительной зоны канала. Глубина предварительной зоны канала влияет на потери зерна в меньшей степени, по сравнению с другими факторами.

Большее влияние на изменение потерь зерна в фуражную фракцию оказывает скорость воздушного потока в канале.

Повышение скорости воздушного потока способствует росту потерь полноценного зерна, хотя выбор её максимального значения проводился из условия не превышения допустимого уровня потерь. При одновременном повышении скорости воздушного потока и удельной подачи вороха наблюдает-

ся замедление роста потерь зерна, вызываемое повышением скорости воздушного потока (рисунок 5.16).

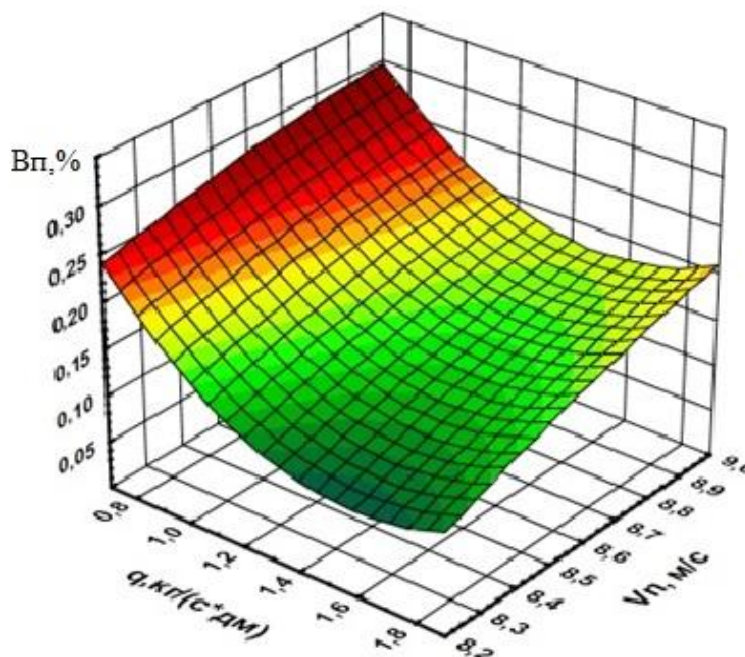


Рисунок 5.16 – Влияние удельной подачи и скорости воздушного потока на потери полноценного зерна каналом послерешетной аспирации

Так, при удельной подаче вороха $0,7...0,8$ кг/(с·дм) повышение скорости воздушного потока в канале с $8,2$ до $9,0$ м/с приводит к росту потерь полноценного зерна в фуражную фракцию с $0,22...0,23$ % до $0,28...0,31$ %.

При таком же повышении установленной скорости воздушного потока в канале и удельной подаче вороха $1,8...2,0$ кг/(с·дм) потери полноценного зерна в фуражную фракцию возрастают с $0,12...0,14$ % до $0,18...0,21$ %.

Поэтому, при удельной подаче вороха более $1,4...1,5$ кг/(с·дм) установленную скорость воздушного потока в канале послерешетной очистки целесообразно увеличивать до $9,5...9,8$ м/с при потерях полноценного зерна меньше допустимых.

Незначительно меньшее влияние на изменение потерь зерна в фуражную фракцию по сравнению со скоростью оказывает глубина канала и подача вороха, причем влияние подачи в большей степени носит нелинейный характер (рисунок 5.17).

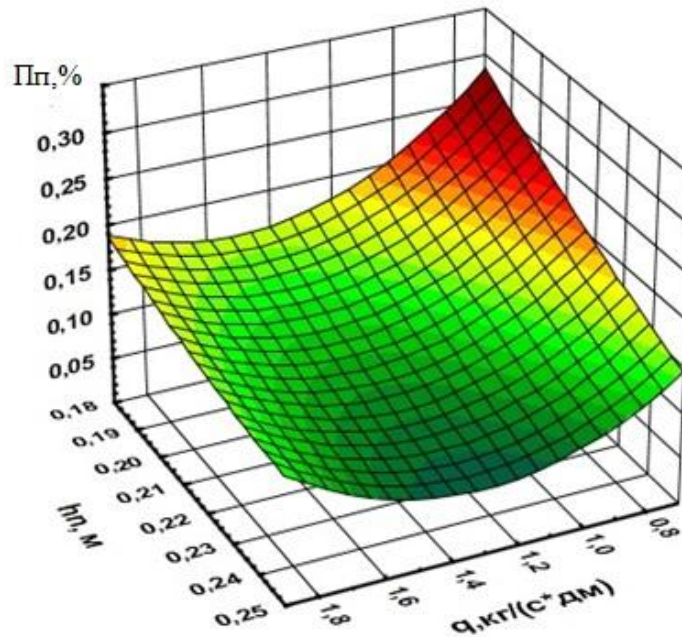


Рисунок 5.17 – Влияние удельной подачи и глубины канала на потери полноценного зерна каналом послерешетной аспирации

При увеличении глубины канала послерешетной очистки с 0,18 м до 0,25 м наблюдается снижение потерь в пределах 0,05...0,15%. Большее снижение потерь с увеличением глубины канала наблюдается при удельной подаче 0,7...0,8 кг/(с·дм). Независимо от глубины канала минимум потерь соответствует удельной подаче вороха 1,2...1,5 кг/(с·дм). При повышении удельной подачи до 1,8...2,0 кг/(с·дм) потери зерна незначительно возрастают - на 0,04...0,07 %. Такой характер влияния подачи на потери полноценного зерна можно объяснить высокой концентрацией компонентов и их перераспределением по сечению канала. Это приводит к появлению участков с повышенной скоростью воздушного потока, что вызывает вынос полноценного зерна в осадочную камеру.

Учитывая взаимное влияние глубины канала и протяженности предварительной зоны, на рисунке 5.18 представлена графическая зависимость их влияния на потери зерна в фуражную фракцию. Как видно из графической зависимости, минимальные потери зерна в фуражную фракцию наблюдаются при глубине канала 0,23...0,24 м, и глубине предварительной зоны канала 0,05...0,06 м. При уменьшении глубины канала потери полноценного зерна

возрастают, и их минимум смещается в сторону уменьшения глубины предварительной зоны до 0,04...0,045 м.

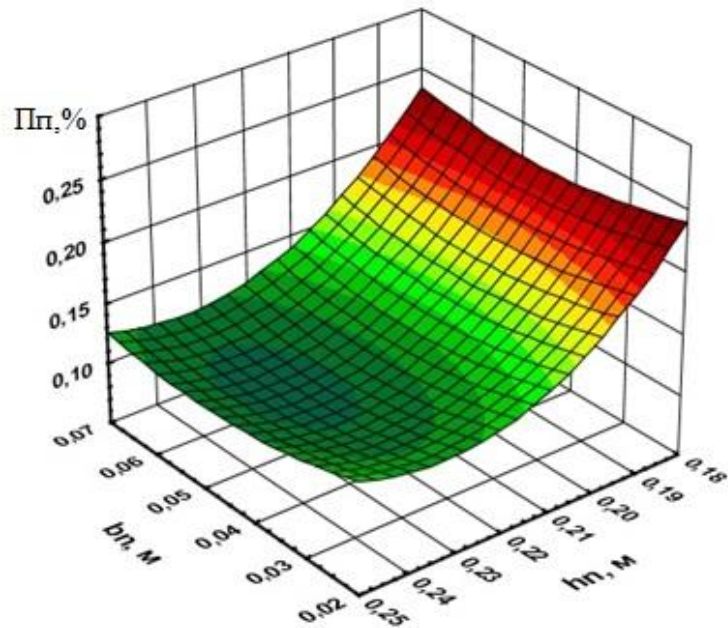


Рисунок 5.18 – Влияние глубины предварительной зоны и глубины канала на потери полноценного зерна послерешетной аспирацией

Таким образом, канал послерешетной аспирации целесообразно разделять на две части разделительной перегородкой высотой 0,58...0,65 м с выделением основной и предварительной зон. Минимальные потери полноценного зерна соответствуют глубине предварительной зоны канала 0,045...0,06 м, поэтому протяженность предварительной зоны канала в верхней части наиболее рационально выбирать в пределах 18...22 % от глубины канала, с расширением в сторону входной части.

Переднюю стенку канала для увеличения протяженности предварительной зоны необходимо устанавливать под углом к вертикали 10...12°.

Увеличение глубины канала послерешетной очистки до 0,23...0,25 м позволяет повысить выделение компонентов вороха по аэродинамическим свойствам на 0,35...0,7% при удельных подачах вороха 1,3...1,9 кг/(с·дм) и выносе полноценного зерна в фуражную фракцию меньше 0,5%. Причем больший прирост выделения компонентов соответствует большей удельной подаче. При удельных подачах вороха 1,3...1,9 кг/(с·дм) и использовании

вентиляторов низкого и среднего напора установленную скорость воздушного потока в канале послерешетной очистки целесообразно увеличивать до 9,5...9,8 м/с при потерях полноценного зерна меньше допустимых.

5.6. Распределение скоростей воздушного потока в осадочных камерах пневмосистемы

Целью исследований являлось оценка характера распределения скорости, полученного в результате моделирования и возможность использования этих результатов при проектировании пневмосистемы машин. Точки замера скорости воздушного потока в осадочной камере канала послерешетной очистки располагались согласно схеме, представленной на рисунке 4.9, а осадочной камеры канала дорешетной очистки рисунка 4.8. Направление векторов скоростей воздушного потока в точках замера для осадочной камеры канала послерешетной очистки представлено на рисунке 5.19, а численные значения скоростей в таблице 5.3.

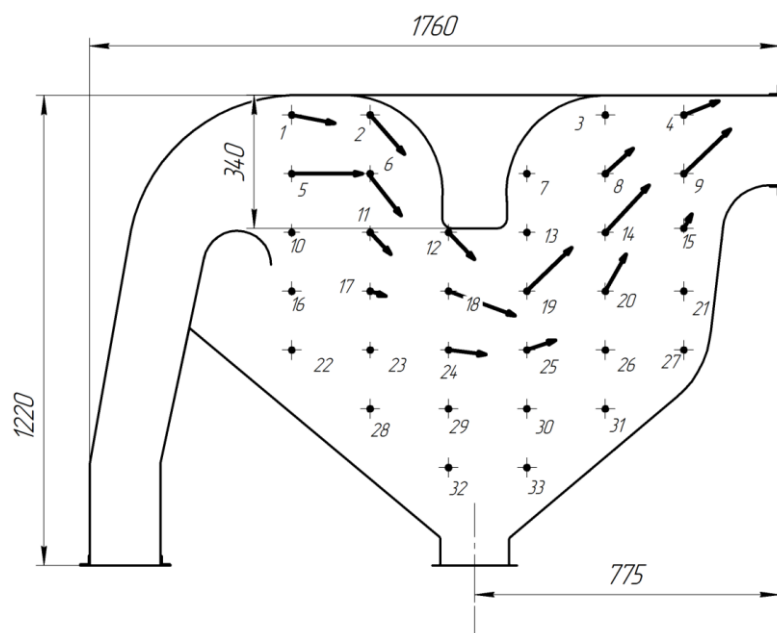


Рисунок 5.19 – Векторное поле скоростей воздушного потока по сечению осадочной камеры канала послерешетной аспирации

Как видно из полученных данных, на входе в осадочную камеру воздушный поток распределяется неравномерно по высоте, что обусловлено поворотом канала послерешетной аспирации. В нижней части входного окна

канала наблюдается нулевая скорость воздушного потока, тогда как со стороны верхней стенки она достигает значения 5,4 м/с. Максимальное значение скорости наблюдается у оси входного окна и составляет 8,0 м/с.

Таблица 5.3 – Значения скоростей воздушного потока в точках замера осадочной камеры канала послерешетной очистки

№ точки на схеме	Скорость воздушного потока, м/с	№ точки на схеме	Скорость воздушного потока, м/с
1	5,4	18	8,6
2	8,0	19	9,2
3	0,0	20	4,5
4	5,1	21	0,0
5	9,0	22	0,0
6	7,8	23	0,0
7	0,0	24	4,3
8	4,9	25	3,9
9	9,2	26	0,0
10	0,0	27	0,0
11	3,9	28	0,0
12	6,2	29	0,0
13	0,0	30	0,0
14	9,6	31	0,0
15	2,5	32	0,0
16	0,0	33	0,0
17	1,9		

В нижней части камеры, составляющей более 30 % от её глубины, скорость воздушного потока принимает практически нулевые значения. Так же нулевые значения скорость воздушного потока принимает на расстоянии 0,3...0,5 м от наклонных стенок дна камеры. Причем, скорость в точке, лежащей на расстоянии 0,2 м от вертикальной стенки камеры со стороны выходного окна составляет всего 2,5 м/с.

Максимальные значения скорости воздушного потока наблюдаются при обтекании отражательной перегородки. Со стороны входного окна, за счет относительно большой высоты распределения, скорость потока наблюдается в пределах 1,9...7,8 м/с. На расстоянии 0,16...0,17 м от ее нижней кромки скорость воздушного потока достигает уже 8,6 м/с. Перед выходным окном камеры, скорость оси потока принимает максимальные значения 9,2...9,6 м/с.

Направление векторов скоростей воздушного потока в точках замера для осадочной камеры канала дорешетной очистки, и численные значения приведены в Приложении 3.

Анализ полученных результатов показывает, что воздушный поток не распределяется по всей высоте секции камеры для сбора фуражных фракций. В нижней части камеры на высоте 0,35...0,4 м от фланца выгрузного устройства наблюдается скорость воздушного потока 0...0,6 м/с. При обтекании отражательной перегородки скорость воздушного потока составляет от 0,5 до 5,6 м/с. Снижение скорости воздушного потока в зоне перегородки ниже 5,6 м/с позволяет осаждаться в осадочной камере компонентам вороха со скоростями витания менее 5,7 м/с, которые должны направляться во фракцию отходов. Фактическое распределение скоростей воздушного потока по сечению осадочных камер подтверждает общий характер распределения, полученного в результате моделирования с использованием программных комплексов основанных на конечно-объемном методе решения уравнений гидродинамики и прямоугольной адаптивной сетки, а также правомочность сделанных выводов об уменьшении размеров камер и отражательных перегородок.

Уменьшение размеров осадочной камеры канала послерешетной сепарации не сказалось существенным образом на распределении поля скоростей в ее сечении (Приложение К). В нижней части камеры наблюдается зона практически с нулевыми значениями скоростей воздушного потока, что позволяет осаждаться вынесенным легковесным примесям. Высота этой зоны составляет 10...15 % от общей глубины осадочной камеры. Максимальные значения скорости наблюдаются в зоне поворота воздушного потока к выходному окну или его входу в канал дорешетной аспирации. Скорость воздушного потока в этой зоне достигает 9,3 м/с. Более существенно изменены габаритные размеры секционной осадочной камеры канала дорешетной аспирации и длина ее отражательной перегородки. Длина осадочной камеры канала дорешетной аспирации L_{dok} уменьшилась более чем на 0,5 м, а глуби-

на H_{dok} почти в два раза и составила 0,65 м. Длина отражательной перегородки осадочной камеры канала дорешетной аспирации уменьшена до $l_{dok} = 0,085$ м или в 4,0 раза. Секция для сбора фуражных фракций осадочной камеры имеет симметричное расположение выгрузного устройства с наклоном боковых стенок 50° к горизонтали.

Распределение скоростей воздушного потока в осадочной камере канала дорешетной аспирации после изменения её размеров представлено в Приложении К.

Анализ поля скоростей осадочной камеры канала дорешетной аспирации показывает, что существенное уменьшение длины отражательной перегородки l_{dok} исключило дополнительные повороты воздушного потока. В камере наблюдается плавное одностороннее расширение воздушного потока и более резкое его сужение при входе в воздухоотводящий канал. Максимальные значения скорости по длине канала меняются от 7,2 до 6,1 м/с.

Уменьшение размеров секции осадочной камеры канала дорешетной аспирации позволило изменить соотношение между легковесными компонентами, осаждаемыми в осадочной камере и выносимыми в пылеотделитель и имеющими скорость витания менее 5,7 м/с (таблица 5.4).

Таблица 5.4 - Доля компонентов со скоростью витания $\leq 5,7$ м/с в осадочной камере дорешетной очистки

Удельная подача, кг/(с·дм)	Доля компонентов со скоростью витания $\leq 5,7$ м/с в осадочной камере дорешетной очистки, %	
	$H_{dok}=1,12$ м	$H_{dok}=0,65$ м
0,4	86,5	28,0
0,65	83,0	26,5
0,9	81,5	25,1
1,15	79,5	24,7
1,4	78,3	23,7
1,65	77,5	22,6
1,8	75,9	21,3

Как видно из данных, представленных в таблице 5.4, уменьшение высоты камеры до $H_{dok} = 0,65$ м и её длины до $L_{dok} = 1,1$ м снижает долю легко-

весных компонентов со скоростями витания $\leq 5,7$ м/с в секции фуража в 2,95...3,1 раза. Это уменьшает их удельный вес до 10...17 %, что позволит использовать его как фураж без дополнительной очистки.

Таким образом, использование программных комплексов основанных на конечно-объемном методе решения уравнений гидродинамики и прямоугольной адаптивной сетки позволяет получить распределение скоростей воздушного по каналам и осадочным камерам близкое к фактическому распределению, что подтверждено результатами экспериментальных исследований. Поэтому использование такого моделирования позволит без трудоемких и затратных экспериментов проводить проектирование сложных пневмосистем зерноочистительных машин.

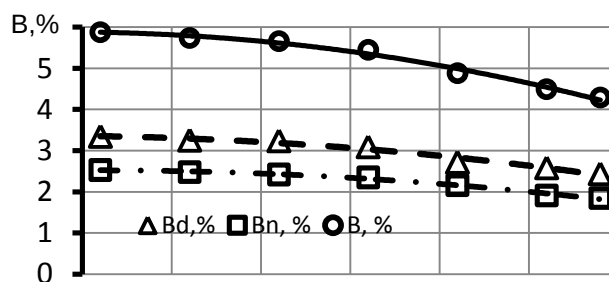
5.7. Влияние подачи вороха на качественные показатели работы пневмосистемы

Для оценки работы пневмосистемы в целом в зависимости от подачи были проведены экспериментальные исследования по схеме однофакторного эксперимента. При проведении экспериментов параметры каналов послерешетной и дорешетной очисток и их осадочных камер принимали определенные ранее рациональные значения.

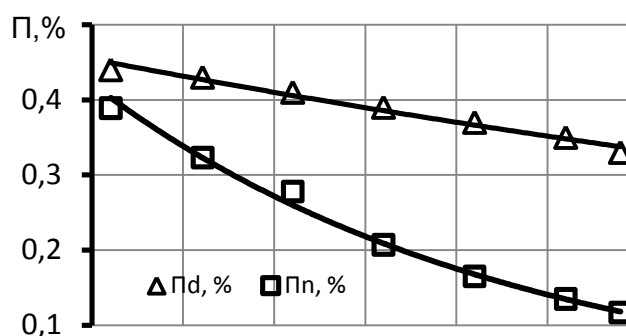
Основные результаты обработки опытов представлены графически на рисунке 5.20.

Как показывает анализ графических зависимостей (рисунок 5.20), увеличение глубины канала послерешетной аспирации до 0,24 м позволило улучшить качественные показатели работы пневмосистемы при удельных подачах до 1,8 кг/(с·дм). Общее выделение компонентов вороха пневмосистемой при удельной подаче вороха 1,8 кг/(с·дм) составляет 4,29 % при полноте выделения 71,8 %. Полнота выделения увеличилась на 11,8 %, по сравнению с пневмосистемой, имеющей глубину канала послерешетной очистки 0,18 м и дополнительным забором воздуха посредством воздухозаборного окна. Выделение каналом послерешетной аспирации составляет 1,85%, или в

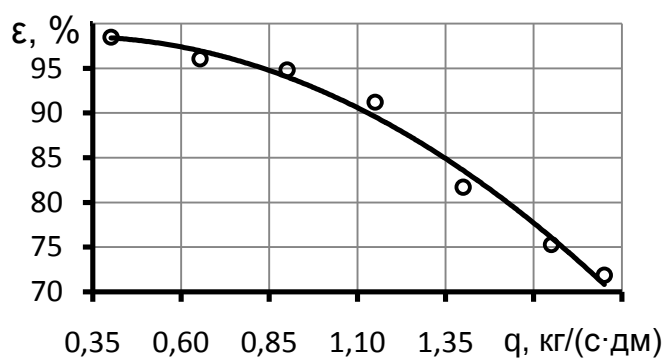
4 раза выше, чем при его меньшем сечении и дополнительном заборе воздуха через воздухозаборное окно для повышения скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки. Доля вороха, выделяемого каналом послерешетной очистки, возросла до 40...46 %.



а)



б)



в)

Рисунок 5.20 – Влияние подачи вороха на:

а) выделение компонентов вороха аспирациями; б) потери зерна в фуражную фракцию; в) полноту выделения пневмосистемой

Потери полноценного зерна в фуражную фракцию как пневмосистемой дорешетной очистки, так и пневмосистемой послерешетной очистки при удельных подачах более 1,0 кг/(с·дм) не превышают 0,5%.

Распределение выделенных всей пневмосистемой компонентов вороха по составу при глубине канала послерешетной аспирации 0,24 м представлено в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Распределение выделенных пневмосистемой компонентов вороха по составу

Удельная подача, кг/(с·дм)	Установленная скорость, Vп, м/с	Выделено всего, %	Целое зерно, %	Недомолоченные зерновки, %	Засорители, %	Дробленое зерно, %	Незерновые компоненты, %
Выделено всей пневмосистемой							
0,40	8,2	5,880	4,691	0,338	0,230	0,295	0,325
0,65	8,4	5,736	4,580	0,316	0,229	0,291	0,320
0,90	8,5	5,662	4,532	0,300	0,226	0,283	0,321
1,15	8,8	5,446	4,354	0,274	0,223	0,273	0,322
1,40	9,1	4,878	3,806	0,259	0,221	0,269	0,323
1,65	9,3	4,494	3,461	0,248	0,217	0,254	0,314
1,80	9,5	4,290	3,28	0,230	0,214	0,252	0,314
Выделено дорешетной аспирацией							
0,40	8,2	3,350	2,479	0,087	0,215	0,279	0,290
0,65	8,4	3,256	2,401	0,086	0,212	0,270	0,287
0,90	8,5	3,242	2,412	0,083	0,207	0,258	0,282
1,15	8,8	3,096	2,290	0,079	0,201	0,244	0,281
1,40	9,1	2,718	1,931	0,076	0,196	0,238	0,277
1,65	9,3	2,584	1,836	0,071	0,189	0,221	0,267
1,80	9,5	2,440	1,714	0,065	0,182	0,217	0,262
Выделено послерешетной аспирацией							
0,40	8,2	2,530	2,213	0,252	0,015	0,016	0,035
0,65	8,4	2,480	2,178	0,231	0,017	0,021	0,034
0,90	8,5	2,420	2,120	0,217	0,019	0,025	0,039
1,15	8,8	2,350	2,064	0,195	0,022	0,029	0,041
1,40	9,1	2,160	1,876	0,183	0,025	0,031	0,046
1,65	9,3	1,910	1,625	0,177	0,028	0,033	0,047
1,80	9,5	1,850	1,566	0,165	0,032	0,035	0,052

Как видно из представленных в таблице 5.5 данных выделение компонентов вороха пневмосистемой при увеличении удельной подачи с 0,4 до 1,8 кг/(с·дм) уменьшилось в 1,37 раза и составило 4,29%. Наибольшее снижение выделения в 1,43 раза наблюдается для целого биологически неполноценного зерна. Причем, выделение этих компонентов пневмосистемой дорешетной очистки уменьшилось в 1,45 раза, а пневмосистемой послерешетной очистки только в 1,4 раза. В меньшей степени (в 1,04 раза) снизилось выделение не-

зерновых компонентов, имеющих меньшую по сравнению с другими скорость витания. Их выделение аспирационной системой дорешетной аспирацией уменьшилось в 1,1 раза, что привело к росту выделения этих компонентов аспирационной системой послерешетной аспирацией с 0,035 до 0,052 %.

Выделение недомолоченных зерновок снизилось в 1,47 раза, что в 1,71 раза меньше, чем при глубине канала послерешетной очистки 0,18 м. Такая разница объясняется тем, что эти компоненты выделяются в основном каналом послерешетной аспирации, глубина которого увеличилась в 1,33 раза. Выделение засорителей, которые в основном выделяются аспирационной системой дорешетной аспирации, уменьшилось на 7 %. а дробленого зерна на 14,5 %. Уменьшение выделения этих компонентов пневмосистемой дорешетной аспирации компенсируется ростом их выделения в канале послерешетной аспирации.

Таким образом, увеличение глубины канала послерешетной аспирации до 0,24 м с одновременным частотным регулированием вентилятора с целью поддержания технологически необходимых скоростей в каналах при удельных подачах вороха $1,2 \dots 1,8 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{дм})$ позволяет улучшить качественные показатели работы пневмосистемы. Полнота выделения компонентов вороха по аэродинамическим свойствам составляет не менее 70 %, а общие потери зерна пневмосистемой в фуражную фракцию не превышают 0,5 %.

5.8. Влияние режима работы пневмосистемы на сопротивление и затраты мощности

Затраты мощности на привод вентилятора для обеспечения работы пневмосистемы зависят от статического сопротивления элементов пневмосистемы, сопротивления слоя зернового вороха, скорости воздушного потока в пневмосепарирующих каналах и других элементах, а также расхода воздуха. Основная часть перечисленных факторов относятся к параметрам, определяющим как качественные показатели работы, так и работоспособность пневмосистемы.

Одним из реальных путей снижения энергозатрат, наряду с последовательным использованием воздушного потока в аспирационных системах, как показали результаты моделирования, является снижение её сопротивления за счет уменьшения размеров осадочных камер и отражательных козырьков, и прежде всего для дорешетной аспирации.

Для оценки возможности использования моделирования работы пневмосистемы на этапе проектирования были проведены опыты по определению сопротивления пневмосистемы в целом и её элементов при разных расходах воздуха и удельных подачах вороха. Сопротивление всей пневмосистемы, включая пневмосепарирующие каналы, осадочные камеры и воздухозаборный канал, уменьшилось на 52...95 Па при изменении параметров осадочных камер и их элементов (рисунок 5.21).

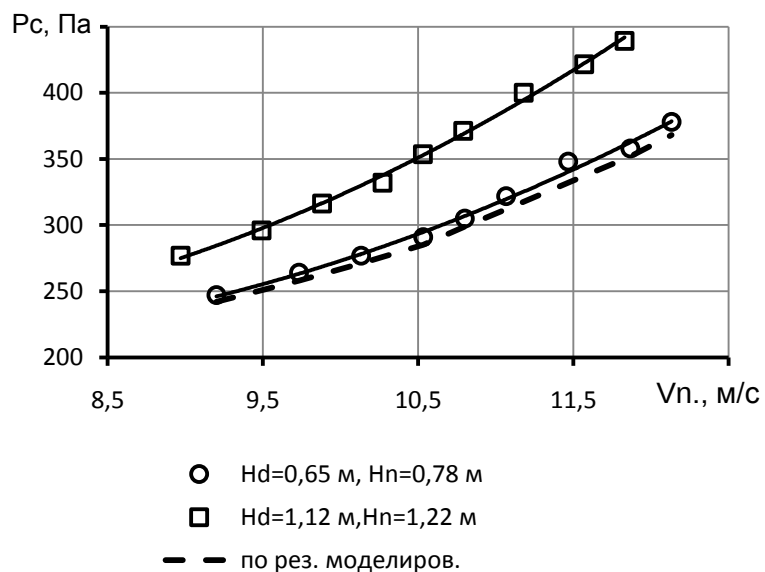


Рисунок 5.21 – Изменение статического сопротивления пневмосистем в зависимости от расхода воздуха при разных конструктивных параметрах

Для сравнения на график нанесена кривая изменения сопротивления, полученная в результате моделирования. По представленным данным можно отметить небольшую разницу (3...7%) между теоретическими значениями, полученными путем моделирования с использованием конечно-объемного метода решения уравнений гидродинамики и экспериментальными.

Большее абсолютное снижение сопротивления соответствует большому расходу воздуха пневмосистемой и составляет 90...95 Па. Сопротивление пневмосистемы с уменьшенными габаритными размерами при удельном расходе воздуха, соответствующему его скорости в канале послерешетной очистки 11,5...11,8 м/с не превышает 400 Па.

Общее сопротивление пневмосистемы установки в зависимости от расхода воздуха в обоих случаях изменяется по известной квадратичной зависимости:

$$P = k_n \cdot Q_g^2.$$

Коэффициент сопротивления пневмосистемы при больших размерах осадочных камер составляет $k_n = 9,28 \cdot 10^{-5}$ Па/(м³·ч)², а при уменьшенных размерах пневмосистемы снижается в 1,32 раза и составляет $k_n = 7,02 \cdot 10^{-5}$ Па/(м³·ч)².

Распределение сопротивления по основным элементам пневмосистемы приведено на рисунке 5.22.

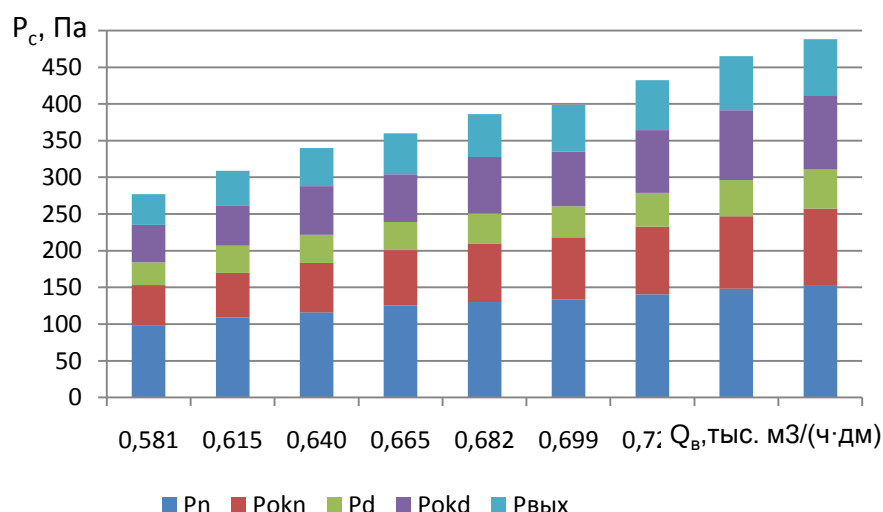


Рисунок 5.22 – Распределение сопротивления по элементам пневмосистемы

Канал послерешетной аспирации имеет самое большое статическое сопротивление, что объясняется его большей длиной и конструктивными особенностями (рисунок 5.22). При изменении удельного расхода воздуха пнев-

мосистемой Q_g с 580 до 767 м³/(ч·дм) статическое сопротивление изменяется в пределах $p_n=98\dots153$ Па или возрастает на 56,1 %. Статическое сопротивление осадочной камеры канала послерешетной аспирации меньше сопротивления самого канала на 43...49 Па. В таком же интервале изменения расхода воздуха сопротивление осадочной камеры выросло с 55 до 104 Па, а его прирост составил 89 %. Сопротивление осадочной камеры канала дорешетной аспирации меньше чем осадочной камеры канала послерешетной аспирации на 4...6 Па.

Изменение параметров осадочной камеры канала послерешетной очистки (глубины H_{nok} , длины L_{nok} и длины отражательной перегородки l_{nok}) значительно в меньшей степени сказалось на её сопротивлении. Снижение сопротивления составило 10...19 Па, что составляет 15...18 %. Канал дорешетной очистки характеризуется меньшим в 2,9...3,16 раза сопротивлением по сравнению с каналом послерешетной очистки. Такая относительно большая разница сопротивлений связана в первую очередь с различием в длине каналов. Статическое сопротивление канала дорешетной очистки составляет 31...53 Па и возрастает с приростом расхода воздуха в 1,71 раза. За счет уменьшения сопротивления пневмосистемы при неизменном режиме работы вентилятора наблюдается увеличение расхода воздуха в пределах 4,5...5,6 %.

Таким образом, уменьшение габаритных размеров осадочных камер, и особенно канала дорешетной аспирации с отражательной перегородкой снижает сопротивление пневмосистемы на 18,8...19,5 %, что подтверждает результаты, полученные при моделировании движения воздушного потока в пневмосистеме с использованием конечно-объемного метода решения уравнений гидродинамики и прямоугольной адаптивной сетки.

Для оценки затрат мощности на привод вентилятора при увеличении глубины канала послерешетной аспирации были проведены замеры статического сопротивления пневмосистемы и мощности, затрачиваемой электро-

двигателем на привод вентилятора. Результаты проведения опытов представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Результаты замера сопротивления пневмосистемы и затрат мощности на привод вентилятора

Скорость воздушного потока в каналах		Расход воздуха, Q_v , тыс. $\text{м}^3/\text{ч дм}$	Мощность на привод вентилятора, N_y , кВт/дм
V_d , м/с	V_n , м/с		
Глубина канала послерешетной аспирации $h_n=0,18$ м			
6,9	9,2	0,596	0,202
7,3	9,7	0,631	0,216
7,6	10,1	0,657	0,227
7,9	10,5	0,683	0,240
8,1	10,8	0,700	0,245
8,3	11,1	0,717	0,252
8,6	11,5	0,743	0,260
8,9	11,9	0,769	0,272
9,1	12,1	0,786	0,281
Глубина канала послерешетной аспирации $h_n=0,18$ м, допол. забор воздуха			
7,9	8,5	0,683	0,249
8,4	8,8	0,726	0,270
8,8	9,2	0,760	0,283
9,3	9,7	0,799	0,303
9,5	10,1	0,821	0,310
9,8	10,5	0,847	0,325
10,2	10,8	0,881	0,338
10,5	11,1	0,907	0,351
10,8	11,5	0,929	0,362
Глубина канала послерешетной аспирации $h_n=0,24$ м			
8,5	8,5	0,730	0,315
8,9	8,9	0,773	0,337
9,3	9,3	0,804	0,355
9,7	9,7	0,836	0,374
9,9	9,9	0,857	0,382
10,2	10,2	0,878	0,393
10,5	10,5	0,910	0,410
10,9	10,9	0,942	0,428
11,1	11,1	0,963	0,438

Как видно из представленных в таблице 5.6 результатов, при глубине канала послерешетной аспирации 0,18 м, канала дорешетной аспирации 0,24 м наблюдается минимальный расход воздуха, позволяющий получить скорость воздушного потока в канале послерешетной аспирации в пределах 9,2...12,1 м/с. Это обеспечивает меньшие затраты мощности на привод вен-

тилятора. Использование воздухозаборного окна, расположенного после осадочной камеры послерешетной очистки позволяет увеличить скорость воздушного потока в канале дорешетной очистки, что увеличивает сопротивление пневмосистемы дорешетной аспирации на 29...31 Па, общее сопротивление и затраты мощности на привод вентилятора на 0,047...0,081 кВт/дм при росте общего расхода воздуха.

Увеличение глубины канала послерешетной аспирации до 0,24 м для поддержания скорости воздушного потока в канале дорешетной аспирации в таких же пределах приводит к росту расхода воздуха на 30...34 %, повышению сопротивления пневмосистем как послерешетной, так и дорешетной аспираций и затрат мощности на привод вентилятора на 0,113...0,157 кВт/дм.

Более объективно затраты электроэнергии на привод вентилятора рассматривать как удельные на часовой расход воздуха (рисунок 5.23).

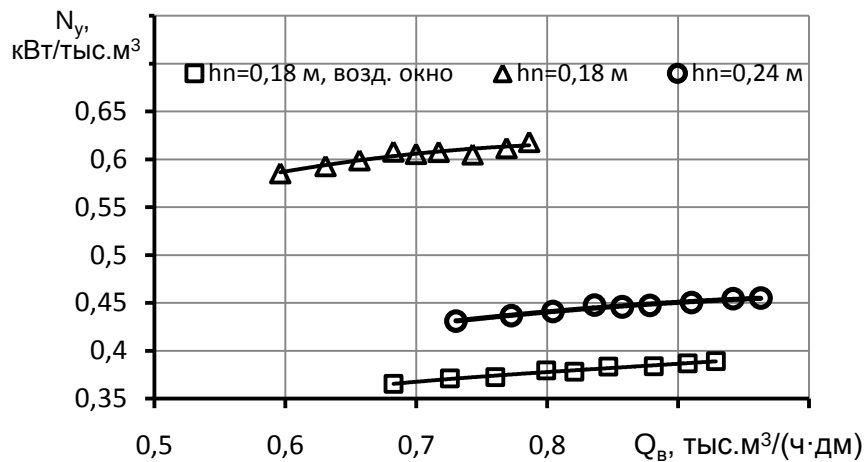


Рисунок 5.23 – Зависимость удельных затрат электроэнергии от расхода воздуха

Как видно из рисунка 5.23, при глубине канала послерешетной очистки 0,18 м и отсутствии дополнительного забора воздуха удельные затраты мощности электродвигателем привода вентилятора составляют 0,58...0,62 кВт/тыс. м³. Меньшие удельные затраты мощности (0,43...0,46 Вт/тыс. м³) наблюдаются при глубине канала послерешетной аспирации 0,24 м, что обеспечивается ростом расхода воздуха пневмосистемой в 1,24...1,28 раза.

При глубине канала послерешетной аспирации 0,18 м и дополнительном внешнем заборе воздуха через воздухозаборное окно наблюдаются самые низкие из трех вариантов удельные затраты мощности за счет роста расхода воздуха. При удельном расходе воздуха $680 \dots 930 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{дм})$ затраты мощности электродвигателем привода вентилятора составляют $0,36 \dots 0,39 \text{ кВт/тыс. м}^3$.

Таким образом, уменьшение габаритных размеров осадочных камер, и особенно канала дорешетной аспирации с отражательной перегородкой снижает сопротивление пневмосистемы на $18,8 \dots 19,5 \%$, что подтверждает результаты, полученные при моделировании движения воздушного потока в пневмосистеме с использованием конечно-объемного метода решения уравнений гидродинамики и прямоугольной адаптивной сетки.

5.9. Влияние подачи вороха на сопротивление пневмосистемы и затраты мощности

Подача зернового вороха на обработку в пневмосистему увеличивает её статическое сопротивление и вызывает снижение скоростей воздушного потока в пневмосепарирующих каналах. Для восстановления скоростей воздушного потока в каналах прибегали к частотному регулированию электродвигателя привода вентилятора. Для оценки энергозатрат на привод вентилятора при обработке вороха пневмосистемой экспериментальной установки и сопротивления зернового вороха измеряли мощность потребляемую электродвигателем привода вентилятора, скорость воздушного потока в канале послерешетной аспирации и всасывающем воздуховоде перед вентилятором, статическое сопротивление всей пневмосистемы и каждой аспирации в отдельности.

При проведении экспериментов глубина каналов составляла 0,24 м. Удельную подачу вороха изменяли от 0,33 до $1,8 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{дм})$, что соответствовало удельной часовой подаче $1,19 \dots 6,48 \text{ т}/(\text{ч} \cdot \text{дм})$. В таблице 5.7 представ-

лены данные по сопротивлению пневмосистемы, расходу воздуха и затратам электроэнергии на привод вентилятора при обработке вороха.

Таблица 5.7 – Сопротивление пневмосистемы и удельные затраты энергии на привод вентилятора при подаче вороха

V_y , м/с	V_d, V_n , м/с	Q_v , м ³ /дм	Q , т/(ч·дм)	P_d , Па	P_n , Па	P , Па	$N_{уд}$, кВт·ч/дм
8,7	8,50	704	1,19	118	268	476	0,391
9,0	8,45	700	1,62	127	282	487	0,411
9,1	8,40	696	2,52	130	315	525	0,434
9,3	8,35	691	2,88	145	332	576	0,443
9,8	8,30	687	3,96	161	360	620	0,455
10,1	8,25	683	4,86	180	396	665	0,475
10,3	8,20	679	5,40	197	430	725	0,496
10,8	8,10	671	6,48	231	482	785	0,508

Анализ представленных в таблице 5.7 данных показывает, что при подаче вороха наблюдается снижение скорости воздушного потока в каналах по сравнению с холостым режимом работы пневмосистемы на 0,2...2,7 м/с. Общее сопротивление пневмосистемы возрастает с 323...466 Па до 476...785 Па. В большей степени наблюдается рост сопротивления аспирационной системы дорешетной очистки, по сравнению с аспирационной системой послерешетной очистки. При повышении удельной подачи вороха с 1,19 до 6,48 т/(ч·дм) сопротивление пневмосистемы дорешетной очистки возросло с 118 до 231 Па или в 1,96 раза, а послерешетной очистки с 268 до 482 Па или в 1,8 раза. Несмотря на большую интенсивность прироста, сопротивление дорешетной аспирации остается меньше сопротивления послерешетной аспирации в 2,08...2,27 раза во всем диапазоне изменения удельной подачи вороха.

На рисунке 5.24 представлены графические зависимости сопротивления слоя зернового вороха в аспирационных системах от подачи.

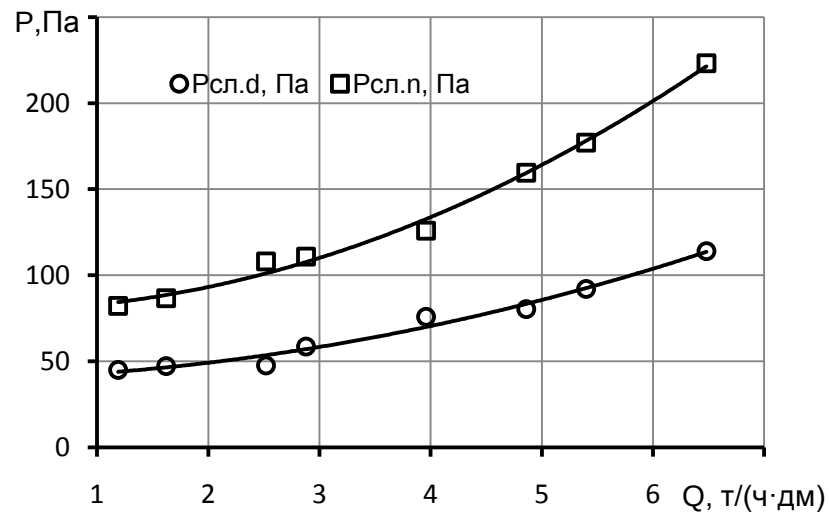


Рисунок 5.24 – Влияние подачи на сопротивление слоя зернового вороха в аспирациях

Как видно из графических зависимостей (рисунок 5.24), сопротивление зернового вороха в дорешетной аспирации меньше, чем в послерешетной аспирации, что объясняется различием в конструкциях пневмосепарирующих каналов, способах подачи вороха и скорости ввода. Скорость ввода вороха в канал дорешетной очистки более чем в 3 раза превышает скорость его ввода в канал послерешетной очистки, что сказывается на толщине слоя вороха. Конструкцией канала послерешетной очистки предусмотрено значительно более длительное пребывание компонентов вороха в самом канале, что увеличивает их концентрацию по сравнению с каналом дорешетной очистки.

На основании анализа приведенных данных можно заключить, что сопротивление слоя зернового вороха, как и сопротивление самой пневмосистемы дорешетной аспирации меньше по сравнению с послерешетной. В интервале изменения удельной подачи 1,19...6,48 т/(ч·дм) сопротивление слоя зернового вороха в дорешетной аспирации изменяется от 45 до 114 Па, а в послерешетной аспирации от 82 до 223 Па.

Использование частотного регулирования режима работы вентилятора позволяет поддерживать технологически необходимую скорость воздушного потока в канале послерешетной аспирации в пределах 8,1...8,5 м/с. Повышение сопротивления пневмосистемы при увеличении удельной подачи вороха

и применение частотного регулирования режима работы вентилятора увеличивают затраты электроэнергии и мощность, потребляемую электродвигателем привода вентилятора. На рисунке 5.25 представлены зависимости удельной мощности потребляемой электродвигателем привода вентилятора от подачи вороха для трех вариантов.

В первом варианте глубина канала послерешетной аспирации составляла 0,18 м, глубина канала дорешетной аспирации - 0,24 м и отсутствовал дополнительный забор воздуха пневмосистемой дорешетной аспирации через воздухозаборное окно.

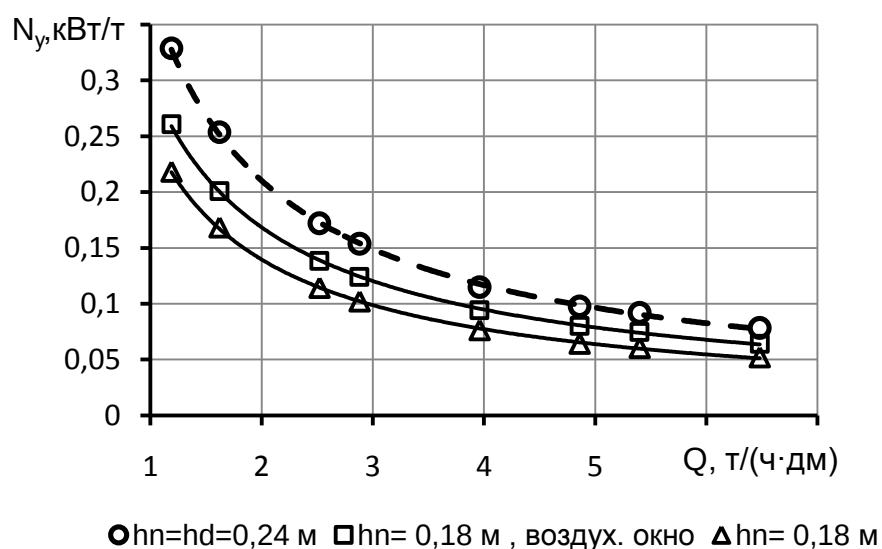


Рисунок 5.25 – Влияние подачи зерна на удельные затраты энергии на привод вентилятора

Во втором варианте глубина канала послерешетной аспирации составляла 0,18 м, глубина канала дорешетной аспирации 0,24 м и осуществлялся дополнительный забор воздуха пневмосистемой дорешетной аспирации через воздухозаборное окно. В третьем варианте глубина каналов послерешетной и дорешетной аспирации составляла 0,24 м, отсутствовал дополнительный забор воздуха пневмосистемой дорешетной аспирации через воздухозаборное окно.

Как видно из графических зависимостей (рисунок 5.25) меньшие удельные затраты из трех вариантов наблюдаются для пневмосистемы с глу-

биной канала послерешетной очистки 0,18 м и отсутствием дополнительного забора воздуха воздухозаборным окном, что объясняется меньшим объемом воздуха проходящего через элементы пневмосистемы. При удельной подаче вороха 1,19 т/(ч·дм) затраты электроэнергии на работу вентилятора составляют 0,218 кВт/т.

С увеличением удельной подачи вороха затраты электроэнергии на работу вентилятора снижаются, и при подаче 3,96 т/(ч·дм), когда полнота выделения компонентов вороха пневмосистемой приближается к 60 %, они составляют 0,076 кВт/т.

Во втором варианте, когда осуществляется дополнительный забор воздуха воздухозаборным окном, повышается эффективность работы пневмосистемы. Полнота выделения компонентов вороха около 60 % составляет уже при подачах до 4,68 т/(ч·дм) Удельные затраты электроэнергии на работу вентилятора возрастают на 19,7...23,1 %. При удельной подаче вороха 3,5...4,68 т/(ч·дм) они составляют 0,106...0,075 кВт/т.

Большие удельные затраты из трех вариантов наблюдаются для пневмосистемы с одинаковой глубиной каналов и отсутствием дополнительного забора воздуха воздухозаборным окном. При удельной подаче вороха 1,2...2,88 т/(ч·дм) они составляют 0,329...0,154 кВт/т, а при удельной подаче вороха 5,4...6,48 т/(ч·дм) снижаются до 0,092...0,078 кВт/т.

Полнота выделения компонентов вороха пневмосистемой даже при удельной подаче вороха 6,48 т/(ч·дм) превышает 70 %, что соответствует режиму очистки зерна на товарные цели.

Таким образом, при изменении удельной подачи вороха от 1,2 до 6,48 т/(ч·дм) сопротивление пневмосистемы возрастает на 127...337 Па, в том числе сопротивление пневмосистемы дорешетной очистки с 118 до 231 Па или в 1,96 раза, а послерешетной очистки с 268 до 482 Па или в 1,8 раза.

Сопротивление слоя зернового вороха в дорешетной аспирации изменяется от 45 до 114 Па, а в послерешетной аспирации от 111 до 223 Па.

До 62... 92 % затрат электроэнергии, расходуемой на привод вентилятора приходится на обеспечение холостого режима работы пневмосистемы, причем большая доля соответствует меньшей удельной подаче вороха.

Полнота разделения компонентов вороха по аэродинамическим свойствам не менее 60 % достигаются при подаче вороха до 3,96 т/(ч·дм), глубине канала послерешетной аспирации 0,18 м и удельных затратах электроэнергии на привод вентилятора 0,218... 0,076 кВт/т.

Для обеспечения полноты разделения компонентов вороха по аэродинамическим свойствам более 60 % при подаче вороха от 4,5 до 6,48 т/(ч·дм) необходимо увеличить глубину каналов аспираций до 0,24 м при удельных затратах электроэнергии на работу вентилятора до 0,122...0,078 кВт/т.

5.10. Выводы

На основании проведенных экспериментальных исследований двухаспирационной пневмосистемы с последовательным использованием воздушного потока в аспирациях можно сделать следующие выводы:

1. Рациональными параметрами ввода вороха в горизонтальный канал дорешетной аспирации можно считать:

угол вбрасывания вороха в горизонтальный воздушный поток канала дорешетной аспирации: при попутном вводе 45...50°; при встречном вводе 130...145°;

расстояние между осями вбрасывающего барабана и стенкой, разделяющей осадочную камеру на секции: при попутном вводе 0,48...0,54 м; при встречном вводе 0,1...0,25 м;

скорость вбрасывания вороха в пределах 2,0...3,2 м/с;

длину разделительного клапана 0,11..0,13 м.

рабочий регулировочный диапазон изменения угла установки разделительного клапана: при попутном вводе $\alpha=55...75^\circ$; при встречном вводе $\alpha=75...125^\circ$.

2. Глубина горизонтального канала дорешетной аспирации при удельных подачах вороха до $1,8 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{дм})$ должна составлять $0,22 \dots 0,26 \text{ м}$.

3. Вертикальный канал послерешетной аспирации глубиной $0,18 \dots 0,25 \text{ м}$ при подаче вороха колеблющейся рамкой с опорной сеткой целесообразно разделить на две зоны, что увеличивает полноту выделения компонентов вороха пневмосистемой на $6,4 \dots 10,4\%$.

Рациональная глубина предварительной зоны канала в верхней части составляет $15 \dots 20\%$, а переднюю стенку канала для увеличения протяженности предварительной зоны необходимо устанавливать под углом к вертикали $10 \dots 12^\circ$. Высота разделительной перегородки должна составлять $0,58 \dots 0,65 \text{ м}$.

4. Уменьшение габаритных размеров осадочных камер, и особенно канала дорешетной аспирации с отражательной перегородкой снижает сопротивление пневмосистемы на $18,8 \dots 19,5\%$, что подтверждает результаты, полученные при моделировании движения воздушного потока в пневмосистеме с использованием конечно-объемного метода решения уравнений гидродинамики и прямоугольной адаптивной сетки.

5. Полнота выделения компонентов вороха по аэродинамическим свойствам не менее 60% при глубине канала послерешетной аспирации $0,18 \text{ м}$ и канала дорешетной аспирации $0,24 \text{ м}$ обеспечивается при удельной подаче вороха до $3,96 \text{ т}/(\text{ч} \cdot \text{дм})$. Удельные затраты электроэнергии на привод вентилятора составляют $0,218 \dots 0,076 \text{ кВт}/\text{т}$.

6. Для обеспечения полноты разделения компонентов вороха по аэродинамическим свойствам более 60% при подаче вороха до $6,48 \text{ т}/(\text{ч} \cdot \text{дм})$ необходимо увеличить глубину каналов аспираций до $0,24 \text{ м}$ при удельных затратах электроэнергии на работу вентилятора $0,328 \dots 0,078 \text{ кВт}/\text{т}$.

6. Экспериментальные исследования по обоснованию параметров решетной очистки

6.1. Схемы размещения решет в решетных станах современных воздушно-решетных зерноочистительных машин

На машинах отечественного производства, таких как СВУ-60, ОЗС-50 с производительностью 40 т/ч при товарной очистке принята одноярусная схема расположения трех различных по назначению решет: подсевных, сортировальных и колосовых. Такая схема расположения решет однозначно определяет место каждого решета в ярусе, с возрастанием размеров отверстий по ходу перемещения вороха. Причем площади решет разного назначения в ярусе одинаковые, а их доля составляет $1/3$ общей площади [53].

Двухъярусная схема размещения подсевных, сортировальных и колосовых решет используется на машинах серии ОЗФ. На машине ОЗФ-80 общая площадь решет соответствует площади решет машины СВУ-60. Колосовое решето размещается в верхнем ярусе после двух сортировальных решет, а в нижнем ярусе располагается сортировальное и два подсевных решета. Такая схема размещения трех по назначению решет в стане дает возможность изменить соотношение между решетами. Максимально возможная доля сортировальных решет в двухъярусной схеме составляет 50% их общей площади. Остальные 50 % площади стана приходятся на колосовые и подсевные решета, в соотношении 1:2.

Проведенные сравнительные исследования одно- и двухъярусных схем расположения решет показали однозначное преимущество двухъярусных схем размещения трех, разных по назначению решет. Особенно это сказывается на полноте выделения мелкого фуражного зерна. При заявленных производительностях, соответствующих очистке зерна на продовольственные и семенные цели, в двухъярусной схеме размещения решет полнота выделения фуражной фракции выше на 20...21% [53, 302].

Недостатки одноярусной схемы размещения трех, разных по назначению решет:

- размещение колосового решета после подсевного и сортировального может привести к замедленному перемещению вороха с повышенным содержанием крупных примесей по их поверхности, что приведет к росту толщины слоя зернового вороха;

- необходимость размещения в пространстве между ярусами решет поддонов и лотков для вывода подсева и фуража, что увеличивает габаритные размеры и массу решетной очистки;

- одинаковый угол наклона всех решет яруса независимо от назначения и их относительно небольшая длина;

- нерациональное соотношение площади решет разного назначения, что не позволяет реализовать в полной мере его потенциальную производительность.

Часть этих недостатков присущи и двухъярусной схеме размещения решет в стане. Это касается места расположения колосового решета в верхнем ярусе, одинакового с сортировальными решетами угла его наклона. Основным недостатком двухъярусной схемы размещения решет в стане можно считать невозможность увеличения доли сортировальных решет в стане более 50 %.

С этой точки зрения, одноярусная схема может иметь преимущество за счет замены подсевных решет на сортировальные и установки общего поддона и лотка вывода фуража. При таком переоборудовании доля сортировальных решет составит $\frac{2}{3}$ общей площади или увеличится в два раза, что позволит существенно повысить производительность стана.

Замена второго сортировального решета верхнего яруса на колосовое решето в стане с двухъярусной схемой размещения решет позволяет увеличить их долю до 33,3 % при неизменной площади сортировальных решет. Экспериментальные исследования показали, что производительность решет-

ного стана в этом случае может быть повышена практически в два раза при допустимых потерях полноценного зерна сходом [41, 302].

Воздушно - решетные машины, выпускаемые ведущими зарубежными фирмами, имеют иную компоновку решетных станов.

Наибольшее представительство в сельскохозяйственном производстве России занимают по праву машины немецкой фирмы Petkus, датской Cimbria, а в солодовенном – немецкой фирмы Schmidt-Seeger.

В конструкции решетных станов машин, выпускаемых этими фирмами, наблюдается общий подход касающийся места расположения колосовых или приемных решет. Как правило, их располагают в отдельном ярусе на входе зернового вороха на решетную очистку. Это дает возможность их установки в станах со своим углом наклона, а на некоторых моделях и его регулировки, использования дополнительных устройств, способствующих очистки отверстий решет от застрявших в них примесей.

В зависимости от основного назначения машины фирмы Petkus имеют различную конструкцию решетных станов. Машины для предварительной очистки серии V12/V15, производительностью на предварительной очистке 120 и 150 т/ч, имеют два параллельно работающих решетных стана [340]. Верхний ярус стана, длиной 1,4 м однозначно служит для установки колосовых решет и имеет установленный над ним скребковый транспортер. При нерегулируемом угле наклона верхнего яруса решет, транспортер способствует не только очистке отверстий от запавших частиц, но и регулирует скорость перемещения вороха в зависимости от его сыпучести. Средний ярус также предназначен для удаления крупных примесей при его оснащении колосовыми решетками и имеет длину 2,1 м. Нижний ярус стана такой же длины служит для установки решет с продолговатыми отверстиями, позволяющих выделять проходом мелкие примеси. При необходимости на этом ярусе могут выделяться не только мелкие примеси, но и мелкое зерно основной культуры. На всех ярусах решет очистка отверстий от запавшего зерна или примесей осуществляется шариками.

Универсальные воздушно-решетные зерноочистительные машины серии U12/U15 могут использоваться как для предварительной, так и товарной и семенной очистки [340]. В отличие от машин для предварительной очистки серии V12/V15, работа станов этих машин происходит по последовательной схеме. В верхнем стане установлены два яруса решет. Верхний ярус, как и у машин предыдущей серии, однозначно служит для установки колосовых решет и имеет установленный над ним скребковый транспортер. Нижний ярус верхнего стана, в зависимости от цели очистки вороха может использоваться как для отделения крупных примесей (предварительная очистка), так и для выделения мелких примесей (товарная и семенная очистка). Оба решетных стана устанавливаются с наклоном в одну сторону, и для подачи вороха на нижний стан применяется глухая поверхность с обратным наклоном.

Нижний решетный стан имеет два параллельно работающих яруса, которые могут использоваться для выделения мелких примесей или фуражных фракций при сортировке и работе в режиме семенной или товарной очистки. Оба яруса комплектуются решетками с одинаковыми размерами отверстий. Длина всех ярусов решет в обоих станах машин этой серии составляет 1,4 м, и очистка отверстий решет от запавшего зерна или примесей осуществляется шариками.

Универсальные воздушно-решетные зерноочистительные машины серии M12/M15 фирмы Petkus предназначены для товарной и семенной очистки [340]. Как и у машин серии U12/U15 работа решетных станов этих машин осуществляется по последовательной схеме. Длина ярусов решет верхнего и нижнего станов составляет 2,1 м. В верхнем стане устанавливаются два яруса решет, а в нижнем четыре параллельно работающих яруса. Назначение верхнего яруса верхнего решетного стана – выделение крупных примесей и в нем устанавливаются колосовые решета. Как и станы всех машин фирмы Petkus, верхний ярус может оснащаться установленным над ним скребковым транспортером. Нижний ярус верхнего стана также может оснащаться колосовыми решетками и служить для выделения крупных примесей. При перена-

стройке стана нижний ярус можно использовать для выделения мелких примесей и тогда он оснащается подсевными решетками. Все четыре параллельно работающих яруса решет нижнего решетного стана используются для сортировки зернового вороха по размерам и комплектуются сортировальными решетками. Это существенно изменяет соотношение решет в решетных станах машин этой серии в пользу сортировальных решет, давая возможность производить эффективную сортировку зерна по размерам, как при товарной, так и при семенной очистке.

Аналогичную компоновку решетной очистки имеют машины серии DELTA 146 Combi, выпускаемые датской фирмой Cimbria [336]. Оба решетных стана, как и у машин фирмы Petkus, устанавливаются с наклоном в одну сторону, а для подачи вороха к делителю нижнего стана применяется глухая поверхность с обратным наклоном. В верхнем стане располагаются два яруса параллельно работающих колосовых решет, а в нижнем три яруса с такой же параллельной схемой работы. Все три яруса нижнего стана могут использоваться для выделения мелких примесей и комплектоваться подсевными решетками. Такую настройку нижнего стана рекомендуется проводить при предварительной и товарной очистке зернового вороха. При семенной очистке на всех ярусах решет нижнего стана производится выделение мелких примесей и мелкого фуражного зерна основной культуры или сортировка. Машины данной серии имеют уникальную возможность изменения наклона ярусов решет как верхнего, так и нижнего станов в пределах $6...12^\circ$ к горизонту. Изменение углов наклона решет позволяет проводить рациональную настройку работы решетной очистки в зависимости от культуры и вида очистки.

Отличительной особенностью решетной очистки универсальных воздушно-решетных машин выпускаемых немецкой фирмой Schmidt-Seeger является наличие круговых колебаний с амплитудой $0,03...0,032$ м и установка ярусов решет в одном общем решетном стане [343].

Для товарной очистки и подготовки семенного материала рекомендуется использовать машину TAS 206A-2, а для сортировки ячменя на солодовенных производствах TAS 210A-1 и TAS 200A-111. Решетный стан машины TAS 206A-2 разделен на верхнюю и нижнюю параллельно работающие части. В верхнем ярусе каждой части решетного стана устанавливаются колосовые решета для выделения крупных примесей, а три последующих яруса оснащаются решетками с одинаковыми размерами отверстий и служат для выделения мелких примесей или фуражной фракции и мелких примесей без их разделения. Площадь колосовых решет составляет 8 м^2 , а подсевных или сортировальных 24 м^2 при ширине стана 2 м. В конструкции стана применена также шариковая очистка отверстий решет, как и у других машин этой фирмы.

Машина TAS 210A-1, специально разработанная для сортировки очищенного зерна на солодовенных производствах имеют увеличенную до 40 м^2 площадь сортировальных решет при одном ярусе колосовых решет с площадью 4 м^2 . Из всех рассмотренных машин особый интерес может вызвать машина TAS 200A-111, конструкция и компоновка решетного стана которой позволяет получать два сорта семян. Для этой цели в решетном стане нижние два яруса решет используются для выделения мелкого зерна из семян. Эти ярусы устанавливаются с обратным наклоном, что позволяет отказаться от дополнительной поверхности для сбора и подачи вороха после сортировальных решет на начало решет нижних двух ярусов. При площади основных сортировальных решет 28 м^2 площадь дополнительных сортировальных решет для выделения мелкого зерна и мелких примесей составляет 8 м^2 .

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- практически во всех решетных очистках высокопроизводительных воздушно-решетных машин зарубежных фирм колосовые решета устанавливаются в верхнем отдельном ярусе, что позволяет применять индивидуальный для них угол наклона к горизонту;

- при выборе колосовых решет предпочтение отдается решетным полотнам с круглыми отверстиями;
- большинство решетных станов машин проводят разделение зернового вороха по размерам на три фракции: крупные примеси, основная фракцию и фракция мелких примесей или фуражная фракция, что позволяет исключить установку в решетном стане решет трех типов;
- в одном ярусе практикуется установка решет одного назначения, что позволяет повысить эффективность очистки или сортировки;
- наибольший удельный вес в станах занимают сортировальные решета, с их установкой в несколько ярусов для параллельной работы, что позволяет существенно повысить производительность решетной очистки;
- длина ярусов с решетками одного назначения в решетных станах высокопроизводительных машин составляет не менее 1,4...2,0 м.

6.2. Влияние подачи и длины сортировальных решет на сепарацию фуражных фракций зернового вороха

Эффективность процесса разделения материала по размерам решетным станом зависит, прежде всего, от параметров, определяющих режим движения решетного стана – амплитуды и частоты колебания, угла наклона решет к горизонту и угла направленности колебаний. Изучению влияния этих параметров на разделение зерновых материалов посвящены исследования многих ученых [36, 41, 45, 53, 89, 96, 109, 110, 151, 281, 302, 304, 317, 328, 332].

Площадь сортировальных решет является одним из основных факторов определяющих производительность универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин как при режиме очистки зерна на товарные цели, так и при подготовке семян. При разделении на фракции или сортировке по размерам предпочтение отдается разделению по толщине компонентов вороха. В качестве сортировальных решет практически на всех современных машинах рекомендуют использовать решетные полотна с продолговатыми от-

верстиями [150, 302, 332]. Длина сортировальных решет в одном ярусе меняется достаточно в широком диапазоне от 0,74...0,98 м до 2,1...3,0 м.

Меньшая длина сортировальных решет соответствует схеме их установки в одном ярусе с решетами, имеющими другое функциональное назначение, а также на машинах меньшей производительности.

Ширина решетных станов также изменяется в достаточно широких пределах от 1,0...1,2 м до 1,8...2,0 м, и не только в зависимости от производительности. С точки зрения эффективности работы пневмосистемы предпочтение следует отдавать большей рабочей ширине как самой пневмосистемы, так и решетной очистки машины. Для повышения производительности машин, часть фирм идет на увеличение ширины станов и пневмосистемы [325, 328], другие на увеличение не только ширины, но и длины ярусов решет в станах [326, 332].

Повышение производительности на воздушно-решетных зерноочистительных машинах серии TAS немецкой фирмы Schmidt-Seeger решается без увеличения ширины и длины решетной очистки путем наращивания количества ярусов решет [335, 343].

Поэтому для обоснования рациональной длины сортировальных решет в ярусе и схемы их размещения были проведены экспериментальные исследования по оценке эффективности сепарации компонентов вороха в зависимости от подачи при различной длине решет. Для проведения исследований лабораторная установка комплектовалась двумя вариантами решетных станов.

В первом варианте была реализована двухъярусная схема, с расположением в каждом ярусе трех решетных полотен длиной 0,97 м каждое. В верхнем ярусе последовательно располагались сортировальное (Γ) и два колосовых решет (B_2), а в нижнем – подсевное (B) и два сортировальных (Γ). Для вывода фуражной фракции с подсевного решета в разрыв между ним и сортировальным решетом устанавливался разгрузочный канал.

Во втором варианте колосовые решета устанавливались в верхнем ярусе с наклоном обратным нижнему ярусу сортировальных решет. Проход с колосовых решет подавался на начало сортировальных решет.

Опыты проводили на ворохе озимой пшеницы с содержанием компонентов, имеющих толщину менее 2,6 мм - 37 %. В качестве сортировальных решет использовали решетные полотна с продолговатыми отверстиями $\square 2,6 \times 25$ мм. Проход каждого сортировального решета (фуражная фракция, выделенная по толщине) собирался на свой поддон и выводился в отдельный сборник.

В таблице 6.1 представлены результаты обработки экспериментальных данных по влиянию подачи на полноту выделения фуражной фракции сортировальными решетками.

Таблица 6.1 - Зависимость полноты выделения фуражной фракции от подачи

Удельная подача, кг/(с·дм)	Выделено фуража, %			Полнота выделения, ϵ_c , %		
	$L_c = 0,99_m$	$L_c = 1,98_m$	$L_c = 2,97_m$	$L_c = 0,99_m$	$L_c = 1,98_m$	$L_c = 2,97_m$
Размещение сортировальных решет: одно – в верхнем ярусе, два – в нижнем ярусе						
0,32	11,9	21,5	29,8	32,09	55,42	77,83
0,42	9,1	16,0	23,8	24,47	43,19	64,14
0,51	8,1	13,8	20,0	21,90	37,21	54,08
0,59	7,0	11,8	18,3	19,01	31,86	49,39
0,71	5,9	9,8	15,6	16,01	26,46	42,26
0,79	5,3	8,9	14,2	14,28	24,10	38,40
0,87	4,8	8,5	13,2	13,05	23,17	35,79
0,94	4,6	8,1	12,1	12,54	21,90	32,73
1,02	4,1	7,5	11,1	11,07	20,13	29,79
Размещение трех сортировальных решет в одном ярусе						
0,22	14,9	28,0	35,8	40,27	75,68	96,76
0,33	14,1	26,7	34,1	38,11	72,16	92,16
0,40	13,2	23,8	31,0	35,73	64,38	83,93
0,55	10,7	19,4	25,8	28,85	52,32	69,66
0,65	8,6	15,8	21,2	23,10	42,68	57,29
0,75	7,1	12,7	17,9	18,95	33,97	48,00
0,86	6,0	10,9	14,8	16,14	29,32	39,89
0,95	5,2	9,7	12,7	13,99	26,02	34,18
1,11	4,1	7,8	10,3	11,03	21,02	27,89
1,50	2,6	4,8	6,7	7,14	13,08	18,27
2,00	2,1	3,7	5,1	5,59	9,89	13,75

Анализ данных, приведенных в таблице 6.1 показывает, что размещение всех трех сортировальных решет в одном ярусе, с подачей зернового вороха после колосовых решет на начало яруса, имеет преимущество по сравнению с размещением первого сортировального решета в верхнем ярусе перед колосовыми решетами, а второго и третьего сортировальных решет - в нижнем ярусе под колосовыми.

Полнота выделения фуражных фракций для варианта размещения сортировальных решет в одном ярусе остается выше при удельных подачах до $0,95 \dots 1,05 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{дм})$.

В варианте установки всех сортировальных решет в одном ярусе, независимо от подачи первое сортировальное решето выделяет больше фуражных компонентов в $1,14 \dots 1,31$ раза по сравнению со вторым решето, и в $1,5 \dots 1,91$ раза по сравнению с третьим решето. Такой характер изменения выделения фуражных фракций объясняется постепенным уменьшением их количества в исходном ворохе по мере перемещения по длине сортировальных решет. Причем меньшая разница наблюдается при меньшей удельной подаче. С увеличением удельной подачи с $0,22$ до $2,0 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{дм})$, полнота выделения фуражных фракций сортировальным решето при его длине $L_c=0,99 \text{ м}$ снизилась с $40,27 \%$ до $5,59\%$ или в $7,2$ раза.

На рисунке 6.1 представлены графические зависимости изменения полноты выделения фуражных фракций сортировальными решетами при различных вариантах их установки.

Анализ графических зависимостей показывает, что при удельной нагрузке на решета до $110 \dots 115 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$ наблюдается преимущество работы сортировальных решет при размещении их в одном ярусе и подачей всего очищенного от крупных примесей вороха на начало решет.

Полнота разделения 60% , соответствующая режиму очистки зерна на товарные цели, достигается при удельной нагрузке $70 \dots 75 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$ в варианте установке 3 сортировальных решет в одном ярусе. Тогда, как в варианте установки первого сортировального решета в верхнем ярусе перед колосо-

выми решетками и двух остальных - в нижнем под колосовыми решетками, такая же полнота разделения достигается при удельной нагрузке 55...60 кг/(ч·дм²).

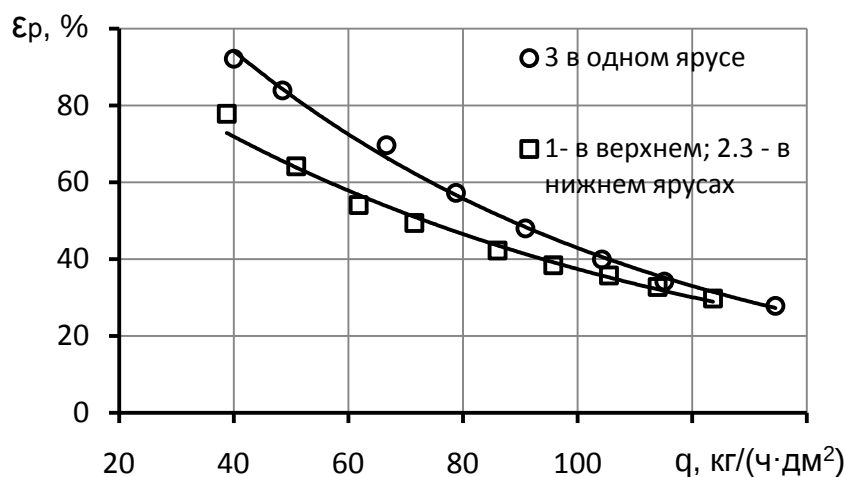
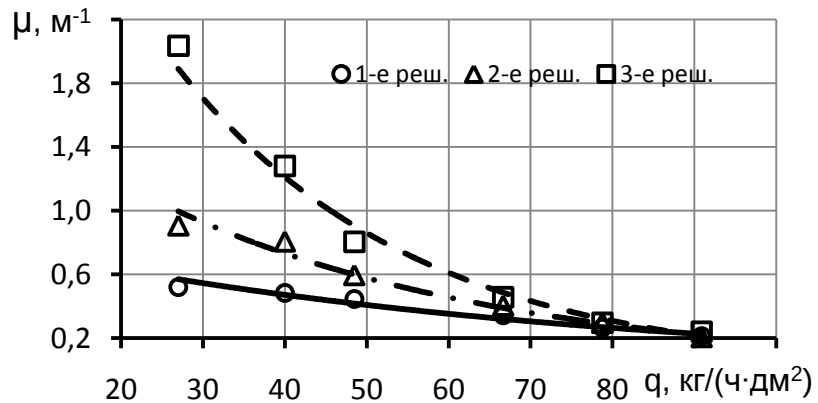


Рисунок 6.1 – Зависимость полноты выделения фуражных фракций сортировальными решетками от удельной нагрузки

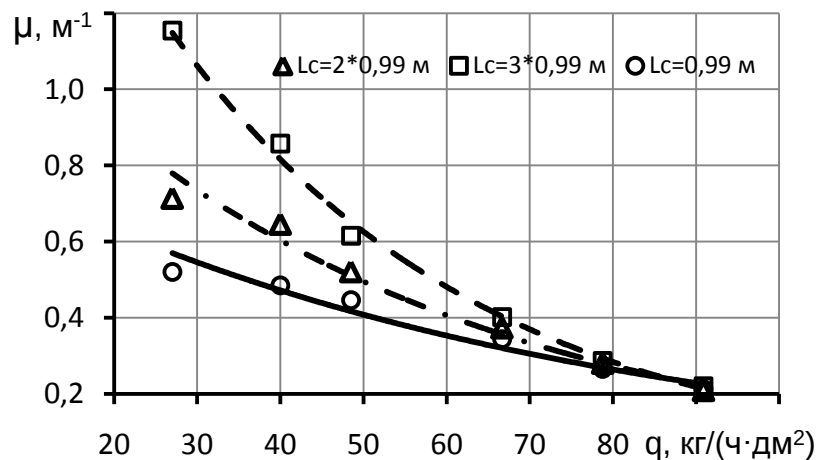
Очистка зерна на семенные цели с полнотой разделения 80% возможна при удельной нагрузке 47...50 кг/(ч·дм²) и менее 38 кг/(ч·дм²) соответственно. При удельной нагрузке более 110...115 кг/(ч·дм²) разницы в эффективности выделения фуражных фракций сортировальными решетками в зависимости от схемы их размещения не наблюдается. Это можно объяснить ростом толщины слоя вороха, существенным снижением эффективности сепарации в самом слое, поэтому подача вороха по всей длине решет имеет в этом случае некоторое преимущество.

Таким образом, установка трех сортировальных решет в отдельном ярусе с подачей вороха после колосовых решет на начало яруса имеет преимущество по сравнению с двухъярусной схемой размещения такого же количества сортировальных решет совместно с колосовыми и подсековыми решетками. Удельная нагрузка на решетка в таком варианте может быть увеличена в 1,25...1,27 раза при одинаковой полноте выделения фуражных фракций.

На основе экспериментальных данных был проведен расчет коэффициентов сепарации в зависимости от удельной нагрузки для каждого сортировального решета и общего коэффициента сепарации при установке разного числа решет в ярусе. Результаты представлены в графическом виде на рисунке 6.2.



а)



б)

Рисунок 6.2 – Изменение коэффициента сепарации фуражных фракций сортировальными решетками: а) для отдельных решет яруса в зависимости от очередности расположения; б) для всего яруса при разной длине

Наибольшие значения коэффициента сепарации наблюдаются для решета стоящего третьим в ярусе при удельной нагрузке до 85...90 кг/(ч·дм²). Так, при удельной нагрузке от 27 до 45 кг/(ч·дм²), когда полнота выделения фуражных фракций остается выше 80 %, коэффициент сепарации третьего решета больше первого в 1,8...3,9 раза и второго в 1,35...2,2 раза.

Большие различия между коэффициентами сепарации решет соответствуют меньшей удельной нагрузке. Причем снижение коэффициента сепарации с увеличением удельной нагрузки в интервале $30 \dots 75 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$ для сортировальных решет происходит с разной интенсивностью (рисунок 6.2а). Большая интенсивность снижения коэффициента сепарации наблюдается для третьего решета в ярусе – с 2,0 до $0,31 \dots 0,32 \text{ м}^{-1}$ или более чем в шесть раз. В меньшей степени наблюдается снижение коэффициента сепарации для второго решета в ярусе – с 0,907 до $0,31 \dots 0,32 \text{ м}^{-1}$ или в 2,8...2,9 раза.

Для первого сортировального решета в ярусе наблюдается менее существенное снижение коэффициента сепарации в рассматриваемом интервале увеличения удельной нагрузки – с 0,521 до $0,27 \text{ м}^{-1}$ или в 1,9 раза. Начиная с удельной нагрузки 90...95 и выше, коэффициент сепарации для первого решета в ярусе становится больше коэффициентов сепарации для второго и третьего решет. Такой характер изменения коэффициентов сепарации по длине яруса можно объяснить следующим. Для принятого кинематического режима работы стана и углов наклона сортировальных решет при удельных нагрузках до $48 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$ наблюдается такая толщина слоя вороха, которая обеспечивает эффективность сепарации в слое выше, чем при прохождении отверстий сортировальных решет. Этим и объясняется превышение коэффициента сепарации для третьего решета по сравнению со вторым и первым.

При увеличении удельной нагрузки и толщины слоя вороха на решетках сепарация мелкого зерна в слое снижается в большей степени, чем при прохождении зерна через отверстия самих сортировальных решет, что приводит к выравниванию коэффициентов сепарации по решетам независимо от их положения в ярусе. Дальнейшее увеличение удельной нагрузки и соответственно толщины слоя на решетках приводит к тому, что коэффициент сепарации решет, стоящих первыми по ходу перемещения вороха, становится больше, чем последующих решет.

Проведенные исследования позволяют отметить преимущество размещения в одном ярусе трех сортировальных решет с общей длиной до 2,97 м

для универсальных воздушно-решетных машин при семенной и товарной очистке зерна. Эффективность выделения фуражных фракций выше при семенной очистке в 1,18 раза по сравнению с установкой двух сортировальных решет в ярусе, и в 1,05 раза по сравнению с очисткой на товарные цели.

Для универсальных воздушно-решетных машин предназначенных для предварительной и товарной очистки длину сортировальных решет в ярусе более рационально выбирать до 2,0...2,2 м с увеличением ширины стана и пневмосистемы.

6.3.Обоснование типа и длины колосовых решет

Минимально необходимая площадь колосовых решет на воздушно - решетной зерноочистительной машине должна обеспечивать её максимальную производительность при потерях полноценного зерна не более 0,5%.

В настоящее время проведены исследования работы многих типов решет [22, 33, 35. 61, 69, 79, 88]. Преимущества струнных и проволочно-сварных решет заключается в значительно большем относительном живом сечении, которое в 2...2,5 раза превышает живое сечение решет с пробивными отверстиями.

Исследованием процесса сепарации зерновых смесей на струнных решетках занимались В.А.Кубышев, П.Н. Лапшин, А.И. Климок [148], Б.Н. Минаев и Х. Регге [161]. Было установлено, что за счет повышения относительного живого сечения с 0,47 до 0,72 оптимальная удельная нагрузка возрастает с 60 до 80 кг/(ч·дм²) с одновременным увеличением на 30% полноты выделения [148]. При одинаковом качестве очистки удельную нагрузку можно увеличить почти в 2,1 раза – с 60 до 126 кг/(ч·дм²) за счет сокращения времени, которое необходимо проходовой частице для того, чтобы сориентироваться длинной осью вдоль направления струн. При использовании профилированных струнных решет (со струнами, расположенными в двух параллельных плоскостях) время ориентирования сокращается в 4,2 раза.

Еще больший эффект достигается при введении в конструкцию струнных решет активных элементов – вибрирующих перемычек. Теоретически возможность оптимизации процесса таким путем обоснована П.Н. Лапшиным [153]. При частоте колебаний кромок около 50 Гц удельная производительность таких решет в 3 раза выше, чем у простых струнных, и в 5 раз выше, чем у стандартных плоскопробивных.

Однако струнные решета не нашли практического применения на существующих воздушно-решетных машинах из-за ряда серьезных недостатков: сложности в изготовлении, более высокой стоимости и дополнительного обслуживания при эксплуатации. Технологическая надежность струнных решет с течением времени изменяется в больших пределах из-за ослабления натяжения струн, поддерживать которое в заданных пределах довольно сложно. Это сказывается на изменении рабочего размера при работе таких решет, что практически исключает их применение при разделении на фракции по размерам.

Полотна проволочно-сварной конструкции с продольными цилиндрическими перемычками имеют почти в 1,5 раза выше полноту выделения примесей по сравнению с пробивными плоскими [153].

Высокая эффективность применения гофрированных решет была обоснована Ю.И. Ермольевым и другими учеными [82, 161]. При использовании гофрированных решет с продолговатыми и круглыми отверстиями на очистке пшеницы и риса в качестве подсевных полнота выделения мелких примесей и мелкого зерна выше на 10...16%, чем при использовании пробивных решет [161].

Однако, несмотря на отмеченные преимущества решетных полотна этих типов до сих пор не находят применения в решетных станах воздушно-решетных зерноочистительных машин. Виной этому являются как низкая технологическая и техническая надежность, так и сложность в изготовлении, дополнительные трудности с очисткой и относительно высокая стоимость.

Поэтому в качестве колосовых решет в плоских решетных станах применяют в основном пробивные решетные полотна, как с продолговатыми, так и с круглыми отверстиями. Предпочтение последним отдается, как на машинах, выпускаемых ведущими зарубежными фирмами Petkus, Cimbria, Schmidt-Seeger, Damas, так и на отечественных высокопроизводительных машинах, таких как СВУ-60, ОЗС-50, ОЗФ-80.

При предварительной очистке в верхнем ярусе решетного стана для равномерной загрузки решет нижнего яруса, по данным исследований В.И. Оробинского, А.П. Тарасенко [176, 177], предпочтительнее устанавливать решетные полотна с круглыми отверстиями диаметром 6, 7, 8...9 мм и возрастанием диаметра по ходу перемещения вороха.

А. Н. Зюлиным, С. С. Ямпилковым и другими [103, 104, 328, 329, 330] изучалось фракционирование каскадным решетным сепаратором, оборудованным набором решет с круглыми отверстиями. При определенных кинематическом режиме и толщине зернового слоя на решетках, разделение происходит не только по ширине, но и по длине компонентов, что позволяет повысить эффективность очистки в 1,3....1,5 раза.

На машинах зарубежного производства колосовые решета, как правило, устанавливаются в отдельном верхнем ярусе стана или отдельных двух верхних ярусах в зависимости от производительности машин. Угол наклона яруса с колосовыми решетками может отличаться от наклона ярусов других решет и даже в отдельных случаях регулироваться. На машинах отечественного производства размещение колосовых решет в станах зависит от принятой конструкции и назначения решет. Одноярусная схема расположения трех различных по назначению решет: подсевных, сортировальных и колосовых применена на машинах ОЗС-50, СВУ-60. Причем площади решет разного назначения в ярусе одинаковые, а их доля составляет $\frac{1}{3}$ общей площади. Такая схема расположения решет однозначно определяет место каждого решета в ярусе, и колосовые решета размещаются последними по ходу перемещения вороха.

При размещении трех разных по назначению решет в двухъярусном стане, колосовые решета располагают в верхнем ярусе, после сортировальных, а подсевные - в нижнем под сортировальными решетками. Для выбора типа отверстий при использовании в качестве колосовых решет плоских решетных полотен, а также необходимой длины решет были проведены экспериментальные исследования. В качестве колосовых решет использовали решетные полотна с продолговатыми отверстиями $3,4 \times 25$ мм и $3,6 \times 25$ мм; комбинацию с круглыми и продолговатыми $\varnothing 6,5$ мм и $3,6 \times 25$ мм; только с круглыми $\varnothing 6,5$ мм; $\varnothing 7,0$ мм и $\varnothing 8,0$ мм. Причем, полотна $\varnothing 7,0$ мм и $\varnothing 8,0$ мм применяли как с шариковыми очистителями, так и без очистителей. При подборе решет с использованием лабораторного рассева УРЛ-1 и комплектов решет с круглыми и продолговатыми отверстиями не наблюдалось наличие зерна на решетках с круглыми отверстиями $\varnothing 6,5$ мм и продолговатыми $3,6 \times 25$ мм.

В верхнем ярусе устанавливали два колосовых решета, с возможностью изменения их длины и глухую поверхность; в нижнем – подсеивное и два сортировальных решета. Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 6.2.

Анализ результатов исследований позволил однозначно установить преимущество использования в качестве колосовых решет решетных полотен с круглыми отверстиями. Для колосовых решет с продолговатыми отверстиями $3,4 \times 25$ мм и $3,6 \times 25$ мм при их длине 1,98 м максимальная допустимая удельная нагрузка составила менее $160 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$.

Незначительно большие значения, допустимой удельной нагрузки, получены для комбинации решет с круглыми $\varnothing 6,5$ мм и продолговатыми $3,6 \times 25$ мм отверстиями. С увеличением удельной нагрузки свыше $170 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$ потери зерна сходом возрастают чуть в меньшей степени, чем при использовании только решет с продолговатыми отверстиями $3,6 \times 25$ мм. При увеличении удельной нагрузке до $195 \dots 200 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$ они составляют

0,92...0,97%. Увеличение удельной нагрузки до 215...220 кг/(ч·дм²) приводит к росту потерь зерна сходом до 2,6...2,65 %.

Таблица 6.2 – Потери зерна с колосовых решет в зависимости от подачи

Тип решетного полотна	Длина, м	Подача, кг/(с·дм)	Удельная нагрузка, кг/(ч·дм ²)	Потери сходом, %
□3,4×25 мм + □3,6×25 мм	0,99 0,99	0,47	85,5	0,003
		0,56	101,8	0,006
		0,65	118,2	0,011
		0,80	145,5	0,358
		0,90	163,6	0,953
		1,00	181,8	2,936
		1,20	218,2	7,067
□3,6×25 мм + Ø 6,5 мм	0,99 0,99	1,20	218,2	2,639
		1,07	194,5	0,975
		1,00	181,8	0,583
		0,94	170,9	0,218
		0,79	143,6	0,039
		0,60	109,1	0,008
		0,49	89,1	0,003
		0,42	76,4	0,002
Ø 6,5 мм + Ø 6,5 мм	0,99 0,99	0,42	76,0	0,154
		0,68	123,6	0,242
		0,76	138,0	0,274
		0,85	155,4	0,372
		0,98	178,3	0,495
		1,05	190,9	0,525
		1,19	216,5	0,942
		1,33	242,4	2,115

При использовании в качестве колосовых решет решетных полотен с круглыми отверстиям Ø 6,5 мм допустимая удельная нагрузка возрастает незначительно – до 178...180 кг/(ч·дм²). Это говорит о большей сепарирующей способности решетных полотен с круглыми отверстиями при их использовании в качестве колосовых решет, а также о необходимости увеличения диаметра отверстий.

В дальнейших опытах на установке в качестве колосовых решет применяли решетные полотна с круглыми отверстиями Ø 7,0 мм и Ø 8,0 мм.

С целью изменения компоновки решетных станов с учетом установки сортировальных решет в отдельных ярусах экспериментально определяли

минимально необходимую длину колосовых решет и допустимую удельную нагрузку. Влияние длины колосовых решет с круглыми отверстиями $\varnothing 7,0$ мм и $\varnothing 8,0$ мм на потери зерна при удельной подаче $1,67 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{дм})$ представлены в таблице Приложения Л и в графическом виде на рисунке 6.3.

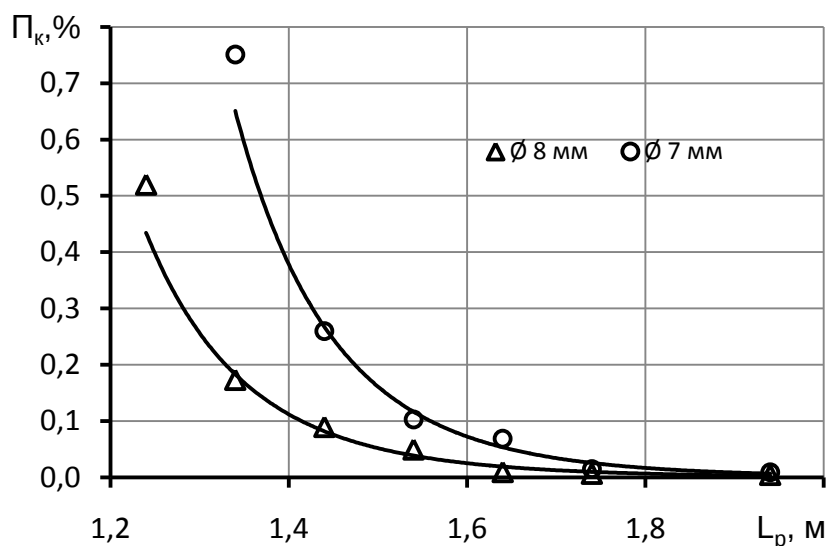


Рисунок 6.3 – Зависимость потерь зерна сходом с колосовых решет $\varnothing 7,0$ мм и $\varnothing 8,0$ мм от их длины при удельной подаче $1,67 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{дм})$

Как видно из графических зависимостей потери зерна менее $0,1 \%$ наблюдаются для колосовых решет с отверстиями $\varnothing 7,0$ мм при длине не менее $1,58 \dots 1,6$ м и для решет с отверстиями $\varnothing 8,0$ мм при длине $1,45$ м.

При дальнейшем уменьшении длины колосовых решет наблюдается более интенсивный прирост потерь для решетных полотен с отверстиями $\varnothing 7,0$ мм. Так при длине решет $1,44$ м потери зерна больше в $2,6$ раза по сравнению с использованием решетных полотен с отверстиями $\varnothing 8,0$ мм. С уменьшением длины колосовых решет до $1,34$ разница в потерях возрастает до $7,3$ раз и для решетных полотен с отверстиями $\varnothing 7,0$ мм потери превышают допустимые и составляют $0,75 \%$. Для решетных полотен с отверстиями $\varnothing 8,0$ мм потери зерна достигают допустимого предела при длине $1,26 \dots 1,24$ м.

При использовании универсальных воздушно – решетных зерноочистительных машин на предварительной очистке зернового вороха функцию

выделения мелких примесей возлагают на сортировальные решета, уменьшая размер, а в большинстве случаев и тип отверстий решетных полотен.

Выделение мелких компонентов вороха из всей фуражной фракции возможно при установке подсевных решет непосредственно под сортировальными решетами или направлении всей фуражной фракции вороха на начало подсевных решета. В этом случае можно достигнуть полноты выделения мелких компонентов подсевными решетами, сопоставимой с полнотой разделения вороха на фракции сортировальными решетами. Однако это значительно усложняет конструкцию и увеличивает высоту решетных станов универсальных воздушно - решетных зерноочистительных машин. Поэтому, зарубежные машины имеют в решетных станах подсевные решета в том случае, когда получают две фракции целевого назначения [335].

Учитывая вышесказанное, были проведены опыты по сравнению эффективности работы подсевных решет при разных схемах их размещения.

В двухъярусной схеме размещения трех решет одно подсевное решето устанавливалось в нижнем ярусе под сортировальным решетом. Дополнительно к этому варианту рассматривался вариант установки двух подсевных решет под колосовыми решетами. Результаты влияния удельной нагрузки на полноту выделения мелких компонентов вороха представлены графически на рисунке 6.4.

Графическая зависимость полноты выделения подсевным решетом построена с учетом удельной нагрузки на сортировальное решето, под которым подсевное установлено. Анализ представленных данных (рисунок 6.4) показывает, что с точки зрения выделения мелких компонентов вороха, двухъярусная схема расположения решет с использованием одного подсевного решета, устанавливаемого непосредственно под сортировальным решетом верхнего яруса не имеет преимуществ перед схемой с расположением двух подсевных решет под колосовыми. Загрузка подсевного решета в этом случае зависит от работы установленного над ним сортировального решета.

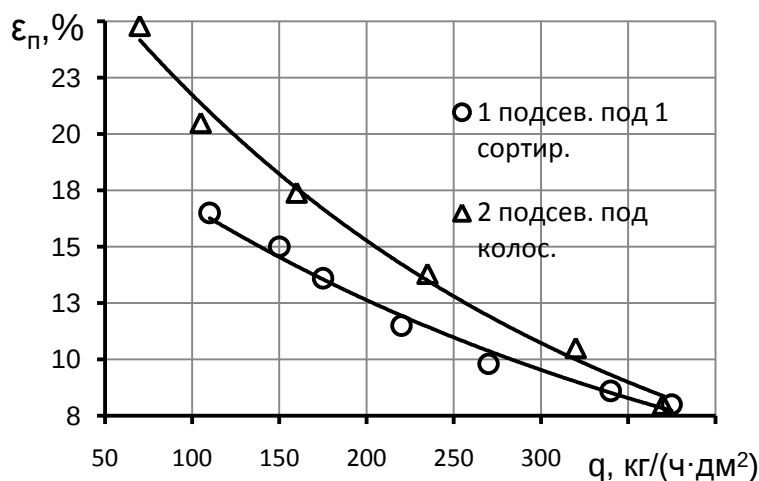


Рисунок 6.4 - Влияние удельной нагрузки на полноту выделения мелкой фракции подсевными решетками

Так, при удельной нагрузке до $350 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$ полнота выделения в первом варианте остается меньшей, чем во втором. Это связано с уменьшенной длиной рабочей поверхности решета, меньшей загрузкой начала решета и выделением первым сортировальным решетом только части фуражной фракции из вороха. Увеличение числа подсевных решет в двухъярусной схеме возможно только за счет уменьшения сортировальных в нижнем ярусе и замене колосового решета верхнего яруса на сортировальное. Однако это неизбежно приведет к снижению производительности машины в целом.

Увеличение в два раза площади подсевных решет, при их установке под колосовыми, не приводит к двукратному росту полноты выделения. Так при удельной нагрузке $100 \dots 200 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$ полнота выделения выросла только на $4,5 \dots 2,5\%$, а при большей нагрузке её прирост снижается. Такое незначительное повышение полноты выделения можно объяснить подачей всего вороха на подсевные решета, ростом толщины слоя и как следствие уменьшением коэффициента сепарации.

Таким образом, использование в качестве колосовых решет решетных полотен с круглыми отверстиями по сравнению с продолговатыми позволяет повысить допустимую удельную нагрузку в $1,5 \dots 2,1$ раза и при содержании

крупных примесей менее 0,25 % она может достигать 450...480 кг/(ч·дм²) при длине решет в ярусе 1,98 м.

Было выявлено, что при установке одного подсевного решета под первым сортировальным решетом при двухъярусной схеме размещения решет в стане и удельной нагрузке фуражной фракции 13,81...15,86 кг/(ч·дм²) полнота выделения мелких примесей не превышает 20%. Одновременно усложняется конструкция стана за счет установки разгрузочного канала для вывода фуражной фракции с подсевного решета. Использование подсевного решета в верхнем ярусе с подачей на него всего зернового вороха при удельной нагрузке 60...70 кг/(ч·дм²) не позволяет увеличить полноту выделения мелких примесей более 15%, а при двукратном увеличении площади подсевных решет полнота выделения не превышает 25%.

6.4. Влияние вывода нижнего слоя зерна с конца сортировальных решет на качественные показатели очистки зерна

По мнению многих ученых оптимальной толщиной, с точки зрения максимальной интенсивности сепарации, является слой в 2...3 элементарных слоя [109, 330]. Для пшеницы и других зерновых культур, зерновки которых близки по размерам эта толщина составляет 7...12 мм.

Рациональной толщиной слоя на сортировальных решетках считается также такая толщина, которая соответствует допустимой удельной нагрузке обеспечивающей полноту разделения на фракции не менее 80% [331]. При большей толщине слоя независимо от состава и свойств вороха, кинематического режима работы решетного стана снижается эффективность сепарации в самом слое.

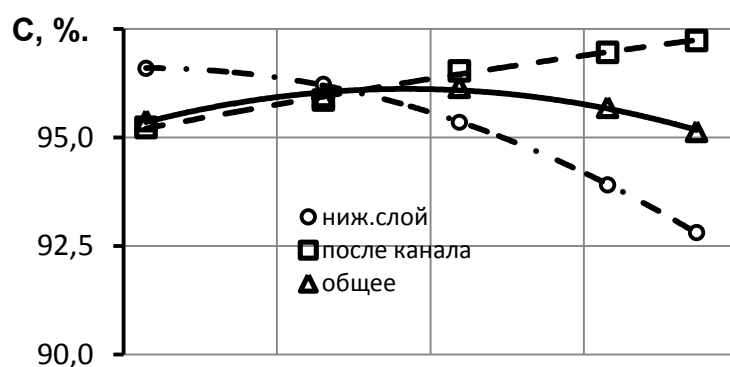
Таким образом, при относительно большой длине сортировальных решет и сравнительно большой толщине слоя вороха на решетках можно ожидать различия к концу сортировальных решет в составе нижних и верхних слоев. В нижних слоях должны содержаться компоненты вороха с большей плотностью, меньшей долей биологически неполноценных зерновок, и эта

часть вороха может выводиться из машины без дополнительной аспирации в канале послерешетной очистки. Выделение этой части вороха, минуя канал послерешетной очистки позволит уменьшить концентрацию компонентов вороха в канале и повысить эффективность выделения биологически неполноценных зерновок и других компонентов по аэродинамическим свойствам. Кроме того, снижение сопротивления канала послерешетной очистки за счет уменьшения подачи вороха может активизировать работу канала дорешетной очистки с учетом технологической схемы движения воздуха.

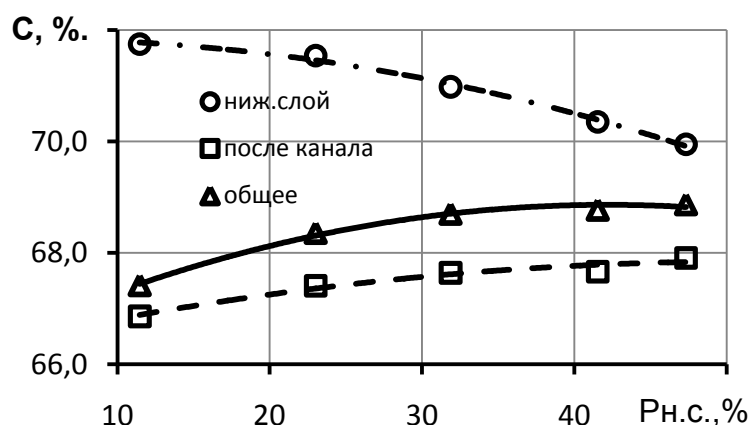
Для исследования возможности вывода нижнего слоя зерна с сортировальных решет, без подачи в канал послерешетной очистки, на решетный стан использовали подвижный подающий лоток с делительной пластиной (рисунок 4.7). Подачу вороха устанавливали 0,33; 0,41; 0,74; 1,32 кг/(с·дм), что соответствовало удельной нагрузке на сортировальные решета 40; 50; 90 и 160 кг/(ч·дм²) и составляло на конце сортировальных решет толщину слоя зернового вороха соответственно 10...11 мм; 12..13 мм, 20...22 мм и 40...42 мм.

В результате исследований была установлена нецелесообразность вывода нижнего слоя с сортировальных решет при удельной нагрузке 40 и 50 кг/(ч·дм²), что соответствует их использованию в режиме очистки зерна на семенные цели.

При подаче 0,74 кг/(с·дм), соответствующей допустимой удельной нагрузке на сортировальные решета при очистке зерна на продовольственные цели, наблюдается разница в составе нижнего зернового слоя и верхнего (рисунок 6.5). Как видно из графических зависимостей (рисунок 6.5а) в нижнем слое к моменту схода с сортировальных решет больше содержание зерновок, имеющих скорость витания ≥ 8 м/с по сравнению с остальным слоем прошедшим канал послерешетной аспирации. Так, при выделении 11,4% зерна с сортировальных решет нижним слоем, без подачи в канал послерешетной аспирации, среднее содержание полноценных зерновок в нём составляет 96,6%.



а)



б)

Рисунок 6.5 - Влияние доли зернового вороха выводимого с сортировальных решет без послерешетной аспирации на содержание полноценного зерна при удельной нагрузке $90 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$: а) зерновок со скоростью витания $> 8 \text{ м/с}$; б) зерновок с толщиной $> 2,6 \text{ мм}$

С увеличением доли и толщины нижнего слоя, выводимого с решет без подачи в канал, содержание полноценных зерновок уменьшается, и при $24,5...25,0 \%$ уже достигает $96,25 \%$ и сравнивается с содержанием полноценных зерновок в оставшейся части вороха, который прошел очистку в канале послерешетной аспирации. Дальнейшее увеличение доли зернового вороха, выводимого с сортировальных решет без послерешетной аспирации, приводит к более интенсивному снижению содержания полноценного зерна, в то время как в той части, которая дополнительно очищается в канале послерешетной аспирации, содержание полноценных зерновок растет.

При выделении нижним слоем 47 % зернового вороха содержание зерновок со скоростью витания более 8 м/с в ворохе, прошедшем канал послерешетной очистки достигает 97 %.

Вместе с тем, содержание таких зерновок в общем ворохе, при выделении с решет более 30...35 % вороха, начинает снижаться, и при выведении с решет 47 % вороха практически достигает значений, которые наблюдаются при направлении всего вороха в канал послерешетной очистки.

Разница в содержании зерновок с толщиной $> 2,6$ мм по слоям больше, чем в содержании зерновок со скоростью витания более 8 м/с (рисунок 6.5б).

Характер изменения массы 1000 зерен (рисунок 6.6) аналогичен характеру изменения содержания полноценных зерновок в ворохе (рисунок 6.5).

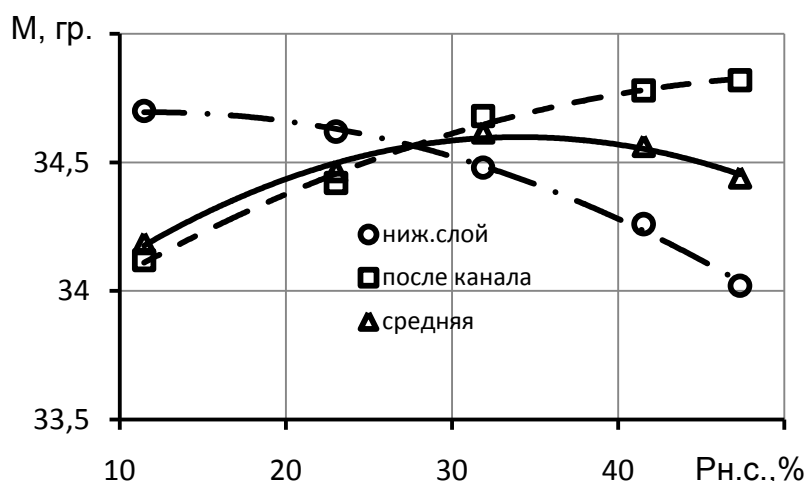


Рисунок 6.6 - Влияние доли зернового вороха выводимого с сортировальных решет без послерешетной аспирации на массу 1000 зерен при удельной нагрузке $90 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$

Зерновки нижнего слоя имеют большую массу при выделении до 27...27,5% без очистки в канале послерешетной аспирации. При выделении большей части вороха в основную фракции без дополнительной очистки по аэродинамическим свойствам масса 1000 зерен становится меньше, чем у той части, которая прошла очистку в канале послерешетной аспирации. Так, при направлении с решет 11 % зернового вороха нижнего слоя, минуя канал по-

слерешетной очистки, масса 1000 зерен составляет 34,7 г, а верхнего слоя после дополнительной очистки в канале послерешетной аспирации 34,1 г.

Увеличение объема нижнего слоя, выводимого с решет без очистки в канале послерешетной аспирации, до 27...27,5 % приводит к выравниванию массы 1000 зерен обоих слоев, и она составляет 34,6 г. Масса 1000 зерен общего вороха принимает максимальные значения при выведении нижним слоем с сортировальных решет 30...35 % вороха.

Таким образом, судя по качественным показателям, до 25...27% зернового вороха с конца сортировальных решет может быть направлено на выгрузку в основную фракцию без очистки в канале послерешетной аспирации. Вывод такой части зернового вороха без подачи в канал послерешетной аспирации уменьшает концентрацию вороха в канале. Это вызывает не только рост выделения биологически неполноценного зерна в самом канале, но и улучшение качественных показателей работы канала дорешетной очистки (рисунок 6.7).

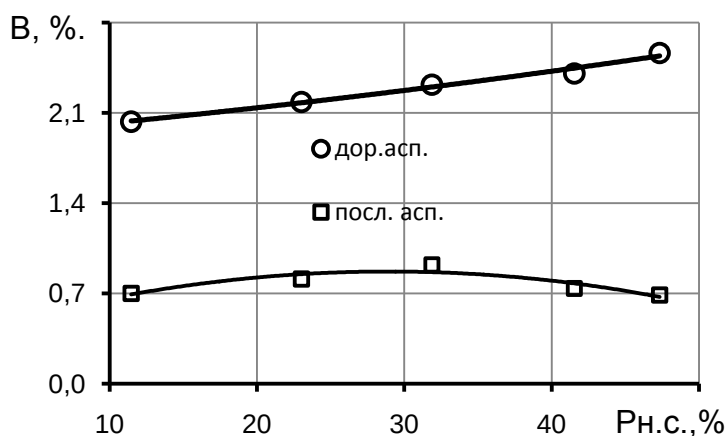


Рисунок 6.7 - Влияние доли зернового вороха выводимого с сортировальных решет без послерешетной аспирации на выделение легковесных компонентов аспирациями

Максимальное выделение легковесных компонентов вороха пневмосепарирующим каналом послерешетной аспирации достигается при направлении 25...35% зернового вороха с сортировальных решет, минуя канал.

Уменьшение концентрации вороха в канале послерешетной аспирации, а, следовательно, и снижение его сопротивления сказывается и на работе канала дорешетной очистки, обслуживаемого тем же воздушным потоком. Так при максимальном выделении легковесных компонентов вороха пневмосепарирующим каналом послерешетной аспирации выделение каналом дорешетной аспирации достигает 2,3...2,32%. В случае, если весь ворох с сортировальных решет направляется в канал послерешетной очистки, выделение легковесных компонентов вороха каналом дорешетной очистки составляет 2,0...2,05%.

При удельной нагрузке $160 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$ несмотря на ухудшение качественных показателей очистки, особенно по размерным характеристикам, также подтверждена целесообразность вывода до 30...35 % зернового вороха в основную фракцию из нижнего слоя без дополнительной очистки в канале послерешетной аспирации. При этом по качественным показателям (масса 1000 зерен, содержание полноценного зерна со скоростью витания $\geq 8,0 \text{ м/с}$ и толщиной $\geq 2,6 \text{ мм}$) эта часть зерна не уступает тому, что прошло очистку по аэродинамическим свойствам в канале послерешетной аспирации. Выделение легковесных компонентов вороха пневмосепарирующим каналом послерешетной аспирации возрастает с 0,56 до 0,68% или в 1,21 раза и пневмосепарирующим каналом дорешетной аспирации с 1,35 до 1,49% или в 1,1 раза.

Таким образом, на основании проведенных исследований было установлено, что при работе решетного стана в режиме подготовки зерна на семенные цели весь зерновой ворох с сортировальных решет должен подаваться в канал послерешетной аспирации, что позволит увеличить содержание полноценных зерновок и массу 1000 зерен.

При установке в одном ярусе трех сортировальных решет в длину и работе в режиме первичной очистки до 30...35% зерна нижнего слоя может быть выведено с конца сортировальных решет без подачи в канал послерешетной аспирации.

Эта часть зерна по качественным показателям (масса 1000 зерен, содержание полноценного зерна со скоростью витания $\geq 8,0$ м/с, толщиной $\geq 2,6$ мм) не уступает тому, что прошло очистку по аэродинамическим свойствам в канале послерешетной аспирации.

Вывод части зернового вороха с сортировальных решет, минуя канал послерешетной аспирации, у двухаспирационных зерноочистительных машин с последовательным обслуживанием аспираций одним воздушным потоком, позволяет увеличить выделение легковесных компонентов вороха пневмосепарирующим каналом послерешетной аспирации в $1,2 \dots 1,23$ раза и пневмосепарирующим каналом дорешетной аспирации в $1,1 \dots 1,15$ раза.

6.5. Выводы

1 Полнота разделения 60%, соответствующая режиму очистки зерна на товарные цели, достигается при удельной нагрузке $70 \dots 75$ кг/(ч·дм²) в варианте установке трех сортировальных решет в одном ярусе. Тогда, как в варианте установки первого сортировального решета в верхнем ярусе перед колосовыми решетками и двух остальных - в нижнем такая же полнота разделения достигается при удельной нагрузке $55 \dots 60$ кг/(ч·дм²).

Очистка зерна на семенные цели с полнотой разделения 80% возможна при удельной нагрузке $47 \dots 50$ кг/(ч·дм²) и менее 38 кг/(ч·дм²) соответственно.

При удельной нагрузке до $78 \dots 80$ кг/(ч·дм²) коэффициент сепарации сортировального решета, стоящего первым в ярусе по ходу движения вороха остается меньше, чем второго в $1,05 \dots 2,2$ раза и третьего в $1,1 \dots 3,9$ раза.

2. Использование в качестве колосовых решет решетных полотен с круглыми отверстиями по сравнению с продолговатыми позволяет повысить допустимую удельную нагрузку в $1,5 \dots 2,1$ раза и при содержании крупных примесей менее 0,25 % она может достигать $450 \dots 480$ кг/(ч·дм²) при длине решет в ярусе 1,98 м.

3. Полнота выделения мелких примесей при установке одного подсевного решета под первым сортировальным решетом при двухъярусной схеме размещения решет в стане и удельной нагрузке фуражной фракции $13,81 \dots 15,86 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$ не превышает 20%.

Использование подсевного решета в верхнем ярусе с подачей на него всего зернового вороха при удельной нагрузке $60 \dots 70 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$ не позволяет увеличить полноту выделения мелких примесей более 15%, а при двукратном увеличении площади подсевных решет полнота выделения не превышает 25%.

4. Проведенные экспериментальные исследования по выводу с сортировальных решет части нижнего слоя зерна без дополнительной аспирации показали:

при установке в одном ярусе трех сортировальных решет в длину и работе двухаспирационных зерноочистительных машин в режиме первичной очистки, до 30...35% зерна нижнего слоя может быть выведено с конца сортировальных решет без подачи в канал послерешетной аспирации;

по качественным показателям (масса 1000 зерен, содержание полноценного зерна со скоростью витания $\geq 8,0 \text{ м/с}$ и толщиной $\geq 2,6 \text{ мм}$) эта часть зерна не уступает тому, что прошло очистку по аэродинамическим свойствам в канале послерешетной аспирации;

вывод части зернового вороха с сортировальных решет, минуя канал послерешетной аспирации, у двухаспирационных зерноочистительных машин с последовательным обслуживанием аспираций одним воздушным потоком, позволяет увеличить выделение легковесных компонентов вороха пневмосепарирующим каналом послерешетной аспирации в $1,2 \dots 1,23$ раза и пневмосепарирующим каналом дорешетной аспирации в $1,1 \dots 1,15$ раза.

7. Реализация результатов исследований и экономическая эффективность применения универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин

7.1. Принципиальная схема универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин

Полученные результаты моделирования и экспериментальных исследований позволили обосновать принципиальную схему универсальной воздушно-решетной зерноочистительной машины с двухаспирационной пневмосистемой обслуживаемой одним воздушным потоком (рисунок 7.1).



Рисунок 7.1 – Принципиальная схема машины:

1 – пневмосепарирующий канал послерешетной очистки; 2 – осадочная камера пневмоканала; 3 – направляющий козырек; 4 – горизонтальный канал дорешетной очистки; 5 – секция основной фракции осадочной камеры канала дорешетной очистки; 6 – разделительная стенка с клапаном; 7 – секция сбора фуража; 8 – питающее устройство; 9 – канал к циклону и вентилятору; 10 – верхний решетный стан; 11 – нижний решетный стан; 12 – подающее устройство; 13 – выход фуража аспираций; 14 – лотки вывода крупных примесей; 15 – лотки вывода фуража решет; 16 – выход очищенного зерна основной фракции; 17 – колосовые решета; 18 – сортировальные решета нижнего стана; 19 – сортировальные решета верхнего стана

Машина включает пневмосистему с каналами дорешетной 4 и послерешетной 1 очисток, питающее устройство 8, верхний 10 и нижний 11 ре-

шетные станы, устройство 12 подачи основной фракции в канал послерешетной аспирации, радиальный вентилятор и пылеотделитель установленные за пределами машины (на схеме не показаны). Канал дорешетной аспирации 4 имеет горизонтальное расположение и заканчивается секционной осадочной камерой. Осадочная камера разделяется стенкой 6 с клапаном на две секции: секцию 5 для сбора основной фракции, и секцию 7 для сбора фуража. Секция 5 имеет закрытый канал с гравитационным клапаном для подачи вороха на верхний стан 10 решетной очистки. Секция 7 для сбора фуража, как и осадочная камера 2 канала послерешетной очистки 1 имеют устройства 13 вывода фуража аспираций. Распределение по ширине и подача вороха в канал дорешетной очистки осуществляется питающим устройством 8, включающим загрузочный бункер с гравитационным распределителем. Канал 1 послерешетной очистки имеет нижнюю часть, которая выполняется как отдельный элемент конструкции. Нижняя часть канала имеет расширение в сторону решетного стана и делится вертикальной перегородкой на предварительную зону псевдоожижения и основную. Верхний решетный стан 10 имеет делитель потока зерна на две части для подачи зернового вороха в равных пропорциях на два верхних яруса 17 с колосовыми решетками. Нижний ярус верхнего решетного стана устанавливается с обратным уклоном и может оборудоваться подсевными или сортировальными решетками. Зерновой ворох с решет нижнего яруса верхнего стана направляется к делителю потока зерна нижнего стана 11, который включает три яруса 18 с сортировальными решетками. Прошедшая решетную очистку основная фракция вороха посредством устройства 12 направляется в канал послерешетной аспирации, где выделяется биологически неполноценное фуражное зерно и оставшиеся примеси.

В зависимости от требуемой производительности для реализации фракционной технологии очистки зерна разработаны рекомендации по комплектованию универсальных воздушно-решетных машин вентиляторами, электродвигателями и решетками со схемой их размещения (таблица 7.1).

Таблица 7.1 - Рекомендуемая комплектация машин в зависимости от производительности

Производительность машины, т/ч	Расход воздуха, тыс. м ³ /ч/Мощность на привод вентилятора, кВт	Длина/ширина станков, м	Тип решета	Количество ярусов, шт.	Количество полотен в ярусе, шт.	Ориентация длинной стороной /количество рядов поперек	Общая площадь, дм ²	Доля решета на машине, %
До 92,0	14,0/11,0	2,93/1,48	<i>Г</i>	3	6	вдоль/ 2	1314	60,0
			<i>Б₂</i>	2	4		584	26,7
			<i>В</i>	1	4		292	13,3
До 122,0	14,5/15,0	2,93/1,48	<i>Г</i>	4	6	вдоль/ 2	1752	66,7
			<i>Б₂</i>	2	6		876	33,3
До 65,0	11,7/11,0	1,98/1,48	<i>Г</i>	4	4	вдоль/ 2	1168	66,7
			<i>Б₂</i>	1	4		292	16,7
			<i>В</i>	1	4		292	16,7
До 65,0	11,7/11,0	1,98/1,48	<i>Г</i>	4	4	вдоль/ 2	1168	66,7
			<i>Б₂</i>	2	4		584	33,3
До 65,0	11,7/11,0	2,22/1,98	<i>Г</i>	3	6	поперек/ 2	1168	66,7
			<i>Б₂</i>	2	6		584	26,7
			<i>В</i>	1	6		292	13,3
До 49,0	8,0/7,5	2,22/0,99	<i>Г</i>	4	3	поперек/ 1	876	66,7
			<i>Б₂</i>	1	3		584	16,7
			<i>В</i>	1	3		219	16,7
До 35,0	6,0/5,0	1,48/0,99	<i>Г</i>	4	2	поперек/ 1	592	66,7
			<i>Б₂</i>	1	2		148	16,7
			<i>В</i>	1	2		148	16,7

При производительности до 35,0 т/ч первичной очистки машина имеет ширину решетного стана 1,0 м с однорядным расположением решет длинной стороной поперек решетного стана. Верхний ярус верхнего решетного стана содержит два колосовых решета с общей длиной 1,48 м, средний - подсевные решета для выделения мелких примесей. Нижний ярус, устанавливается с обратным уклоном и оборудуется сортировальными решетками. Расход воздуха пневмосистемой составляет до 6,0 тыс. м³/ч при мощности двигателя привода вентилятора 5,0 кВт.

Увеличение длины станков до 2,22 м с расположением в ярусе трех решет, длинной стороной поперек станков позволяет повысить производительность машины до 49,0 т/ч при росте расхода воздуха до 8,0 тыс. м³/ч.

Двухрядное размещение решет на машинах при длине станков 2,22 м и увеличение расхода воздуха до 11,7 тыс. м³/ч позволяет повысить производительность до 65,0 т/ч. Такая - же производительность достигается при двухрядном размещении двух решет длинной стороной вдоль стана. Двухрядное расположение трех решет длинной стороной вдоль стана с установкой в нижнем ярусе взамен подсевных сортировальных решет позволяет повысить производительность до 122 т/ч. Для обеспечения такой производительности часовой расход воздуха вентилятором должен составлять 14,5 тыс. м³/ч при затратах мощности на его привод до 15,0 кВт.

7.2. Фракционная технология товарной очистки зерна на базе разработанных машин

В результате выполненных исследований и проектных работ рекомендуется для дальнейшего использования на предприятиях АПК поточная линия с универсальной воздушно – решетной машиной для фракционной очистки зерна, позволяющая увеличить производительность товарной очистки в 1,6...2,0 раза, минимизировать количество механических воздействий на фракцию целевого назначения.

На рисунке 7.2 приведена схема фракционной технологии товарной очистки зерна на базе разработанных машин.

Зерновой ворох после поступления в линию делится машиной 6 на три фракции: фракцию товарного зерна, фуражную фракцию с частью мелких примесей, отходовую фракцию, отделяемую по аэродинамическим свойствам и выносимую в циклон 3. Фракция товарного зерна направляется на временное или длительное хранение, а перед реализацией при необходимости на очистку от длинных примесей. Фуражная фракция при наличии большого

количества мелких примесей перед подачей в бункер фуража может обрабатываться на решетной приставке 7, оборудованной подсевными решетками.

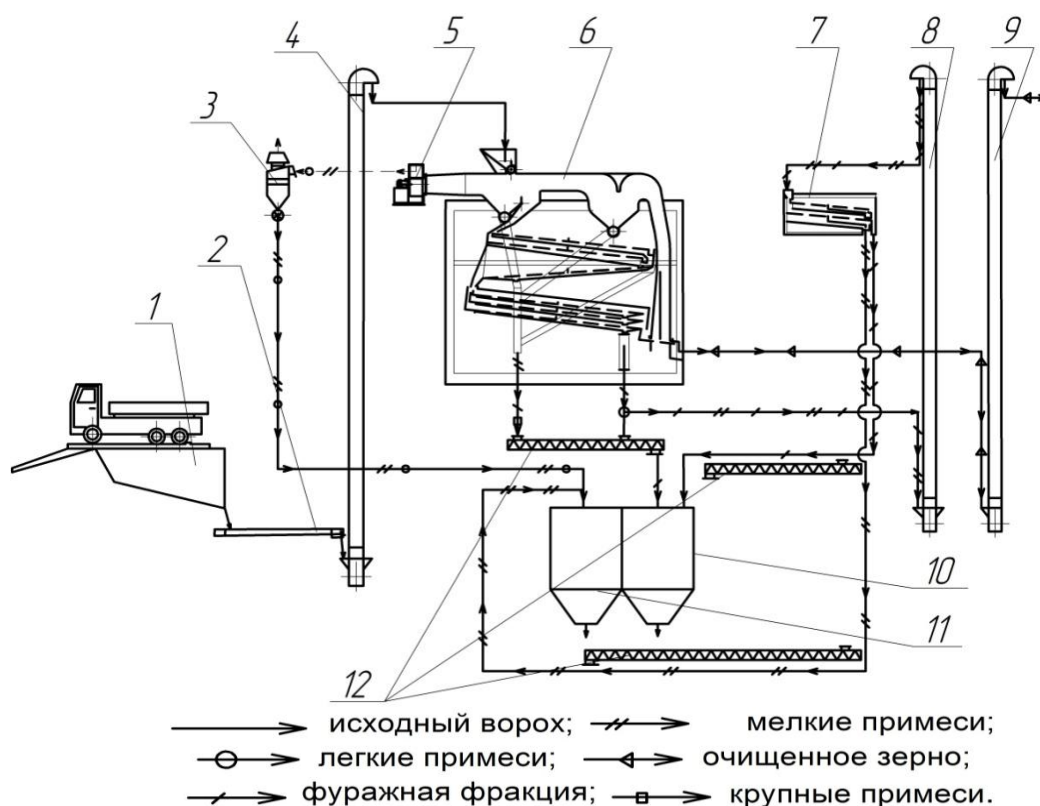


Рисунок 7.2 – Схема фракционной технологии товарной очистки зерна:

1 – бункер приемный с боковой разгрузкой; 2 – питатель-дозатор; 3 – циклон (типа ЦОЛ); 4 – нория зерновая НЗ-14; 5 – вентилятор радиальный марки ВЦ-14-46; 6 – машина универсальная воздушно-решетная; 7 – решетная приставка (типа РП-50); 8 – нория зерновая НЗ-8; 9 – нория зерновая НЗ-14; 10 – бункер фуража; 11 – бункер отходов; 12 – конвейер винтовой

7.3. Реализация результатов исследований и определение эффективности применения машины производительностью 65 т/ч

Универсальная двухаспирационная воздушно – решетная машина с последовательным использованием воздушного потока в аспирациях производительностью до 65 т/ч включена ООО «Агроимпульс СПС» в перспективный план разработки и постановки на производство на 2017...2018 годы.

Отдельные результаты работы внедряются ООО «Агроимпульс СПС» при модернизации зерноочистительных агрегатов и оборудования, ООО «АгроТехХолдинг» при проектировании и строительстве линий и комплексов послеуборочной обработки зерна в хозяйствах региона.

Сельскохозяйственными предприятиями Липецкой и Воронежской областей внедрена фракционная технология послеуборочной обработки зернового вороха, двухаспирационная пневмосистема с последовательным использованием воздушного потока в аспирациях и измененная схема решетной очистки на универсальных зерноочистительных машинах семейства ОЗФ.

Для оценки экономической эффективности использования разработанных машин для сравнения в качестве базовой была взята машина ОЗФ-80 в составе зерноочистительного агрегата производительностью 50 т/ч. Обе машины имеют одинаковую площадь решет 1752 дм². В базовой машине имеется два одинаковых, параллельно работающих решетных стана с двухъярусным расположением решет. Модернизированная машина имеет такую же ширину решетных станов. Верхний стан содержит два яруса с колосовыми решетками и один, установленный с обратным наклоном, с сортировальными. Нижний стан три яруса с сортировальными решетками. Для обеспечения работы пневмосистемы используется вентилятор радиальный ВЦ-14-46-4 с электродвигателем мощностью 7,5 кВт. Повышение производительности воздушно решетной машины до 65 т/ч потребовало замены вспомогательного оборудования, а изменение технологии фракционной очистки установки решетной приставки с подсевными решетками и нории для подачи в неё фуражной фракции.

В таблице 7.2 приведен перечень оборудования и его стоимость. Дополнительные капитальные вложения состоят из затрат на общестроительные работы, стоимости устанавливаемого в линию оборудования и машин, а также затрат на их монтаж и пусковые работы.

Монтаж оборудования составляет в среднем 50% от стоимости машин и оборудования: $C_{мон} = 0,5 \cdot B_m$,

где B_m - балансовая стоимость машин и оборудования, устанавливаемых в линию при реконструкции, руб.

Затраты на общестроительные работы (снятие и установка ограждения фасада, рытье котлована под нории и др.) составляют в среднем 40% от стоимости машин и оборудования: $C_{oc} = 0,4 \cdot B_m$.

Таблица 7.2 - Стоимость машин и оборудования

Марка оборудования или машины	Базовый вариант	Новый вариант
	Стоимость оборудования, руб.	Стоимость оборудования, руб.
ОЗФ-80	1050000,0	
Нория загрузочная НПК-50 (14 м).	237920,0	
Разработанная машина (65т/ч)		1750000,0
НЗ -50 (50 т/ч)	242000,0	
Нория зерновая НЗ-14 (14м, 100 т/ч)		584000,0
Нория промежуточная НПК-50 (8 м)	155000,0	155000,0
Нория промежуточная НЗ-8 (100т/ч)		365500,0
Комплект зернопроводов	57000,0	57000,0
Установленная мощность машин, кВт	19,2	11,5
Установленная мощность агрегата, кВт	39,8	38,6
Решетная приставка РП -50		562500,0
Итого		2346500,0

Дополнительные капитальные вложения в реконструкцию агрегата составят: $K_{дон} = B_m + C_{мон} + C_{oc}$,

В таблице 7.3 представлена необходимая исходная информация для выполнения расчетов.

Показатели экономической эффективности определяли согласно общепринятой методике. Расчет разницы эксплуатационных издержек по базовому и новому варианту состоит из разницы стоимости электроэнергии, затрат на амортизационные отчисления и затрат на техническое обслуживание и ремонт.

Расчет разницы амортизационных отчислений проводим по выражению: $A_m = K_{дон} \cdot N_a$,

где $K_{дон}$ – дополнительные капитальные вложения, руб; N_a - годовая норма амортизации, %.

Разницу затрат на ремонт, ТО, хранение техники определяем по формуле: $P_m = K_{\text{дон}} \cdot N_p$,

где N_p - норма отчислений на ТО, ремонт, хранение, %.

Таблица 7.3 - Исходные данные и нормативы для расчета

Показатели	Базовый вариант	Новый вариант
Число обслуживающего персонала	1	1
Дополнительные капитальные вложения, руб.		8916700
Объем обрабатываемого вороха, т	9600	15600
Производительность при очистке (с учетом других культур), т/ч	50	65
Чистота зерна, %	95	97
Выход товарного зерна 3-го класса, т	4225	5280
Цена 1 т товарного зерна 3-го класса, руб/т	9700	9700
Выход товарного зерна 4-го класса, т	4225	5280
Цена 1 т товарного зерна 4-го класса, руб/т	8900	8900
Выход зерна 5-го класса (фуражного), т	450	705
Цена 1 т фуража, руб/т	8600	8600
Потребляемая мощность, кВт	39,8	38,6
Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб	5,2	5,2
Продолжительность работы при очистке зерна, ч	240	240
Уровень оплаты труда механика агрегата, руб/(чел.ч)	237,5	237,5

Экономию затрат на электроэнергию определяем по формуле:

$$C_9 = N_B \cdot C_9 \cdot T_B - N_n \cdot C_9 \cdot T_n,$$

где N_B, N_n - установленная мощность агрегата в базовом и модернизированном варианте, кВт; T_B, T_n - время работы агрегата в базовом и модернизированном вариантах, ч.

Расчет дополнительных эксплуатационных издержек проводим по выражению: $\mathcal{E}_u = I_{\phi} - I_m = -A_m - P_m + C_9$.

Расчет показал, что замена машины и оборудования требует больше эксплуатационных затрат по сравнению с агрегатом в базовой комплектации.

Определим разницу в стоимости продукции после её реализации между модернизированным и базовым вариантом по формуле.

$$\Delta V = B_m \cdot C_{m2} - B_o \cdot C_{m1} + (B_{\phi m} - B_{\phi o}) \cdot C_{\phi},$$

Годовой экономический эффект определяем по формуле: $\mathcal{E}_r = \Delta V + \mathcal{E}_n$.

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений по формуле: $T_{ок} = -\frac{\ln(1 - K_{доп} \cdot NS / \mathcal{E}_r)}{\ln(1 + NS)}$,

где NS - ставка банковского процента ($NS=18\%$).

Результаты расчетов сведем в таблицу 7.4.

Таблица 7.4 Экономическая эффективность реконструкции линии товарной очистки с машиной ОЗФ-80

Показатели	базовый	модернизированный
Марка машины	ОЗФ-80	
Производительность, т/ч	50	65
Выход зерна, т	9800	10818
а) товарного, т	9350	10312
б) фуражного, т	450	505
Стоимость продукции, руб.	83215000,0	101057600,0
Дополнительные эксплуатационные затраты, руб.	-	2232853,1
Годовой экономический эффект, руб.	-	7194747
Дополнительные капитальные вложения, руб.	-	8916700,0
Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет	-	1,87

Расчет экономической эффективности показал, что замена машины ОЗФ-80 в линии на разработанную машину производительностью 65 т/ч приведет к увеличению эксплуатационных затрат более чем на 2,2 млн. рублей. Увеличение производительности потребовало замены вспомогательного (транспортирующего) оборудования и установки дополнительно решетной приставки. Экономический эффект получен за счет выхода дополнительной продукции и составляет более 7 млн. руб.

Заключение

1. В результате моделирования, на основе вероятностного подхода и применения методов анализа и синтеза установлено, что повышение скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки с 5,8 м/с до 7,9...8,0 м/с одновременно с повышением доли сортировальных решет в станах с 33% до 70% увеличивает производительность более чем в два раза при общей полноте выделения фуражных фракций не менее 0,6.

2. Получены математические зависимости, позволяющие прогнозировать взаимосвязь качественных показателей очистки зерна с параметрами исходного зернового вороха, полнотой разделения на фракции решетной очистки и пневмосистемой машин.

3. Математическое моделирование движения воздушного потока в пневмосистеме с использованием конечно-объемного метода решения уравнений гидродинамики на прямоугольной адаптивной сетки позволило обосновать размеры осадочных камер: канала дорешетной очистки - глубина 0,5...0,55 м, длина 0,85...1,0 м, длина отражательной перегородки до 0,05 м; канала послерешетной очистки: глубина 0,6...0,75 м, длина до 0,9 м, длина отражательной перегородки до 0,24 м.

4. В результате моделирования и экспериментальных исследований определены рациональные параметры ввода вороха в горизонтальный канал дорешетной аспирации вбрасывающим устройством: угол вбрасывания вороха в горизонтальный воздушный поток канала дорешетной аспирации при попутном вводе $45...60^{\circ}$; при встречном – $125...145^{\circ}$; расстояние между осью вбрасывающего барабана и стенкой, разделяющей осадочную камеру на секции при попутном вводе 0,48...0,54 м; при встречном – 0,1...0,05 м; скорость вбрасывания вороха 1,1...2,5 м/с; длина поворотного клапана 0,1...0,13 м.

5. Вертикальный канал послерешетной аспирации глубиной 0,18...0,24 м при подаче вороха колеблющейся рамкой с опорной сеткой целесообразно разделить перегородкой высотой 0,58...0,65 м на две зоны: предварительную

и основную. Предварительная зона должна составлять 15...20% от общей глубины, и иметь переднюю стенку, установленную с отклонением в сторону решетного стана под углом 10...12°. Полнота выделения компонентов вороха пневмосистемой увеличивается на 6,4...10,4%.

6. Очистка зерна на товарные цели обеспечивается двухаспирационной пневмосистемой с последовательным использованием воздушного потока в канале послерешетной аспирации глубиной 0,18 м и дорешетной аспирации глубиной 0,24 м при удельной подаче вороха до 3,96 т/(ч·дм) и затратах электроэнергии 0,218...0,076 кВт·ч/т.

Аналогичная полнота выделения при подаче вороха до 6,48 т/(ч·дм) обеспечивается двухаспирационной пневмосистемой с каналами глубиной 0,24 м и затратах электроэнергии 0,328...0,078 кВт·ч/т.

7. Установка в ярусе сортировальных решет длиной 2,85...2,97 м обеспечивает допустимую удельную нагрузку 68...75 кг/(ч·дм²) при полноте разделения 60% и 50...57 кг/(ч·дм²) при длине сортировальных решет в ярусе 1,48...2,22 м. Очистка зерна на семенные цели с полнотой разделения 80% возможна при удельной нагрузке не более 38...43 кг/(ч·дм²) и 28...32 кг/(ч·дм²) соответственно.

8. Решетные станы универсальных машин рационально комплектовать двумя типами решет: колосовыми с долей до 30% общей площади и сортировальными (фракционными). Предпочтение следует отдавать их расположению в отдельных ярусах с подачей основной фракции на начало сортировальных решет.

Площадь решет и расход воздуха пневмосистемой определяются исходя из требуемой производительности и установленных удельных показателей. При необходимости выделение отходовой фракции из фуража может проводиться на серийно выпускаемой решетной приставке, оборудованной подсевными решетками.

9. Фракционная технология обработки зернового вороха, реализуемая машинами, позволяет увеличить производительность товарной очистки в

1,6...2,0 раза и минимизировать количество механических воздействий на фракцию основного назначения.

Годовой экономический эффект при использовании машины производительностью 65 т/ч в линии товарной очистки по сравнению с машиной ОЗФ-80 составит более 7 млн. руб. при ориентировочной стоимости машины 1 750 000 рублей.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Результаты представленных научных исследований могут быть использованы при разработке и создании универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин, проектировании и строительстве поточных линий, реконструкции существующих машин и агрегатов послеуборочной обработки зерна.

Перспективой дальнейшей разработки темы являются исследования, связанные с моделированием движения компонентов вороха в пневмосистеме с учетом их взаимодействия и влияния на воздушный поток, как несущую среду. Такое моделирование позволит существенно сократить объем экспериментальных исследований и ускорит создание новых рабочих органов машин. Дальнейших исследований требуют вопросы, связанные с повышением эффективности работы плоских решет в решетных станах (углы наклона, вид привода, кинематический режим работы).

Список условных обозначений

m_b, m_v - среднее значение (математическое ожидание) толщины, мм, скорости витания, м/с;

σ_b, σ_v - среднеквадратическое отклонение толщины, мм, скорости витания, м/с;

Sk_b, Sk_v - статистическая асимметрия толщины; скорости витания;

E_b, E_v - эксцесс толщины; скорости витания;

r_{bv} - коэффициент корреляции толщины и скорости витания;

χ^2 - критерий Пирсона;

$\Phi(x)$ – интегральная нормальная функция распределения или функция Лапласа;

s - число наложенных связей;

$P\{b_i > b_c; V_i < V_k\}$ - вероятность содержания компонентов вороха;

P_{vd} - вероятность выделения компонентов вороха в канале дорешетной аспирации;

P_{bn} - вероятность выделения компонентов вороха подсевными решетками;

P_{bc} - вероятность выделения компонентов вороха сортировальными решетками;

P_{vn} - вероятность выделения компонентов вороха в канале послерешетной аспирации.

$\varepsilon_p, \varepsilon_v$ - полнота разделения решетом, воздушным потоком;

Q_e - общий расход воздуха двухаспирационной пневмосистемой, м³/ч;

Δp - потери полного давления, или сопротивление пневмосистемы, Па

N_b – мощность на привод вентилятора, кВт;

d_n, d_d - эквивалентные гидравлические диаметры каналов послерешетной и дорешетной очисток, м;

V_n, V_d - скорости воздушного потока в каналах послерешетной и дорешетной очисток, м/с;

P_o^n - полный напор или разряжение во входном всасывающем окне канала послерешетной очистки, Па;

ΔP_c - потери статического давления или статическое сопротивление пневмосистемы, Па;

$P_{дин}^n$ - динамический напор в канале послерешетной очистки, Па;

ΔP_{oc}^n - сопротивление опорной подающей сетки на входе в канал послерешетной очистки, Па;

$\Delta P_{сл}^n$ - сопротивление слоя зернового вороха в канале послерешетной очистки, Па;

$\Delta P_{ок}^n$ - сопротивление осадочной камеры пневмосистемы послерешетной очистки, Па;

$R_{он}, R_{ов}$ - наружный и внутренний диаметры питателя, м;

$h_я$ - глубина ячейки, м;

$W_я$ - суммарный объем ячеек, м³;

f - коэффициент трения зернового вороха о поверхность шипа питателя;

R_i - текущий радиус расположения частицы вороха, м;

V_{Ri} - скорость перемещения частицы вороха в радиальном направлении, м/с;

θ_i - центральный текущий угол положения частицы вороха в момент выброса из ячейки, рад;

φ_{1i} - угол поворота питателя за время достижения частицей вороха внешнего радиуса, рад;

ψ_i - угол между абсолютной и относительной скоростью частицы вороха, рад.

- δ – толщина шипа или его диаметр, м;
 z – количество шипов на питателе в одном ряду, шт;
 γ – объемный вес зернового вороха, кг/м³,
 k_z – коэффициент полноты заполнения питателя;
 L_6 – длина питателя или ширина пневмосистемы, м;
 $h_{ш}$ – высота шипа, м;
 z_p – количество рядов шипов на питателе;
 β – коэффициент объемной концентрации вороха;
 $d_{эi}$ – эквивалентный гидравлический диаметр i -частицы вороха, м;
 ρ – плотность среды, кг/м³;
 c – вектор скорости;
 F – вектор массовых сил;
 p – давление, Па;
 μ – динамическая вязкость, Па с;
 Δ – оператор Лапласа;
 ψ – коэффициент аэродинамического сопротивления тела несферической формы;
 S – площадь проекции тела на плоскость перпендикулярную скорости относительного перемещения (миделево сечение), м²;
 $\vec{u}$ – вектор скорости относительного перемещения частицы в среде, м/с.
 k_{ni} – коэффициент парусности i - частицы вороха;
 m_i – масса i - частицы вороха, кг.

Список литературы

1. Абидуев, А.А. Интенсификация процесса сепарации семенного зерна [Текст] / А.А. Абидуев. - Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2001. – 131 с.
2. Абидуев, А.А. Обоснование технологии очистки семян пшеницы [Текст] / А.А. Абидуев, Ал.А. Абидуев. – Вестник ВСГТУ.- Улан-Удэ, 2011.- №4(35). - С. 86-90.
3. Абидуев, А.А. Совершенствование процесса очистки семенного зерна [Текст] / А.А. Абидуев. – Улан-Удэ: Изд-во ФГОУ ВПО БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2010. – 102 с.
4. Авдеев, А.В. Перспективы механизации послеуборочной обработки зерна [Текст] / А.В. Авдеев // Тракторы и с.-х. машины. – 2001. - №5. – С. 18-23.
5. Авдеев, А.В. Повышение эффективности зерноочистительно-сушильных комплексов [Текст] / А.В. Авдеев, М.Ф. Машковцев, В.Н. Полуэктов // Тракторы и с.-х. машины. – 1988. - № 12. – С. 27-29.
6. Агарков, В.И. Высококачественные семена – по новой технологии [Текст] /В.И. Агарков, А.В. Коновалов // Сельский механизатор. – 2006. – №5. – С. 9.
7. Агарков, В.И. Тип машин для выделения семян повышенной биологической ценности [Текст] /В.И. Агарков, А.В. Коновалов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – №3. – С. 37-38.
8. Агро-Вигс, Научно-производственная компания [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Украина: Харьков, 2012. - Режим доступа: <http://agro-vigs.com/>. (дата обращения: 01.08.2014).
9. Агротек, ОАО промышленная группа [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Воронеж, 2013. - Режим доступа: http://www.agrtek.ru/product/grain_cleaning. (дата обращения: 01.08.2014).

10. Алешкин, А.В. Методы математического моделирования процессов разделения и измельчения растительных материалов для повышения эффективности функционирования технических средств послеуборочной обработки зерна и кормоприготовления [Текст]: автореф. дис. ... док. техн. наук: 05.20.01 /Алешкин Алексей Владимирович: - Киров, 2001. – 42с.
11. Альфа - Трейд, ОАО [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Новосибирск, 2013. – Режим доступа: <http://www.alfatreid.ru/>. (дата обращения: 03.08.2014).
12. Алямовский, А.А. Solid Works 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А.А. Алямовский [и др.]. — СПб.: БХВ-Петербург, 2008. — 1040 с.
13. Алямовский, А.А. Инженерные расчеты в Solid Works Simulation [Текст]/ А.А. Алямовский. - Москва: ДМК Пресс, 2010. - 464 с.
14. Андреев, В.Л. Повышение эффективности очистки семян зерновых культур в условиях евро-северо-восточного региона путём разработки и совершенствования технологий и воздушно-решётных машин [Текст]: автореф. дис. ... док. техн. наук: 05.20.01 /Андреев Василий Леонидович. - Киров, 2005. – 40с.
15. Анискин, В.И. Механизация послеуборочной обработки зерна и подготовки семян [Текст] / В.И. Анискин, В.П. Елизаров, А.Н. Зюлин // Техника в сел. хозяйстве. – 1999. - № 6. – С. 43-46.
16. 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.
17. Анискин, В.И. Повреждение семян зерновых культур при машинной обработке [Текст] / В.И. Анискин, В.М. Дринча, И.А. Пехальский // Вестн. с.-х. науки. – 1992. - № 1. – С. 99-105.
18. Анискин, В.И. Развитие зерноочистительной техники [Текст] / В.И. Анискин, А.Н. Зюлин // Тракторы и с.-х. машины. – 2005. - № 1. – С. 6-8.

19. Анискин, В.И. Классификация пневмосепараторов зерновых материалов [Текст] / В.И. Анискин, В.М. Дринча// Достижения науки и техники АПК. - 1993. - № 4. - С. 22-23.
20. Анискин, В.И. О повышении качества семян способами послеуборочной и предпосевной обработки [Текст] / В.И. Анискин // Сб. науч. тр. ВИМ. - М., 1987. - Т.112.- С. 3-19.
21. Аристов, С.А. Математическое моделирование работы поточных линий послеуборочной обработки зерна [Текст] /С.А. Аристов, В.В. Бледных // Вестник Челябинского агроинженерного университета. – Челябинск, 1993, С.36-42.
22. Аристов, С.А. Повышение эффективности работы пневмоинерционных сепараторов зернового вороха [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/ Аристов Сергей Анатольевич . - Челябинск, 1987. – 17 с.
23. Бабуха, Г.Л. Взаимодействие частиц полидисперсного материала в двухфазных потоках [Текст] / Г.Л. Бабуха, А.А. Шрайбер. – Киев: Наукова думка, 1972. – 176 с.
24. Бабченко, В.Д. Высокопроизводительные машины для очистки зерна [Текст]/ В.Д. Бабченко, А.М. Корн, А.С. Матвеев. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1982. – 50с.
25. Бадретдинов, И.Д. Модель процесса работы диаметрального вентилятора во вращающейся системе координат [Текст] /И.Д. Бадретдинов// Материалы международной научно-практической конференции «Инновационному развитию агропромышленного комплекса – научное обеспечение». Часть I. – Уфа: ФГОУ ВПО Башкирский ГАУ, 2012. – С.326-328.
26. Бадретдинов, И.Д. Совершенствование пневматической системы машины предварительной очистки зернового вороха [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук:05.20.01 / Бадретдинов Ильдар Дамирович. – Уфа, 2011. – 20 с.

27. Бартон, Л. Хранение семян и их долговечность [Текст] / Л. Бартон; пер. с англ. А.Б. Линник; под ред. Л.Н Любарского. – М. : Колос, 1964. – 240 с.
28. Бодртдинов, А.З. Послеуборочная обработка зерна и семян [Текст] / А.З. Бодртдинов. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2001. – 82 с.
29. Бурков, А.И. Аспирационная пневмосистема семяочистительной машины [Текст] / А.И. Бурков, Б.Г. Плехов // Тракторы и сельхозмашины. – 1991. - №10.- С.31 - 33.
30. Бурков, А.И. Зерноочистительные машины: конструкция, исследования, расчет и испытания [Текст] / А.И. Бурков, Н.П. Сычугов // НИИСХ Северо-Востока. – Киров, 2000. – 261 с.
31. Бурков, А.И. Машины для послеуборочной обработки семян трав [Текст] / А.И. Бурков, Н.Л. Конышев, О.П. Рощин. – Киров.: НИИСХ Северо-Востока, 2003. – 208с.
32. Бурков, А.И. Ресурсосберегающие машины для послеуборочной обработки семян [Текст] / А.И. Бурков, В.Л. Андреев, О.П. Рощин // Сб. науч. тр./ ВИМ. – 2003. – Т. 148. – С. 162-171.
33. Бурков, А.И. Технология очистки семян зерновых культур с фракционированием на решетках и отдельной обработкой воздушным потоком [Текст] / А.И. Бурков, В.Л. Андреев // Науч. тр. / ВИМ. – 2002. – Т.141. - С. 103-111.
34. Бурков, А.И. Машина для пневмофракционной технологии обработки зернового вороха [Текст] / А.И. Бурков, А.Л. Глушков, В. Е. Саитов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2008. - № 11. - С. 3-6.
35. Быков, В.С. Повышение производительности плоских решет [Текст] / В.С. Быков// Механизация и электрификация с.-х. - 1991. - №1. - С.58-59.
36. Быков, В.С. Влияние длины подвесок на работу плоского решета [Текст] / В.С. Быков // Техника в сельском хозяйстве. – 1995. - № 1. – С. 29.

37. Васильев, Н.Ф. Совершенствование технологии фракционной обработки зернового материала в условиях Забайкалья [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.01 / Николай Федотович Васильев. – Улан – Уде, 2006. – 24 с.
38. Власов, А.У. Роль и задачи питающих устройств в работе зерноочистительных машин [Текст] / А.У. Власов // Интенсификация процессов послеуборочной обработки зерна: Тр.ЧИМЭСХ. – Челябинск. - 1974. – С.18 – 23.
39. Влияние конструкции канала второй аспирации на показатели работы машины ОЗФ-80 [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.]//Механизация и электрификация.- 2008.-№10. – с.7-9.
40. Влияние современных зерноочистительных машин и оборудования на качество семян и выбор наиболее перспективных для разработки или реконструкции семяочистительных линий (рекомендации) [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.]// Главное управление аграрной политики Воронежской области/ ФГОУ ВПО ВГАУ.- Воронеж, 2008.- 33с.
41. Влияние схемы размещения решет в решетном стане на фракционирование зернового вороха [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.] //Техника в сельском хозяйстве. – 2006.-№3. –с.32-34.
42. Воронежмельсервис, ООО, научно-производственная фирма [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Воронеж, 2012 – Режим доступа: <http://www.vmels.com/>(дата обращения: 03.08.2014).
43. Воронежсельмаш, ОАО [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Воронеж, 2013.- Режим доступа: <http://www.vselmash.ru/catalog>. (дата обращения: 03.08.2014).
44. Выбор параметров шариковой очистки решет [Текст] / Тарасенко А.П. [и др.] // Тракторы и с.-х. машины. – 2006. - № 3. – С. 34-35.
45. Выбор решет для обработки зернового вороха машинами семейства ОЗФ [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.]//Механизация и электрификация.- 2008.-№10. – с.26-27.

46. Галкин, А.Д. Методы и средства повышения эффективности послеуборочной обработки зерна и семян (для хозяйств Среднеуральского региона) [Текст] /А.Д.Галкин, В.Д. Галкин, А.М. Гузаиров. - Пермь, 2001. - 84 с.

47. Гарипов, Н.Э. Полевая всхожесть семян сортов яровой пшеницы в зависимости от способов сортировки семян [Текст] /Н.Э. Гарипов// Научное обеспечение устойчивого ведения сельскохозяйственного производства в условиях глобального изменения климата: материалы международной научно-практической конференции. – Казань: Фолиантъ. – 2010. – с. 85-88.

48. Гиевский, А.М. Снижение энергозатрат на работу двухаспирационной пневмосистемы [текст]/ А.М. Гиевский// Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2016. - № 1. - С. 2 – 4.

49. Гиевский, А.М. Исследование работы диаметрального вентилятора в пневмосистемах машин серии ОЗФ [Текст] / А.М. Гиевский //Механизация и электрификация.- 2008.-№6. – с.35-36.

50. Гиевский, А.М. Качественные показатели работы двухаспирационной пневмосистемы зерноочистительной машины с одним воздушным потоком [текст]/ А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. - № 9. - С. 15 – 17.

51. Гиевский, А.М. Обоснование параметров двухаспирационной пневмосистемы с последовательным обслуживанием одним воздушным потоком [Текст] /А.М. Гиевский // Вестник воронежского государственного аграрного университета. – 2013.- №1(36). - С. 90-97.

52. Гиевский, А.М. Обоснование параметров наклонного пневмосепарирующего канала первой аспирации машин серии ОЗФ [Текст] / А.М. Гиевский, А.И. Королев// Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте// Межв.сб.науч.тр.- Вып. 3. - ГОУ ВПО ВГЛТА.- Воронеж, 2008.- с.91-98.

53. Гиевский, А.М. Обоснование схемы размещения и соотношения решет в решетных станах [Текст] /А.М. Гиевский, В.И. Оробинский, А.В. Чернышов//Лесотехнический журнал. – 2013. - №3. – С. 36-46.
54. Гиевский, А.М. Пневмосистема зерноочистительной машины с одним воздушным потоком [Текст]/ А.М. Гиевский // Техника в сельском хозяйстве.- 2012.-№4. – с. 2-4.
55. Гиевский, А.М. Повышение эффективности работы двухаспирационной пневмосистемы универсальной воздушно – решетной зерноочистительной машины [Текст]/ А.М. Гиевский [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2014.- № 5.- с. 32 – 34.
56. Гиевский, А.М. Повышение эффективности работы канала послерешетной очистки [текст]/ А.М. Гиевский, А.А. Никульников //Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (Россия, Воронеж 26-27 ноября). – Ч.111. – Воронеж. ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. 2015. - С. 272-279.
57. Гиевский, А.М. Результаты исследования гравитационного распределителя зерноочистительной машин/ А.М. Гиевский, В.И. Оробинский, А.И. Королев, А.А. Сундеев// Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (Россия, Воронеж, 25 декабря 2015 г.). – Ч. II. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2015. – С.266-271.
58. Гиевский, А. М. Совершенствование пневмосепарирования зерна машинами серии ОЗФ [Текст] /А.М. Гиевский //Механизация и электрификация.- 2008.-№10. – с.5.

59. Глебов, И.Т. Аспирационные и транспортные пневмосистемы деревообрабатывающих предприятий [Текст] /И.Т. Глебов, В.Е. Рысев.– Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2004. – 180 с.
60. Глотов, В.П. О снижении механических повреждений зерна на поточной линии [Текст] / В.П. Глотов // Науч.-техн. бюл. / ВИЭСХ. – 1969. - № 2(8). – С. 32-36.
61. Гончаров, И.С. Относительная производительность решет [Текст] / И.С. Гончаров // Тр. ВИМ. «Совершенствование послеуборочной обработки и хранения зерна в колхозах и совхозах», - М., 1984, т.100, С.63-68.
62. Гортинский, В.В. Процессы сепарации на зерноперерабатывающих предприятиях [Текст] /В.В. Гортинский, Р.Б Демский., М.А. Борискин - М.: Колос, 1980. - С. 257-285.
63. ГОСТ Р 52325 - 2005 Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия [Текст]. - введ. 2006.01.01. -М.: Изд-во стандартов, 2005. – 16 с.,
64. ГОСТ Р 52554 – 2006 Пшеница. Технические условия [Текст]. - введ. 2007.07.01. - М.: Стандартиформ, 2006. – 10 с.,]
65. Грубов, К.А. Определение оптимальной производительности вибропневмосепаратора усовершенствованной конструкции [Текст] / К.А. Грубов, В.А. Хандриков// Инновационному развитию АПК – научное обеспечение, Международная науч.-практическая конф. -Ч. 1:– : Пермь : Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2010. – С. 266-268.
66. Двухаспирационные зерноочистительные машины [Текст] / Тарасенко А.П. [и др.] //Техника и оборудование для села.- 2006. - №8.- с. 20-22.
67. Демский, А.Б. Основные направления совершенствования пневмосепарирующего зерноочистительного оборудования [Текст] / А.Б. Демский, В.Ф. Веденьев. - М.: ЦНИИТЭлегпищемаш. - 1978. – 73с.
68. Дондоков, Ю.Ж. Проблемы создания универсальных зерно - семяочистительных машин [Текст] / Ю.Ж. Дондоков // Тракторы и сельхоз-машины. 2002. - № 4.– С.30 - 31.

69. Дондоков, Ю.Ж. Совершенствование каскадного решетного сепаратора как универсальной зерно-семяочистительной машины [Текст] / Ю.Ж. Дондоков // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. «Экологическая безопасность, сохранение окружающей среды и устойчивое развитие регионов Сибири и Забайкалья», – Улан-Удэ, 2002, С. 171-175.
70. Дринча, В.М. Предварительная очистка зерна в фермерских хозяйствах [Текст] / В.М. Дринча, И.А. Пехальский // Тракторы и с.-х. машины. – 1977. - №10. – С. 22-23.
71. Дринча, В.М. Совмещение операций при очистке зерновых материалов [Текст] / В.М. Дринча, И.А. Пехальский, М.В. Пехальская // Тракторы и с.-х. машины. – 1996. - № 10. – С. 16-18.
72. Дринча, В.М. Технология и комплекс машин для очистки зерна и семян [Текст] / В.М. Дринча, Л.М. Суконин // Земледелие. – 1997. - № 3. – С. 34-35.
73. Дринча, В.М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки [Текст] / В.М. Дринча. – Воронеж: Издательство НПО «МОДЭК», 2006. – 384 с.
74. Дринча, В.М. Качество зернового материала и эффективность послеуборочной обработки [Текст] / В.М. Дринча, И.Г. Зубаилов // Тракторы и сельхозмашины. 2002. - № 9.– С.31 - 34.
75. Дринча, В.М. Основы подготовки высококачественных семян [Текст] / В.М. Дринча // Вестник семеноводства в СНГ. – 1997. - №4. - С. 36-37.
76. Дринча, В.М. Проблемы и перспективы использования агрегатов ЗАВ и комплексов КЗС [Текст] / В.М. Дринча и др. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2002. - № 3. - С. . 31-33.
77. Дрогалин, К.В. Очистка семян от трудноотделимых примесей [Текст] / К.В. Дрогалин. - М.: Колос, 1978. – 126с.

78. Дьяченко, Н.Н. Математическая модель течения полидисперсного ансамбля твердых частиц в ускоряющихся потоках [Текст] / Н.Н. Дьяченко, Л.И. Дьяченко//Вестн. Томск. гос. ун-та: Матем. и мех. - Томск, 2010.- №3.-С. 95-99.
79. Евтягин, В.Ф. Фракционирование зерновых материалов [Текст] / В.Ф. Евтягин, С.П. Прокопов // Использование и обеспечение работоспособности машин и оборудования в сел. хоз-ве Зап. Сибири : тр. / Омск. гос. аграр. ун-т. – Омск, 1996. – С. 77.
80. Елизаров, В.М. Современные средства предварительной очистки зерна [Текст] /В.М. Елизаров, А.С. Матвеев// Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1986. - № 8. - С. 60-64.
81. Еременко, И.Ф. Изменение параметров воздушного потока по длине зерновой струи [Текст] /И.Ф. Еременко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1981. - № 3. - С. 18-20.
82. Ермольев, Ю.И. Интенсификация технологических операций в воздушно-решетных зерноочистительных машинах [Текст] / Ю.И. Ермольев. – Ростов-н/Д, 1998. – 494 с.
83. Ермольев, Ю.И. Новые технологии очистки семян на базе универсального зерноочистительного агрегата [Текст] / Ю.И. Ермольев, М.В. Шелков, А.В. Бутовченко// Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2007. - №9. - С. 14-15.
84. Ермольев, Ю.И. Перспективные технологии и технические средства для очистки зерна [Текст] / Ю.И. Ермольев // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2002. – № 6. – С. 28-29.
85. Ермольев, Ю.И. Фракционные технологии семенной очистки зерна [Текст] / Ю.И. Ермольев, М.В. Шелков, М.Н. Московский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2005. - № 6 - С. 23-25.
86. Ермольев, Ю.И. Моделирование процесса функционирования зерноочистительного агрегата [Текст] /Ю.И. Ермольев, М.Ю. Кочкин// Вестник ДГТУ. – 2007. - Т 7. - №4(35). - С.407-417.

87. Ермольев, Ю.И. Модельное прогнозирование показателей функционирования воздушно-решётной зерноочистительной машины от роста эффективности операции пневмосепарации [Текст] / Ю.И. Ермольев, А.В. Бутовченко, А.А. Дорошенко // Вестник Донского государственного технического университета. - 2014. - Т 14.- № 1(76). - С. 122-134.

88. Ермольев, Ю.И. Перспективы развития технологий и технических средств очистки зерна [Текст] / Ю.И. Ермольев // Инновация, экология и ресурсосберегающие технологии (ИнЭРТ-2012): Труды X Международного научно-технического форума. — Ростов н/Д: ИЦ ДГТУ, 2012. — С.235-245.

89. Ермольев, Ю.И. Фракционная очистка зерна в зерноочистительном агрегате [Текст] / Ю.И. Ермольев, М.Ю. Кочкин, Г.И. Лукинов // Сб. трудов. Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения. - Ростов н/Д. - 2010. - С.89-93.

90. Еров, Ю.В. Ассоциация «Элитные семена Татарстана» - итоги работы за 10 лет [Текст] / Ю.В. Еров. // Достижения науки и техники АПК. - 2007.- № 11 - С. 21-22.

91. Еров, Ю.В. Высококачественные семена, получаемые на пневмосортировальной машине СМВО – основа стабильного и высокого урожая зерна [Текст] / Ю.В. Еров, Д.З. Салахияев, 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.

92. Еров, Ю.В. Новая система семеноводства зерновых, зернобобовых и крупяных культур в Республике Татарстан [Текст] / Ю.В. Еров. // Достижения науки и техники АПК.- 2007.- № 11 - С. 22-25.

93. Жалнин, Э.В. Координационный совет по механизации уборки и обработки зерна - история, проблемы, перспективы [Текст] / Э.В. Жалнин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2002. - № 6. - С. 2-6.

94. Жолобов, Н.В. Исследование работы пневмосепарирующего канала переменного сечения [Текст] / Н.В. Жолобов, Б.Ю. Блинов// Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2011. - №5. - С.6-8.
95. Жолобов, Н.В. Пневмосепаратор зернового материала [Текст] / Н.В. Жолобов, Б.Ю. Блинов// Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2009. - №4. - С.13-16.
96. Заика, П.М. Динамика вибрационных зерноочистительных машин [Текст] /П.М. Заика.- М.: Машиностроение, 1977. - 278с.
97. Зевелев, Б.В. К обоснованию структурных схем технологии фракционного сепарирования овса и ячменя на элеваторах [Текст] / Б.В. Зевелев, Т.А. Мовсесов, М.Е. Егоров // Сб. науч. тр. / ВНИИЗ. – 1989. – Вып. 113. – С. 116-128.
98. Зерноочистка, ОАО ГСКБ [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Воронеж, 2013. – Режим доступа: <http://www.zernoochistka.ru/oborudovanie/mashinizernoochistitelnie>. (дата обращения: 03.08.2014).
99. Зимин, Е.М. Комплексы для очистки, сушки и хранения семян в Нечерноземной зоне [Текст] /Е.М. Зимин. - М.: Россельхозиздат, 1978. - С. 55-57.
100. Злочевский, В.Л. К разработке аэропленочной технологии разделения зерновых материалов [Текст] / В.Л. Злочевский, Е.А. Есеев //Всесоюзная научная конференция «Пути повышения качества зерна и зернопродуктов, улучшения ассортимента крупы, муки и хлеба». М.:1989. - С.78-80.
101. Злочевский, В.Л. Интенсификация процесса аэродинамического разделения зерновых материалов [Текст] / В.Л. Злочевский // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1984. - № 1. – С. 73-79.
102. Злочевский, В.Л. Пневмосепарация зерна в вихревом воздушном потоке [Текст] / В.Л. Злочевский, А.Х. Тегельбаум //Науч. техн. бюл. Сиб.НИИМЭСХ, - Новосибирск.- 1977.- вып.6-7.- С.71-77.

103. Зюлин, А.Н. Сравнительная оценка качества разделения зернового материала пневмосепарирующими устройствами [Текст] / А.Н. Зюлин, В. Г. Хамуев // Техника в сельском хозяйстве.- №5. – 2008. – С. 23-26.
104. Зюлин, А.Н. Зависимость чистоты зерна от состава исходного вороха при пневмоинерционной сепарации [Текст] / А.Н. Зюлин // Механизация уборки зерновых культур: Тр. / ВАСХНИЛ. М., 1985. - С.35 – 39.
105. Зюлин, А.Н. Математическое описание обобщенного признака разделения зерновых материалов сепаратором [Текст] / А.Н. Зюлин // Сб. науч. тр./ВИМ, 1987 (1988). – Т.115. – С.24 - 41.
106. Зюлин, А. Н. Перспективы механизации послеуборочной обработки и хранения семян [Текст] / А.Н. Зюлин, А.Г. Чижиков // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2002. - № 6. – С.10-14.
107. Зюлин, А.Н. Фракционные технологии очистки семян зерновых [Текст] / А.Н. Зюлин, В.М. Дринча, С.С. Ямпиров // Земледелие. – 1998. - № 6. – С. 39.
108. Зюлин, А.Н. Зависимость чистоты зерна от состава исходного вороха при пневмоинерционной сепарации [Текст] / А.Н. Зюлин // Тр./ВАСХНИЛ. «Механизация уборки зерновых культур», - М.- 1985. - С.35-39.
109. Зюлин, А.Н. Сепарация зерна решетками по интенсивности просеивания [Текст] / А.Н. Зюлин// Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - М.- 1979. - №10. - С.10...12.
110. Зюлин, А.Н. Теоретические проблемы развития технологий сепарирования зерна [Текст] / А.Н. Зюлин.- М.: ВИМ, 1992. - 208 с.
111. Зюлин, А.Н. Обработка мелкого зерносоромистого вороха на пневмоинерционном сепараторе [Текст] / А.Н. Зюлин, Н.А. Смирнов, Г. Н. Поддубный // Науч. - техн.бюл. ВИМ, - М. – 1976. - вып.26. - С.13-14.
112. Иванов, Н.М. Оценка процесса сепарации зерна в цилиндрическом колосовом решете с винтовым распределителем [Текст] / Н.М. Иванов,

В.Р. Торопов, А.А. Сухопаров// Вестник Алтайского государственного аграрного университета.- 2013.- № 6 (104).- С. 88-92.

113. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям: справочное издание [Текст] / И.Е. Идельчик; ред. М.О. Штейнберг. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1992. - 672 с.

114. Идельчик, И.Е. Аэродинамика технологических аппаратов. Подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов: монография [Текст] / И.Е. Идельчик. - М.: Машиностроение, 1983. – 352 с.

115. Инновации в послеуборочной обработке зерна и семян [Текст] / Ю.В. Еров [и др.]. - Казань: «Слово», 2009. 128 с.

116. Исследование признаков делимости семян пшеницы и ячменя [Текст] / В.Д. Бабченко [и др.] / НТБ ВИМ. – М., 1986.- Вып. 64. – С. 44-46.

117. Карпов, Б.А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна [Текст] / Б.А. Карпов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 289 с.

118. Качественные показатели работы машин для вторичной очистки зерна [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.] // Вестник Воронежского ГАУ.- 2010.- №4.- С.43-46

119. Качественные показатели работы машин для первичной очистки зерна [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.]// Механизация и электрификация.- 2009.-№8. – с.2-4.

120. Качественные показатели работы семяочистительного завода «Petkus» [Текст] / А.П. Тарасенко[и др.]//Вестник ВГАУ,- 2009, -№ 2. –с.34-38.

121. Кожуховский, И.Е. Исследование плоских решет при больших загрузках [Текст] / И.Е. Кожуховский //Тр. ВИМ.- М., 1960. - т.28. - С.40...50.

122. Кожуховский, И.Е. Механизация очистки и сушки зерна [Текст] / И.Е. Кожуховский, Г.Т. Павловский. - М.: Колос, 1968, - 440с.

123. Коломеев, П.А. Исследование свойств зернового вороха как объекта сепарирования воздушным потоком [Текст]/ П.А. Коломеев // Тр. ЛСХИ. – Ленинград - Пушкин, 1977. - т.335. - С.49-53.

124. Коновалов, А.В. Разработка и обоснование параметров пневмосепаратора для выделения семян из зерновой массы [Текст] / Александр Владимирович Коновалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. - Пенза, 2008. - 20 с.

125. Концепция развития технического обеспечения промышленного семеноводства зерновых культур на основе машин нового поколения [Текст] / Ю.В. Еров, Д.З. Салахияев, В.Р. Мавлин // Материалы научно-практической конференции. - Центр инновационных технологий. - Казань. - 2007. - С. 8-20.

126. Конченко, Н.Ф. Повышение ориентирующей способности струнного решета [Текст] / Н.Ф. Конченко, А.И. Климок. - // Тр. ЧИМЭСХ. «Послеуборочная обработка зерновых культур», - Челябинск, 1972. - С. 45-49.

127. Королёв, А.И. Оценка работы двойного канала первой аспирации зерноочистительной машины [Текст] / А.И. Королёв // Повышение эффективности использования, надёжности и ремонта сельскохозяйственных машин: Сб. науч. тр. - Воронеж - 2005. - С. 40 - 43.

128. Косилов Н.И. Влияние расслоения потока вороха на качественные показатели работы пневмоинерционного сепаратора [Текст] / Н.И. Косилов, В.В. Романов // Совершенствование уборки зерновых культур : тр. / ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1976. - Вып. 113. - С. 67-73.

129. Косилов, Н.И. Исследование и обоснование параметров сепаратора с противоточной подачей вороха во встречный воздушный поток [Текст] / Н.И. Косилов, В.П. Нилов // Уборка и послеуборочная обработка зерна : тр. / ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1977. - Вып. 131. - С. 62-69.

130. Косилов, Н.И. Модернизация зернотоков на базе пневмоинерционных сепараторов [Текст] / Н.И. Косилов, Д.Н. Косилов, В.В. Волынкин // Достижения науки и техники АПК. - 2006. - № 8. - С. 13-15.

131. Косилов, Н.И. Обеспечение устойчивости движения решётных станков при модернизации зерноочистительных машин [Текст] / Н.И. Косилов, И.П. Лапшин // Техника в сельском хозяйстве. - 2003. - № 6. - С. 12-14.

132. Косилов, Н.И. Основные направления интенсификации процесса разделения зернового вороха в пневмоинерционных сепараторах [Текст] / Н.И. Косилов // Совершенствование уборки зерновых культур: тр. / ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1975. - Вып. 102. - С. 5-13.

133. Косилов, Н.И. Повышение эффективности предварительной очистки за счёт расслоения потока зернового вороха [Текст] / Н.И. Косилов, А.С. Маликов, В.В. Романов // Повышение производительности и качества работы зерноуборочных и зерноочистительных машин: Тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1986. - С.5 – 13.

134. Косилов, Н.И. Разворот частиц эллипсоидной формы на продольных перемычках [Текст] / Н.И. Косилов, И.П. Лапшин // Челябинскому государственному агроинженерному университету - 70 лет : тез. докл. на XL науч.-техн. конф. / ЧГАУ. - Челябинск, 2001. - С. 186-188.

135. Косилов, Н.И. Семена по ранжиру в строй [Текст] / Н.И. Косилов, А.В. Фоминых, В.Г. Чумаков // Сельский механизатор. – 2006. – № 2. – С. 18–19.

136. Косилов, Н.И. Технологические возможности модернизации и создания перспективных поточных линий для послеуборочной обработки зерна [Текст] / Н.И. Косилов, В.В. Пивень // Вестник Челябинского агроинженерного университета. - Челябинск: Изд-во ЧГАУ, 2000. - Т. 31. - С. 28-31.

137. Косилов, Н.И. Технологические принципы повышения производительности сепараторов зернового вороха [Текст] / Н.И. Косилов // Совершенствование технологий и технических средств для уборки урожая и послеуборочной обработки зерна: Тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1987. - С.6 – 13.

138. Косилов, Н.И. Уплотнение зерносоломистого вороха ленточными питающими устройствами пневмоинерционных сепараторов [Текст] / Косилов Н.И., Аристов С.А. // Повышение производительности и качества работы зерноуборочных и зерноочистительных машин : науч. тр. / ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1984. - С.36-43.

139. Косилов, Н.И. Фракционные технологии для сепарирования зернового вороха: монография [Текст] / Н.И. Косилов, А.В. Фоминых. - Куртамыш: Куртамышская типография, 2006. - 153 с.

140. Косилов, Н. Повышение эффективности первичной обработки зернового вороха [Текст] / Н. Косилов, В. Романов, В. Нилов // Техника в сельском хозяйстве. - 1975. - № 7. - С. 15-16.

141. Косилов, Н.И. Влияние крупных компонентов зернового вороха при пневмоинерционной сепарации [Текст]/ Н.И. Косилов, В.В. Волынкин, В. В. Пивень// Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2008. - №3, -С.15-17.

142. Косилов, Н.И. Влияние скорости воздушного потока, скорости и угла вбрасывания на характер движения компонентов зерносоломистого вороха [Текст]/ Н.И. Косилов, С.А. Аристов // Совершенствование способов уборки и послеуборочной обработки зерна: Тр. /ЧИМСХ. – Челябинск, 1979. – Вып.151. – С.40 - 44.

143. Косилов, Н.И. Повышение эффективности предварительной очистки зерна в хозяйствах [Текст] / Н.И. Косилов, В.В. Пивень // Уральские нивы. - 1987. - №3. – С.54 - 55.

144. Косилов, Н.И. Универсальные пневмоинерционные сепараторы [Текст] / Н.И. Косилов [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1989. - № 9. - С. 59-61.

145. Кочкин, М.Ю. Совершенствование процесса сепарации зернового материала в зерноочистительном агрегате [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.01/ Кочкин Максим Юрьевич. - Ростов н/Д, 2010.- 19 с.

146. Красов, В.Д. ГСКБ «Зерноочистка»: 50 лет [Текст] / В.Д. Красов, Н.И. Грабельковский. – Воронеж: Изд-во НПО МОДЭК, 2006. – 192 с.,

147. Креймерман, Г.И. Пути снижения травмирования семян пшеницы при обработке на хлебоприемных и семяперерабатывающих предприятиях [Текст] / Г.И. Креймерман, В.Б. Лебедев.; ЦНИИТЭИ Минзага СССР. – М. , 1971. – 49 с.

148. Кубышев, В.А. Исследование ориентационной способности плоского решета с продолговатыми отверстиями [Текст] / В.А. Кубышев, П.Н. Лапшин, А.И. Климок // Науч.-техн. бюл.: Сиб. отд. ВАСХНИЛ.- Новосибирск. - 1978.- вып.4.- С.3...12.

149. Кузнецов, В.В. Пути уменьшения травмирования семян при эксплуатации зерноочистительных агрегатов [Текст] / В.В. Кузнецов // Пути снижения травмирования семян с.-х. машинами и повышения их качества : сб. науч. тр. / Воронеж. с.-х. ин-т. – Воронеж. - 1983. – С. 121-132.

150. Лапшин, И.П. Расчёт и конструирование зерноочистительных машин [Текст] / И.П. Лапшин, Н.И. Косилов. - Курган: ГИПП "Зауралье", 2002. - 168 с.

151. Лапшин, И.П. Определение точек контакта частиц зерновой смеси с продольными перемычками круглого сечения разного диаметра [Текст] / И.П. Лапшин // Вестник ЧГАУ. - Челябинск. - 2001. - т. 35. - С. 96-98.

152. Лапшин, И.П. Рекомендации по модернизации зерноочистительных машин и реконструкции агрегатов и комплексов в хозяйствах АПК РФ [Текст] / И.П. Лапшин. - Курган: Изд-во КГСХА, 2002. - 36 с.

153. Лапшин, П.Н. Повышение эффективности сепарации на плоских решетах [Текст] / П.Н. Лапшин // Науч. Тр. Омского СХИ. – Омск, 1977. – Т. 177. – С. 18-21.

154. Лебедев, В.Б. Промышленная обработка и хранение семян [Текст] / В.Б. Лебедев. – М. : Агропромиздат, 1991. – 225 с.

155. Липкович, Э.И. Исследование пневмоинерционного сепаратора [Текст] / Э.И. Липкович // Тр. ВНИИПТИМЭСХ. - зерноград, 1975. - Вып. 20. - С. 48-50.

156. Малис, А.Я. Машины для очистки зерна воздушным потоком [Текст] / А.Я. Малис, А.Р. Демидов. – М.: Машгиз, 1962, -176с.

157. Маяцкая И.А. Основные типы поверхностей моделей семян сельскохозяйственных культур, убираемых зернокомбайнами [Текст] / И.А. Маяцкая // Моделирование сельскохозяйственных растительных объектов: Ма-

териалы Всероссийского научно-технического семинара 22-24 сентября 1999 г. – Ростов– на– Дону. - 2001. – с.32–35.

158. Маяцкая, И.А. Определение Миделева сечения растительных объектов различной формы [Текст] / И.А. Маяцкая, Б.М. Демченко// Институт Государственного управления, права и инновационных технологий (ИГУПИТ). - Интернет-журнал «Науковедение» .- ISSN 2223-5167 - №3. – 2013 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/index.php?p=issue-3-13>. (дата обращения: 03.08.2014).

159. Мельинвест, ОАО группа компаний [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Нижний Новгород, 2013 - Режим доступа: http://www.melinvest.ru/catalog/zernoochistitelnoe_oborudovanie. (дата обращения: 03.08.2014).

160. Мельник, Б.Б. Технология приемки, хранения и переработки зерна [Текст] / Б.Б. Мельник, В.Б. Лебедев, Г.А. Винников. - М.: Агропромиздат, 1990. – 367 с.

161. Минаев, В.Н. Исследование профилированных и плоских решет в производственных условиях [Текст] / В.Н. Минаев, Х. Регге // Техника в сельском хозяйстве. – 1991. - №4. – С. 11-12.

162. Миронов, А.В. Расчет траектории движения компонентов зернового вороха в воздушном потоке, состоящем из повернутых струй [Текст] /А.В. Миронов // Тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск.- 1986. - С. 20-24.

163. Моделирование процесса сепарации зернового вороха в вертикальном пневмоканале [Текст] / Ю.И. Ермольев [и др.] // Вестник Донского государственного технического университета.- 2012. -Т 12. - №7(68). - С. 90-98.

164. Моделирование процесса фракционной очистки зерна в зерноочистительном агрегате [Текст] / Ю.И. Ермольев [и др.]// Вестник ДГТУ.- 2010.- т.10. - №3(46). – С.387-395.

165. Модернизация поточных линий для послеуборочной обработки зерна в Челябинской области [Текст] / Н.И. Косилов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. - 2008. - № 2. - С. 3-8.

166. Московский, М.Н. Обоснование различных схем очистки зерноочистительного агрегата, при получении семенного материала в многоотраслевом сельхозпроизводстве [Текст] / М.Н. Московский, А.А. Бойко // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]: электрон. науч.- инновац. журн. – Ростов н/Д – 2013. - № 2. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1599>. (дата обращения: 16.08.2014).

167. Московский, М.Н. Сравнительная оценка макроповреждений зерна пшеницы, при вариации схем семенной очистки в отделении зерноочистительного агрегата [Текст] / М.Н. Московский, А.А. Бойко // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]: электрон. науч.- инновац. журн. – Ростов н/Д – 2014. - № 1. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2264>. (дата обращения: 05.08.2014).

168. Мударисов, С.Г. Численное моделирование движения воздушно-го потока при взаимодействии с зерновой примесью на основе уравнений Навье-Стокса [Текст] / С.Г. Мударисов // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию ФГОУ ВПО Башкирский ГАУ (30 сентября – 1 октября 2010 г.) Часть II. – Уфа: ФГОУ ВПО Башкирский ГАУ/- 2010.- С. 72-77.

169. Мударисов, С.Г. Моделирование движения воздуха в аспирационной системе зерноочистительной машины для предварительной очистки зерна [Текст] / С.Г. Мударисов, И.Д. Бадретдинов // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Научное обеспечение устойчивого функционирования и развития АПК». Часть 1. – Уфа: ФГОУ ВПО «Башкирский ГАУ». - 2009. – С.113-116.

170. Мударисов, С.Г. Оптимизация параметров пневматической системы зерноочистительной машины [Текст] / С.Г. Мударисов, И.Д. Бадретдинов // Механизация сельского хозяйства. – 2011. - №1. - С.6-7.

171. Мяснянкин, К.В. Влияние типа лотков на качество очистки гречихи фотосапаратором [Текст] / К.В. Мяснянкин, А.А. Агеев, А.П. Тарасенко // Техника в сельском хозяйстве. – 2014. - №6. – С. 5-7.

172. Нелюбов, А.И. Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин [Текст] / А.И. Нелюбов, Е.Ф. Ветров. - М.: Машиностроение, 1977, - 192с.

173. Непомнящий, Е.А. Кинетика процесса ориентирования частицы зерновой смеси [Текст] / Е.А. Непомнящий. - Науч. тр. /ВНИИЗ. - М., 1974. - вып.78. - С.99-105.

174. Несиков, А.А. Обоснование и исследование конусного решетного сепаратора для разделения семян по длине [Текст] / А.А. Несиков, А.А. Филатов // Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск. – 1974. - вып. 87. - С.48...54.

175. Нилов, В.П. Исследование и обоснование параметров пневмоинерционного сепаратора для разделения мелкого зернового вороха [Текст] / автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/Нилов Владимир Павлович. - Челябинск, 1981. – 24 с.

176. Обоснование выбора решет для обработки зернового вороха [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.]// Бюлл. Науч. Раб.БГСХА.-Белгород. – 2008. - Выпуск 13. - С.55-63.

177. Обоснование схемы расстановки решет в решетном стане [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.]//Техника в сельском хозяйстве.-2010.-№5. - С. 9-11.

178. Окунев, Г.А. Технологическая линия послеуборочной обработки зерна с делением на потоки [Текст] / Г.А Окунев, В.Г. Чумаков, А.С. Жанахов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2011. – № 9. – С. 18–22.

179. Олейников, В.Д. Агрегаты и комплексы для послеуборочной обработки зерна [Текст] /В.Д. Олейников, В.В. Кузнецов, Г.И. Гозман . - М.: Колос, 1977. - 187 с.

180. Оплетаев, С.И. Реконструкция зерноочистительных агрегатов [Текст] / С.И. Оплетаев, В.Г. Чумаков, Ю.Н. Мекшун, И.В. Шевцов // Сельский механизатор. – 2006. – № 10. – С. 40.

181. Оптимизация конструкции осадочной камеры зерноочистительной машины [Текст] / Н.П. Сычуглов [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2010. - №8. - С.38-41.

182. Опыт организации промышленного семеноводства зерновых культур в современных условиях [Текст] / Ю.В. Еров [и др.]// Достижения науки и техники АПК. - 2005. - № 8.- С. 8-11.

183. Оробинский, В.И. Влияние микроорганизмов и срока хранения на посевные качества семян [Текст] / В.И. Оробинский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. - №11. - С.5 - 6.

184. Оробинский, В.И. Получение полноценного зерна при послеуборочной обработке путем фракционной технологии очистки [Текст] / В.И. Оробинский, А.М. Гиевский// Вестник воронежского государственного аграрного университета. – 2007.- №14. С. 136-146.

185. Оробинский, В.И. Совершенствование технологии послеуборочной обработки семян фракционированием и технических средств для её реализации [Текст]: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 05.20.01/Оробинский Владимир Иванович. – Воронеж, 2007. – 41 с.

186. Оробинский, В.И. Теоретические предпосылки получения полноценного зерна фракционной технологией послеуборочной обработки [Текст] / В.И. Оробинский, А.М. Гиевский // Механизация и электрификация.- 2008.- №5. – С.8-10.

187. Оробинский, В.И. Эффективность работы зерноочистительной машины [Текст] / В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.И. Королев //Механизация и электрификация.- 2008.-№10. – С.10.

188. Панов, А.А. Механические микроповреждения семян зерновых культур при послеуборочной обработке [Текст] / А.А. Панов // Вестн. с.-х. науки. – 1982. - № 5. – С. 66-67.

189. Панов, А.А. Технология послеуборочной обработки семян зерновых культур [Текст] / А.А. Панов. – М. : Колос. 1981. – 145 с.
190. Панов, А.А. Травмирование семян в результате трения [Текст] / А.А. Панов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1980. - № 11. – С. 18-19.
191. Пат. 2469525 Российская Федерация, МПК⁷ A01F 12/44 B07 В 4/02. Двухаспирационная пневмосистема зерноочистительной машины [Текст] / 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.
192. Пат. 2458749 Российская Федерация, МПК⁷ B07 В 4/02. Двухаспирационная разомкнутая пневмосистема зерноочистительной машины с секционным вентилятором [Текст] / А.М. Гиевский, А.А. Сундеев, А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, Е.П. Савин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ВГАУ им. К.Д. Глинки. -№2011108855/03; заявл. 09.03.2011; опубл. 20.08.2012; Бюл.№23. – 4 с. : ил.
193. Пат. 2366518 Российская Федерация, МПК⁷ B07 В 4/02 A01F 12/44. Двухаспирационная система универсальной зерноочистительной машины [Текст] / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.А. Сундеев, А.М. Гиевский, В.В. Шередекин, Н.Н. Николенко; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «СемМаш». - № 2007133781 /03; заявл.10.09.2007; опубл. 10.09.2009; Бюл. № 25. – 3 с. : ил.
194. Пат. 2369081 Российская Федерация, МПК⁷ A01F 12/44 B07 В 4/02. Зерно- и семяочистительный агрегат [Текст] / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «СемМаш». -№2008116961 /12– заявл.28.04.2008 - опубл.10.10.2009; Бюл.№28. – 5 с. : ил.
195. Пат. 2458750 Российская Федерация, МПК⁷ B07 11/06. Приемно-распределительное устройство зерноочистительной машины [Текст] / А.А. Сундеев, А.М. Гиевский, А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.А.Степанова;

заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ВГАУ им. К.Д. Глинки. - №2011108607/03; заявл. 04.03.2011; опубл. 20.08.2012; Бюл.№23. – 4 с. : ил.

196. Пат. 2359756 Российская Федерация, МПК⁷ В0 2 В 1/00В07 В 1/12 В07 В 1/30. Решетный стан зерноочистительной машины [Текст] / А.А. Сундеев, А.М. Гиевский, Д.А. Стешинский, заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ им. К.Д. Глинки.- № 2008114127/13; заявл. 10.04.2008; опубл.27.06.2009. Бюл.№18.- 4 с. : ил.

197. Пат. 2457047 Российская Федерация, МПК⁷ В07 4/00. Способ пневмосепарирования зерновых материалов и устройство для его осуществления [Текст] / А.А. Сундеев, А.П. Тарасенко, А.М. Гиевский, В.И. Оробинский; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ВГАУ им. К.Д. Глинки. - №2010149565/03; заявл. 03.12.2010; опубл. 27.07.2012; Бюл.№21. – 3 с. : ил.

198. Пат. 2169455 Российская Федерация, МПК⁷ А01F 12/44. Сепаратор вороха семян трав [Текст] / А.М. Гиевский, А.Н. Чибисов; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки. - № 9912719/13; заявл. 27.12.1999; опубл. 27.06.01; Бюл. № 18. – 4 с. : ил.

199. Пат. 2404864 Российская Федерация, МПК⁷ В07 11/06. Устройство для гравитационного распределения сыпучих материалов: пат. Рос. Федерация [Текст] / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.А. Сундеев; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "СемМаш". - №2009125893/03; заявл. 06.07.2009; опубл. 27.11.2010; Бюл.№33. – 4 с. : ил.

200. Пат. 2386486 Российская Федерация, МПК⁷ В07 В 1/54. Устройство для очистки решет станом зерноочистительных машин [Текст] / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.А. Сундеев, А.М. Гиевский; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «СемМаш». - №2009104191/03- заявл. 09.02.2009; опубл. 20.04.2010; Бюл.№11. – 4 с. : ил.

201. Пат. 2385777 Российская Федерация, МПК⁷ В07 В 4/02 В02 В 1/02. Устройство для подачи зерновой смеси в пневмосепарирующий канал

[Текст] / А.А. Сундеев, А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ВГАУ им. К.Д. Глинки. -№ 2008142799/13 - заявл.28.10.2008; опубл.10.04.2010; Бюл.№10. – 4 с. : ил.

202. Пат. 2386487 Российская Федерация, МПК⁷ B07 4/02 A01F 12/44. Устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.А. Сундеев, А.М. Гиевский, Р.С. Радченко; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «СемМаш». -№2009104178/03; заявл. 09.02.2009; опубл. 20.04.2010; Бюл.№11. – 5 с. : ил.

203. Патрин, П.А. Предварительная подготовка мелкого зернового вороха на отражающей поверхности перед разделением его в воздушном потоке [Текст] /П.А. Патрин// Совершенствование технических средств послеуборочной обработки зерна. – Новосибирск. - 1987. - С.47- 53.

204. Пятакина, С.П. Исследование работы пневмосепаратора с замкнутым циклом воздуха [Текст] /С.П. Пятакина, Г.А. Гриднева// Тр. ЛСХИ. - Л., 1969. - Вып. 143. - С. 40-43.

205. Перетягин, Е.А. Технология послеуборочной обработки семян подсолнечника [Текст] : автореф. дис.... канд. техн. наук / Перетягин Евгений Алексеевич. – Краснодар, 2009. – 24 с.

206. Пехальский, И.А. Как избежать повреждения семян при очистке [Текст] / И.А. Пехальский, В.М. Дринча, М.В. Пехальская // Тракторы и с. –х. машины. – 1977. - № 7. – С. 23.

207. Пивень, А.В. Обоснование угла ввода зернового вороха в воздушный поток делительных камер пневмоинерционных сепараторов [Текст] / 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.

208. Пивень, В.В. Основные направления совершенствования технологии и техники для послеуборочной обработки зерна [Текст] / В.В. Пивень,

О.Л. Уманская // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. - № 8. – С. 205-208.

209. Пивень, В.В. Совершенствование технологического процесса очистки зерна фракционированием зернового вороха по аэродинамическим свойствам [Текст]: автореф. дис.... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Пивень Валерий Васильевич – Челябинск, 1994. – 48 с.

210. Пивень, В.В. Основные тенденции совершенствования фракционных технологий очистки зерна [Текст] /В.В. Пивень, О.Л. Уманская // Проблемы современной науки и образования. – М. – 2013. - №1(15). – С. 39-42.

211. Пивень, В.В. Пневмообогащение неветяного зернового вороха в попутном воздушном потоке [Текст] /В.В. Пивень // Тр. / ЧИМЭСХ. «Повышение производительности и качества», - Челябинск, 1986, С.30-36.

212. Плаксин, В.Ф. Механические повреждения семенного зерна при пневмотранспорте в зависимости от скорости и длины транспортирования [Текст] / В.Ф. Плаксин // Тр. / Урал. НИИ сел. хоз-ва. – Свердловск, 1970. – Т. IX. – С. 280-286.

213. Подоляко, В.И. К технологии разделения исходного вороха на фракции целевого назначения [Текст] /В.И. Подоляко // Эксплуатация и ремонт машино - тракторного парка: Алтайский СХИ.-Тр. - Новосибирск, 1981. - С.30-35.

214. Применение пакетов прикладных программ при изучении курсов механики жидкости и газа: Учебное пособие / Кондратин Т.В. [и др.]. - М.:МФТИ, 2005.-104 с.

215. Производительность фракционных очистителей зерна и показатели их работы [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.]// Тракторы и сельхозмашины.- 2009. - №9. – С.35-37.

216. Пугачев, А.Н. Повреждение зерна машинами [Текст] / А.Н. Пугачев. – М., 1976. – 320 с.

217. Пушнов, А. Аэродинамика воздухоочистных устройств с зернистым слоем [Текст]: монография/ А. Пушнов [и др.].- Вильнюс: Техника, 2010. - 348 с.
218. Разработка технических средств для послеуборочной обработки зерна [Текст] / В.А. Сысуев [и др.] // Техника и оборудование для села. - 2006. - № 10. - С. 21-24.
219. Рассадин, А.А. Исследование процесса сепарации продуктов обмолота в воздушной среде [Текст]/ А.А. Рассадин // Труды ВИМ. - М., 1964, т.34, С. 10 - 13.
220. Рекомендации по совершенствованию технологии и технических средств для предварительной очистки зерна в хозяйствах РСФСР [Текст] / сост. Н.И. Косилов. – М.: ГАПК, 1988. – 41 с.
221. Романенко, Г.А. Аграрная наука в решении актуальных проблем зернового производства России [Текст]/ Г.А. Романенко// Аграрный вестник Юго-Востока. - 2010 . - № 3-4 (6-7). – С. 8-10.
222. Романов, В.В. Результаты исследований обогащения зернового вороха воздушным потоком в перепаде между транспортёрами [Текст] / В.В. Романов // Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1977 - вып.131 - С.89-96.
223. РОСЭЛЕВАТОР, ООО [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Брянск, 2011- Режим доступа: <http://www.росэлеватор.рф/separator-zernoochistitelnyij-intex-k150.html>. (дата обращения: 12.08.2014).
224. Савиных, П.А. Качественный анализ воздушного потока в пылеулавливающем устройстве [Текст] /П.А. Савиных, Ю.В. Сычугов, А.Н. Сычугов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2008. - № 3. - С. 11-12.
225. Саитов, В.Е. Исследование процесса очистки цилиндрического решета при выделении мелких примесей [Текст] / В.Е. Саитов, В.Г. Фарафонов, С.В. Синяков // Техника в сельском хозяйстве. - 2011. - № 1. - С. 3-6.
226. Саитов, В.Е. Конструктивно-технологические параметры скальператора [Текст] / В.Е. Саитов, В.Г. Фарафонов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2010. - № 10. - С. 47-48.

227. Саитов, В.Е. Малогабаритная машина для первичной очистки зерна [Текст] / В.Е. Саитов, Р.Г. Гатауллин // Техника в сельском хозяйстве. - 2011. - № 4. - С. 7-10.

228. Саитов, В.Е. Математическое моделирование движения частиц в выхлопном диффузоре диаметрального вентилятора [Текст] / В.Е. Саитов // Техника в сельском хозяйстве. - 2008. - № 2. - С. 11-13.

229. Саитов, В.Е. Математическое моделирование разделения воздушным потоком отходов при очистке зерна [Текст] / В.Е. Саитов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2007. - № 5. - С. 39-41.

230. Саитов, В.Е. Моделирование разделения зернового материала в наклонном пневмосепарирующем канале [Текст] / В.Е. Саитов, В.Г. Фарафонов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2010. - № 6. - С. 3-5.

231. Саитов, В.Е. Определение параметров криволинейного пневмотранспортирующего канала малогабаритного пневмосепаратора [Текст] / В.Е. Саитов, В.Г. Фарафонов, Д.В. Григорьев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2011. - № 4. - С. 9-11.

232. Саитов, В.Е. Оптимизация параметров пневмосепарирующего канала зерноочистительной машины [Текст] / В.Е. Саитов, Р.Г. Гатауллин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2008. - № 5. - С. 38-40.

233. Саитов, В.Е. Повышение эффективности функционирования зерноочистительных машин путем совершенствования их основных рабочих органов и пневмосистем с фракционной сепарацией [Текст]: автореф. дис.... д-ра техн. наук:05.20.01 / Саитов Виктор Ефимович. – Чебоксары, 2014. – 40 с.

234. Саитов, В.Е. Распределение компонентов зернового материала на решетке пневмоожижающего устройства [Текст] / В.Е. Саитов, А.Н. Суворов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2011. - № 1. - С. 31-33.

235. Саитов, В.Е. Регулирование скорости воздуха в пневмосистеме зерноочистительных машин [Текст] / В.Е. Саитов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2008. - № 3. - С. 38-39.

236. Саитов, В.Е. Регулирование скорости воздушного потока в пневмосепарирующем канале дроссельным устройством [Текст] / В.Е. Саитов, В.Г. Фарафонов, А.Н. Суворов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2012. - № 5. - С. 6-8.

237. Саитов, В.Е. Совершенствование машины предварительной очистки зерна [Текст] / В.Е. Саитов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2007. - № 4. - С.17-20.

238. Саитов, В.Е. Совершенствование приемного отделения зерноочистительного агрегата [Текст] / В.Е. Саитов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2007. - № 12. - С. 10.

239. Самигуллин, А.С. Модернизация зернотоков – основа будущего урожая [Текст]/ А.С. Самигуллин С.Г. Мударисов// Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию ФГОУ ВПО Башкирский ГАУ (30 сентября –1 октября 2010 г.) Часть II. – Уфа: ФГОУ ВПО Башкирский ГАУ.- 2010. - С. 72-77.

240. Свиридов, Л.Т. Свойства лесных семян, плодов-бобов и обоснование технологий конструкций и параметров семяочистительных машин [Текст] / Л.Т. Свиридов // Международный журнал экспериментального образования. - 2015. - №1-1. - С. 67-68.

241. Свиридов, Л.Т. Инновационный технологический комплекс машин и оборудования для обработки и извлечения лесных семян из околоплодников [Текст] / Л.Т. Свиридов, А.В.Синельников// Вестник Воронежского государственного аграрного университета. - 2015. - №1(44).- С. 65-71.

242. Сельмаш Строй, ООО [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Воронеж, 2014- Режим доступа: <http://selmashstroy.ru/2.php>. (дата обращения: 12.08.2014).

243. Сельмашсервис, ООО [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Воронеж, 2014. – Режим доступа: <http://www.selmashservis.ru/pages/zernoochistka/>. (дата обращения: 11.08.2014).

244. Семяочистительный завод «Cimbria» - качество его работы / Тарасенко А.П.[и др.]// Бюлл. Науч. Раб.БГСХА.-Белгород. - 2009, Выпуск 17, С.104-109.
245. Сморгонский завод оптического станкостроения, ОАО [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Республика Беларусь: Гродненская обл., Сморгонь, 2010 - Режим доступа: <http://szos.by/node>. (дата обращения: 11.08.2014).
246. Совершенствование конструкции канала второй аспирации [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.]// Техника в сельском хозяйстве.-2009.-№2.- С.29-31.
247. Совершенствование конструкции шариковой очистки решет [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.] //Техника в сельском хозяйстве. – 2008.-№4. – с.41-42.
248. Совершенствование механизации производства семян зерновых культур [Текст]: рекомендации / А. П. Тарасенко [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 60 с.
249. Совершенствование послеуборочной обработки зерна [Текст] / А. П. Тарасенко [и др.]// Главный агроном. - 2009. - №8.- С.67-70.
250. Совершенствование процесса пневмосепарации в зерноочистительной машине с центробежным вентилятором [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.] // Тракторы и с.-х. машины. – 2005. - № 11. – С. 36-37.
251. Совершенствование процесса послеуборочной обработки зерна [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.] // Механизация и электрификация.- 2007.-№9. – С.3-5.
252. Соколов, А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна [Текст] / А.Я. Соколов. – М.: Колос, 1984. – 440 с.
253. Степичев, М.Г. Обоснование параметров вбрасывания для качественного разделения вороха во встречном воздушном потоке [Текст] /М.Г. Степичев // Тр. ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1975. - Вып. 95. - С.74-86.

254. Строна, И.Г. Общее семеноведение полевых культур [Текст] / И.Г. Строна. – М.: Колос, 1966. – 464 с.
255. Сысуев, В.А. Новые технологии и технические средства для механизации растениеводства и животноводства Евро – Северо - Востока России [Текст] / В.А. Сысуев, П.А. Савиных, Ю.В. Сычугов// Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве.- Материалы международной научно-технической конференции: Минск, 2012. - т.1.- с.51-56.
256. Сычугов, Н.П. Замкнутые пневмосистемы семяочистительных машин [Текст] / Н.П. Сычугов [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 1988. - №8. - С.28 - 31.
257. Сычугов, Н.П. Механизация послеуборочной обработки зерна и семян трав [Текст] / Н.П. Сычугов, Ю.В. Сычугов, В.И. Исупов; под ред. Н.П. Сычугова. – Киров: ФГУ ИП «Вятка», 2003. – 368 с.
258. Сычугов, Н.П. Применение диаметральных вентиляторов в замкнутых пневмосистемах зерноочистительных машин [Текст]/ Н.П. Сычугов, А.И. Бурков // Тракторы и сельхозмашины. – 1981. - №2. - С.23 - 26.
259. Сычугов, Н.П. Регулирование скорости воздуха в аспирационных каналах зерноочистительных машин с замкнутой пневмосистемой [Текст]/ Н.П. Сычугов, А.И. Бурков, Н.И. Грабельковский // Тракторы и сельхозмашины. – 1982. - №10.- С.23 - 26.
260. Сычугов, Н.П. Диаметральные вентиляторы для сельскохозяйственных машин [Текст] /Н.П. Сычугов// Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1970. - № 8. - С. 20-30.
261. Сычугов, Н.П. Динамическое уравнивание решетных станов машины вторичной очистки зерна МВО-8Д [Текст] / Н.П. Сычугов, Ю.В. Сычугов, А.Н. Сычугов // Тр. Кубанского государственного аграрного университета. - 2008. - № 6. - С. 179-183.
262. Сычугов, Н.П. Регулирование скорости воздуха в пневмосепарирующем канале машины МПО-50 [Текст] / Сычугов Н.П. [и др.]// Методы и

средства повышения эффективности процессов с.-х. машин: Сб. научн. тр. - Л., 1983. - С. 48-50.

263. Сычугов, Ю.В. Определение оптимальных параметров пневмосистемы зерноочистительной машины [Текст] / Ю.В. Сычугов, А.М. Шабалин // Техника в сельском хозяйстве. - 2008. - № 4. - С. 51-52.

264. Сычугов, Ю.В. Оценка устойчивости функционирования разомкнутой пневмосистемы [Текст] / Ю.В. Сычугов, В.Н. Скоробогатых // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2009. - № 5. - С. 27-30.

265. Сычугов, Ю.В. Динамическое уравнивание решетного стана машины для очистки зернового вороха [Текст] / Ю.В. Сычугов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2006. - № 8. - С. 50-52.

266. Сычугов, Ю.В. Новые технологии и технические средства послеуборочной обработки зерна [Текст] / Ю.В. Сычугов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2004. - № 6. - С. 22-25.

267. Сычугов, Ю.В. Энергосберегающие технологические линии и технические средства для обработки продукции зерновых культур на северо-востоке европейской части Российской Федерации [Текст]: автореф. дис.... д-ра техн. наук / Юрий Владимирович Сычугов. – Киров, 2011. – 40 с.

268. Тарасенко, А.П. Влияние влажности зерна при уборке и послеуборочной обработке на посевные качества семян [Текст] / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, М.Э. Мерчалова // Хранение и переработка зерна. – Днепропетровск, 2000. - № 2. – С. 12-13.

269. Тарасенко, А.П. Снижение травмирования зерна при послеуборочной обработке [Текст] / А.П. Тарасенко, М.Э. Мерчалова // Техника в сел. хоз-ве. – 1985. – № 9. – С. 14-15.

270. Тарасенко, А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке [Текст] / А.П. Тарасенко. – Воронеж: ВГАУ, 2003. – 331с.

271. Тарасенко, А.П. Целое зерно за один пропуск [Текст] / А.П. Тарасенко, М.Э. Мерчалова, Р.А. Тарасенко // Сел. механизатор. – 2000. - № 8. – С.20.

272. Тарасенко, А.П. Качественные показатели работы зерноочистительного агрегата ЗАВ-40 [Текст] / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2010.- № 4.- С. 43-45.

273. Тарасенко, А.П. Качественные показатели работы машин для вторичной очистки зерна [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии.-2011.-№3. С. 36-39.

274. Тарасенко, А.П. Показатели работы фракционных очистителей зерна [Текст] / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский // Техника в сельском хозяйстве.-2010.-№1. С. 5-7.

275. Тарасенко, А.П. Результаты государственных периодических и сертификационных испытаний машин семейства ОЗФ [Текст] / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский // Вестник ВГАУ,- 2008, -№ 3-4. –с.32-39.

276. Тарасенко, А.П. Совершенствование предварительной обработки семенного зерна [Текст] / А.П. Тарасенко, В.В. Шередекин, Р.А. Тарасенко // Механизация уборки, послеуборочной обработки и хранения: Материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф. «Земледельческая механика в растениеводстве» 17-18 дек. 2003г.: Науч. тр. ВИМ. - М.: ВИМ, 2003. - Т. 148. - С. 148-154.

277. Тарасенко, А.П. Совершенствование средств механизации для получения качественного зерна [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012.- №3(34).- с. 109-115.

278. Тарасенко, А.П. Современные машины для послеуборочной обработки зерна и семян [Текст] / А.П. Тарасенко.— М. : КолосС, 2008 .— 232 с.

279. Телентатор, М.А. Обработка семян зерновых культур [Текст] / М.А. Телентатор, В.С. Уколов, В.М. Цециновский. – М. : Колос, 1972. – 271 с.
280. Теплинский, Н.И. Снижение травмирования зерна при транспортировании в самотечных устройствах [Текст] / Н.И. Теплинский // Транспортное обеспечение при крупногрупповом использовании с.-х. техники : сб. науч. тр. / Воронеж. с.-х. ин-т. – Воронеж, 1985. – С. 75-82.
281. Терсков, Г.Д. О влиянии основных факторов на пропускную способность решет с круглыми отверстиями [Текст] / Г.Д. Терсков// Труды ЧИ-МЭСХ. - Челябинск, 1958. - вып.VI. - С.33-94.
282. Техника Сервис, ЗАО [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.texnira-servis.ru>. (дата обращения: 14.09.2014).
283. Техническое обеспечение семеноводства зерновых культур на основе машин нового поколения [Текст] / Д.З. Салахияев [и др.] //Достижения науки и техники АПК/.- 2007.- № 11 - С. 27-29.
284. Технологии и средства механизации сушки и послеуборочной обработки зерна [Текст] / К.Р. Казаров [и др.]; под ред. К.Р. Казарова. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – 310 с.
285. Технология послеуборочной обработки семенного зерна с выделением фуражной фракции до сушки [Текст] / Ф.Н. Эрк [и др.] // Селекция и семеноводство. - 1985. - № 3. – С.60-61.
286. Тиц, В.Л. Машины для послеуборочной поточной обработки семян [Текст] / В.Л. Тиц [и др.]. - М.: Машиностроение, 1967. – 447 с.
287. Тишанинов, Н.П. Классификация и анализ перспектив создания делителей потока сыпучих материалов [Текст] / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. – №5. – С.75-82.
288. Тишанинов, Н.П. Повышение технологических возможностей кукольного цилиндра триерного блока [Текст] / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2015. – №1 (13). - С.58-65.

289. Тишанинов, Н.П. Результаты исследований процесса триерной сепарации зерносмесей [Текст] / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. – № 6. - С.37-44.

290. Тишанинов, Н.П. Средства управления опережением подачи зерносмеси в триерные блоки [Текст] / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2015. – №1 (13). - С.27-37.

291. Тишанинов, Н.П. Теоретические предпосылки поиска резервов управления процессами триерной очистки зерносмесей [Текст] / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2014. – №6 (12). - С.28-38.

292. Трисвятский, Л.А. Хранение зерна [Текст]: учеб. для вузов / Л.А. Трисвятский. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1986. – 351 с.

293. Улучшение качества зернового вороха при уборке [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.]// Сельскохозяйственные машины и технологии.- 2009.- №2. - с.45-47.

294. Ульрих, Н.Н. У истоков механизации предпосевной подготовки семян и послеуборочной обработки зерна [Текст] / Н.Н. Ульрих // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1980.- №4.- С.19-21.

295. Урханов, Н.А. Интенсификация послеуборочной обработки и очистки зерна от примесей по длине [Текст] / Н.А. Урханов. - Улан-Удэ, Изд-во ВСГТУ, 1999. –320 с.

296. Урханов, Н.А. Теоретические основы сепарирования зернового вороха способом метания во встречный воздушный поток [Текст] / Н.А. Урханов, Г.Ф. Ханхасаев // Технология и оборудование пищевой промышленности. - Краснодар, 1983. - С. 69-75.

297. Урханов, Н.А. Эффективное применение фракционной технологии обработки и очистки зерна на пунктах ПОЗ хозяйств [Текст] /Н.А. Урханов, Н.Ф. Васильев, В.Б. Бутуханов //сб.науч. трудов ВСГТУ. Серия «Технология, биотехнология и оборудование пищевых и кормовых производств». – Улан-Удэ, 1999. – Вып.6., т. 2. – С.21-23.

298. Фетисов, Н.А. О возможности повышения качества воздушной сепарации зернового вороха [Текст] / Н.А. Фетисов, С.Я. Яковлев // Тр. Омского СХИ. - 1987. - Вып. 177. - С. 28-31.

299. Фоминых, А.В. Методика расчёта процесса просеивания проходовых частиц в круглые отверстия решёт [Текст] / А.В. Фоминых [и др.] // Аграрный вестник Урала. – 2010. – № 7. – С. 80–81.

300. Фоминых, А.В. Оптимизация процесса сепарирования на колосовых решётах [Текст] / А.В. Фоминых, В.Г. Чумаков, С.И. Родионова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 9. – С. 26–28.

301. Фоминых, А.В. Рекомендации по модернизации и реконструкции зерноочистительных агрегатов и комплексов в хозяйствах и перерабатывающих предприятиях АПК Российской Федерации [Текст] / А.В. Фоминых – Курган, 2005. - 38 с.

302. Фракционирование зернового вороха на решетках [Текст] / А.П. Тарасенко [и др.] //Сельскохозяйственные машины и технологии.- 2012.- № 5. - С. 26-29.

303. Фракционирование зернового вороха при послеуборочной обработке семян [Текст]/ А.П. Тарасенко [и др.] // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2004. - № 6. – С. 10-11.

304. Фракционные технологии и технические средства для качественной семенной очистки зерна [Текст]/ Ю.И. Ермольев [и др.] // Агро – Маркет. – 2006. - № 5. – С. 24-25, 32-33.

305. Халанский, В.М. Обоснование структурной схемы и параметров пневмоцентробежного сепаратора зернового вороха [Текст] / В.М. Халанский // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной Академии. - М.: Агропромиздат, 1986. - Вып. 2. - С. 49-55.

306. Халанский, В.М. Обоснование схемы и технологических параметров пневмоцентробежного сепаратора зернового вороха [Текст] / В.М. Халанский // Тр./ ЧИМЭСХ. «Совершенствование технологии и технических

средств для уборки и послеуборочной обработки зерновых культур». – Челябинск, 1983. – С.81-87.

307. Халанский, В.М. Разработка и исследование пневмоинерционной очистки зернового вороха [Текст]/ В.М. Халанский // Тр. ВАСХНИЛ. - Новосибирск, 1979. - Вып. 5. - С. 89-92.

308. Хамуев, В.Г. Теоретическое исследование пневмосепарации зернового материала в вертикально восходящем воздушном потоке [Текст]/ В.Г. Хамуев // Техника в сельском хозяйстве, №2, 2008, с.3-6.

309. Чеботарев, В.П. Анализ тенденций развития современных зерноочистительных и сортировальных машин [Текст] / В.П. Чеботарев [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве.- Материалы Междунар. науч.-практ. конф. - Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2010. -Т.1. – С. 184-189.

310. Чепурин, Г.Е. Уборка и послеуборочная обработка зерновых культур в экстремальных условиях Сибири [Текст]/ Г.Е. Чепурин [и др.]. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. — 176 с.

311. Чудин, И.А. Повреждение зерна зерноочистительными линиями [Текст] / И.А. Чудин // Земля сиб. , дальневост. – 1971. - № 9. – С. 36-37.

312. Чумаков, В.Г. Деление зернового вороха на фракции пневморешётным сепаратором [Текст] / В.Г. Чумаков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2011. – № 12. – С. 31–33.

313. Чумаков, В.Г. Исследование структуры воздушного потока в канале пневморешетного сепаратора [Текст] / В.Г. Чумаков// Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 7. – С. 100–104.

314. Чумаков, В.Г. Оценка эффективности работы пневморешётного сепаратора с рассредоточенным вводом зернового вороха в воздушный поток [Текст] / В.Г. Чумаков // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2010. – № 4. – С. 92–94.

315. Чумаков, В.Г. Сепарация зернового вороха наклонным воздушным потоком [Текст] / В.Г. Чумаков // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 3. – С. 83–88.

316. Чумаков, В.Г. Технологическая линия послеуборочной обработки зерна с делением на потоки [Текст] / В.Г. Чумаков, Г.А. Окунев, А.С. Жанахов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2011. – № 9. – С. 18–22.

317. Чумаков, В.Г. Совершенствование технологии и технических средств для послеуборочной обработки зерна на основе дифференцирования потоков зернового вороха [Текст]: автореф. дис.... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Чумаков Владимир Геннадьевич. – Челябинск, 2012. – 40 с.

318. Шайхутдинов, Ф.Ш. Влияние крупности, выравненности нормы высева семян яровой пшеницы на урожай в условиях лесостепной зоны Предкамья Республики Татарстан [Текст] / Ф.Ш. Шайхутдинов [и др.] // Зерновое хозяйство. – 2013. – № 3. – с. 31...33.

319. Шацкий, В.П. Регулирование скорости воздушного потока в аспирационных каналах зерноочистительной машины [Текст] / В.П. Шацкий, В.И. Оробинский, А.И. Королев // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2006. – № 9. – С. 3-4.

320. Шацкий, В.П. Выбор формы образующей линии сепарирующей поверхности [Текст] / В.П. Шацкий, А.Е. Попов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 10. – С.9.

321. Шацкий, В.П. К вопросу о конструктивных особенностях и моделировании работы комбинированного сепаратора [Текст] / В.П. Шацкий, И.В. Гриднева, А.Е. Попов // Вестник ВГАУ, – 2011. №30 – С.33 – 35.

322. Шацкий, В.П. Моделирование сепарирования зерна с учетом потери массы [Текст] / В.П. Шацкий, А.Е. Попов, В.А. Гулевский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 10. – С.20 – 21.

323. Шемудеев, Е.П. Исследование предварительной очистки зерновых культур в вихревых камерах [Текст] /Е.П. Шемудеев, М.С. Лифниц // Тр. ВАСХНИЛ. – Новосибирск, 1981. – Вып. 36. – С. 34-38.

324. Шрайбер, А.А. Гидромеханика двухкомпонентных потоков с твердым полидисперсным веществом [Текст] / А.А. Шрайбер, В.Н. Милютин, В.П. Яценко. – К.: Наукова думка, 1980. – 252 с.
325. Эксперт-Агро, группа компаний [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Воронеж, 2014 – Режим доступа: <http://www.expert-agro.ru>. (дата обращения: 14.09.2014).
326. Яговкин, П.В. Фракционирование зерна на этапе первичной очистки [Текст] / П.В. Яговкин // Научные проблемы техн. обеспечения аграр.-пром. комплекса Нечерноземной зоны РСФСР: материалы науч.-практ конф. НПО «Нечерноземагромаш». – СПб. - 1991. – С.78-79.
327. Ямпиров, С.С. Фракционная технология очистки зерна [Текст] /С.С. Ямпиров, Ю.Ж. Дондоков, А.Н. Кириллов //Сб. научных трудов ВСГТУ. Серия "Технология, биотехнология и оборудование пищевых и кормовых производств", - Улан-Удэ, 1999. - вып.5. - том 2. - С.168..174.
328. Ямпиров, С.С. Математическая модель разделения зерновой смеси секционным блоком решет [Текст]/ / С.С. Ямпиров //Сб. научных трудов ВСГТУ. Серия "Технология, биотехнология и оборудование пищевых и кормовых производств", - Улан-Удэ, 1999 .- вып.6. - том 2. - С.105..111.
329. Ямпиров, С.С. Обоснование основных параметров универсального сепаратора зерна [Текст] / С.С. Ямпиров, Ю.Ж. Дондоков// Сб. научных трудов ВСГТУ. - Улан-Удэ, 1998. - С. 102-104.
330. Ямпиров, С.С. Повышение эффективности выделения короткой примеси каскадным решетным сепаратором [Текст]/ С.С. Ямпиров// Научно-технический бюллетень ВИМ. - М., 1981. - вып.48. - С.41-42.
331. Ямпиров, С.С. Технологии и технические средства для очистки зерна с использованием сил гравитации [Текст]/ С.С. Ямпиров, Ж.Б. Цыбенков – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. –167с.
332. Ямпиров, С.С. Технологические и технические решения проблемы очистки зерна решетками [Текст] / С.С. Ямпиров – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2004. –165с.

333. Ямпиров, С.С. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян [Текст] / С.С. Ямпиров. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. –262с.

334. Яранский механический завод, ОАО [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Яранск, 2014– Режим доступа:<http://ya-mz.biz/opisanie/MZU.html>. (дата обращения: 05.09.2014).

335. Bühler Schmidt-Seeger, GmbH [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. – Schweiz: Uzwil, 2014. – Режим доступа: <http://www.buhlergroup.com/europe/ru/>.(дата обращения: 12.10.2014).

336. 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).

337. Damas Member of the skiold group [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Denmark: Faaborg, 2014 – Режим доступа: <http://www.damas.com/ru/products>. (дата обращения: 08.11.2014).

338. Denis, GmbH [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – France: Brou, 2014 – Режим доступа: <http://www.denis.fr/nettoyage/gamme>. (дата обращения: 10.10.2014).

339. Gscor A/S, Корпорация зерновые системы [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Украина: Харьков, 2012 – Режим доступа: <http://www.gscor.com>. (дата обращения: 08.10.2014).

340. 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).

341. RIELA KARL-HEINZ KNOOP E.K., GMBH [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Германия: Riesenbeck, 2013 – Режим доступа: <http://www.riela.de>. (дата обращения: 04.09.2014).

342. ROEBER Institut, GmbH [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Германия: Wutha-Farnroda, 2013 – Режим доступа: <http://www.roeber-institut.de>. (дата обращения: 08.09.2014).

343. Schmidt Seeger, GmbH [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Германия: Байльнгрис, 2010 – Режим доступа: <http://www.schmidt-seeger.com>. (дата обращения: 14.10.2012).

344. Westrup A/S [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Denmark: Slagelse, 2013 – Режим доступа: <http://www.westrup.com/Products/>. (дата обращения: 06.09.2014).

345. Blenk, H. Die Sortierung von Saatgut mit gleichmässigem Querwind //Grundlagen des Landtechnik, Heft 2/1951.- S. 5-12.

346. Wessel, J. Verfahren des Siebens und des Windsichtens // Grundlagen des Landtechn. Bd. 18 (1 968) Nr. 4. - S. 151-157.

Приложение А

Таблица А - Распределение исходного вороха озимой пшеницы по толщине и скорости витания зерновок

$V_{i,m}/c$ b_i , мм	3,45	4,49	5,33	6,05	6,70	7,28	7,82	8,33	8,80	9,25	9,69	10,10	10,50	10,88	Σp_i^*	$bc = \Sigma p_i \cdot b_i$	$D = (b_i - bc)^2 p_i$
1,3	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0002
1,5	0,0000	0,0002	0,0007	0,0016	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0035	0,0052	0,0044
1,7	0,0000	0,0004	0,0013	0,0047	0,0060	0,0036	0,0012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0171	0,0291	0,0144
1,9	0,0001	0,0008	0,0015	0,0014	0,0029	0,0096	0,0201	0,0086	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0451	0,0856	0,0231
2,1	0,0001	0,0008	0,0016	0,0014	0,0023	0,0106	0,0229	0,0201	0,0039	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0643	0,1350	0,0171
2,3	0,0002	0,0006	0,0011	0,0010	0,0023	0,0096	0,0152	0,0440	0,0244	0,0028	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,1013	0,233	0,0101
2,5	0,0001	0,0004	0,0009	0,0026	0,0035	0,0146	0,0193	0,0207	0,0441	0,0468	0,0121	0,0027	0,0000	0,0000	0,1678	0,4195	0,0023
2,7	0,0001	0,0001	0,0005	0,0021	0,0031	0,0050	0,0107	0,0221	0,0605	0,0718	0,0897	0,0300	0,0038	0,0002	0,2998	0,8095	0,0021
2,9	0,0000	0,0000	0,0002	0,0001	0,0002	0,0005	0,0012	0,0048	0,0287	0,0392	0,0514	0,0489	0,0051	0,0012	0,1815	0,5264	0,0146
3,1	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0005	0,0005	0,0006	0,0021	0,0067	0,0168	0,0329	0,0410	0,0052	0,0017	0,1081	0,3351	0,0253
3,3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0002	0,0022	0,0057	0,0016	0,0009	0,0005	0,0113	0,0374	0,0053
3,5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Σp_i^* ,	0,0006	0,0034	0,0078	0,0150	0,0217	0,0540	0,0913	0,1226	0,1686	0,1801	0,1920	0,1243	0,0150	0,0037	1,0000		
$V_c = \Sigma p_i \cdot V_i$	0,0021	0,0155	0,0417	0,0906	0,1453	0,3929	0,7143	1,0202	1,4839	1,6658	1,8602	1,2553	0,1573	0,0398	8,8847	2,616	
$D = (V_i - V_c)^2 p_i$	0,0176	0,0666	0,0988	0,1203	0,1041	0,1390	0,1035	0,0384	0,0012	0,0240	0,1245	0,1836	0,0391	0,0146	1,0752		0,1189

Приложение Б

Таблица Б - Изменение качественных показателей основной фракции от удельной площади сортировальных решет и скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки при $P_{vd} = 0,4$; $P_{vn} = 0,6$; $P_{bn} = 0,25$; $P_{bc} = 0,6$

V_d , м/с	$Q_{отн}$	F_c , %	V , м/с	σ_v , м/с	b , мм	σ_b , мм
5,8	1	33	9,289	0,737	2,762	0,256
	1,242	42	9,279	0,751	2,76	0,258
	1,575	52	9,267	0,767	2,757	0,261
	1,818	60	9,259	0,779	2,755	0,263
	2,121	70	9,25	0,789	2,753	0,266
	2,426	80	9,233	0,811	2,747	0,274
6,1	1	33	9,422	0,6158	2,817	0,210
	1,242	42	9,417	0,6237	2,8158	0,211
	1,575	52	9,410	0,6342	2,8146	0,2127
	1,818	60	9,404	0,642	2,8137	0,2137
	2,121	70	9,399	0,649	2,813	0,2152
	2,426	80	9,389	0,664	2,809	0,220
6,7	1	33	9,465	0,586	2,836	0,196
	1,242	42	9,463	0,59	2,836	0,196
	1,575	52	9,461	0,591	2,838	0,196
	1,818	60	9,458	0,596	2,838	0,197
	2,121	70	9,457	0,596	2,839	0,197
	2,426	80	9,453	0,603	2,839	0,199
7,4	1	33	9,479	0,578	2,843	0,190
	1,242	42	9,479	0,579	2,843	0,190
	1,575	52	9,477	0,581	2,843	0,190
	1,818	60	9,476	0,583	2,843	0,190
	2,121	70	9,475	0,584	2,843	0,190
	2,426	80	9,473	0,588	2,843	0,191
7,9	1	33	9,485	0,576	2,846	0,188
	1,242	42	9,485	0,576	2,846	0,188
	1,575	52	9,484	0,577	2,846	0,188
	1,818	60	9,484	0,577	2,846	0,188
	2,121	70	9,483	0,578	2,846	0,188
	2,426	80	9,482	0,579	2,846	0,188

Приложение В

Таблица В - Изменение качественных показателей основной фракции от производительности и скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки при $P_{bc} \geq 0,6$

$V_d, м/с$	$Q_{отн}$	$V, м/с$	$\sigma_v, м/с$	$b, мм$	$\sigma_b, мм$
5,8	1	9,29	0,739	2,763	0,256
	1,242	9,32	0,715	2,779	0,243
	1,575	9,36	0,693	2,795	0,2307
	1,818	9,368	0,677	2,807	0,2209
	2,121	9,4	0,663	2,818	0,213
	2,426	9,41	0,654	2,825	0,207
6,1	1	9,42	0,617	2,818	0,21
	1,242	9,44	0,58	2,829	0,201
	1,575	9,46	0,6	2,837	0,195
	1,818	9,467	0,596	2,841	0,191
	2,121	9,472	0,593	2,844	0,189
	2,426	9,475	0,592	2,846	0,188
6,7	1	9,465	0,587	2,837	0,195
	1,242	9,475	0,58	2,842	0,191
	1,575	9,48	0,581	2,846	0,189
	1,818	9,483	0,58	2,847	0,1875
	2,121	9,484	0,56	2,848	0,1871
	2,426	9,484	0,58	2,848	0,187
7,4	1	9,48	0,578	2,844	0,19
	1,242	9,484	0,577	2,846	0,188
	1,575	9,486	0,577	2,847	0,187
	1,818	9,487	0,576	2,848	0,187
	2,121	9,487	0,576	2,848	0,187
	2,426	9,487	0,576	2,848	0,187
7,9	1	9,48	0,576	2,846	0,188
	1,242	9,487	0,575	2,848	0,187
	1,575	9,488	0,575	2,848	0,187
	1,818	9,487	0,575	2,848	0,187
	2,121	9,487	0,575	2,848	0,197
	2,426	9,488	0,575	2,848	0,187

Приложение Г

Решение уравнений перемещения компонентов вороха в канале дорешетной аспирации

```

> restart:
w:=10.5:Vb:=8.5:kn:=0.07:Qo:=1.31:rb:=0.102:hd:=0.26:le:=0.024:b:=0.004:qmax
:=25.0:rho:=780:Kz:=0.8:pi:=3.14:g:=9.81:Lb:=1.48:f:=0.45:
eq1:=rn^2-rb^2-(2*qmax/(rho*Lb*w*Kz))-((pi*b^2*(rn-
rb)*rb)/(2*(le+b)*(2*le+b)))=0;
Rn:=solve(eq1,rn);
Rn[1];
rn:=Rn[1];
> beta0:=pi/2-Qo;
v1:=r(0)=rb,D(r)(0)=0:
u1:=diff(r(t),t$2)=w^2*r(t)+g*sin(Qo+w*t)+g*f*cos(Qo+w*t)-2*f*w*diff(r(t),t);
deg1:={r(t)}:
P1:=dsolve({u1,v1},deg1,numeric,output=listprocedure):
R1:=subs(P1,r(t)):R2:=subs(P1,diff(r(t),t)):R3:=subs(P1,diff(r(t),t$2)):
T1:=fsolve(R1(t)=rn,t=0..1);
Vr:=R2(T1);
>
v:=x(0)=rn*(cos(Qo)-tan(Qo)*(1-sin(Qo))),y(0)=0,D(x)(0)=-
w*rn*cos(beta0),D(y)(0)=-w*rn*sin(beta0);
u:=diff(x(t),t$2)=-kn*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)+kn*(Vb-
diff(x(t),t))^2,
diff(y(t),t$2)=-kn*diff(y(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)-g;
deg:={x(t),y(t)}:
P:=dsolve({u,v},deg,numeric,output=listprocedure):
X1:=subs(P,x(t)):X2:=subs(P,diff(x(t),t)):X3:=subs(P,diff(x(t),t$2)):Y1:=subs(P,y(
t)):Y2:=subs(P,diff(y(t),t)):Y3:=subs(P,diff(y(t),t$2)):
T:=fsolve(Y1(t)=-hd,t=0..1);
"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне hd канала ";
X007N:=X1(T);
"Проекция скорости на оси, скорость и угол с горизонталью на уровне hd ка-
нала ";
dx007N:=X2(T);
dy007N:=Y2(T);
CK007N:=sqrt((dx007N)^2+(dy007N)^2);
beta007N:=arctan(dy007N/dx007N);
ho:=0.3;
v9:=x(0)=X007N,yy(0)=-hd,D(x)(0)=dx007N,D(yy)(0)=dy007N;
u9:=diff(x(t),t$2)=-kn*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(yy(t),t))^2),
diff(yy(t),t$2)=-kn*diff(yy(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(yy(t),t))^2)-g;
deg:={x(t),yy(t)}:

```

```

P9:=dsolve({u9,v9},deg,numeric,output=listprocedure):
X1:=subs(P9,x(t)):X2:=subs(P9,diff(x(t),t)):X3:=subs(P9,diff(x(t),t$2)):YY1:=subs(
P9,yy(t)):YY2:=subs(P9,diff(yy(t),t)): YY3:=subs(P9,diff(yy(t),t$2)):
T9:=fsolve(YY1(t)=-(hd+ho),t=0..1);
"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне ho осадочной
камеры";
Xo007N:=X1(T9);
> Qn:=Qo+w*T1;
V0:=w*rn;
Va:=sqrt(V0^2+Vr^2);
betan:=pi/2-Qn+arctan(Vr/V0);
v2:=x(0)=rn*(cos(Qn)-tan(pi/2-betan)*(1-sin(Qn))),z(0)=0,D(x)(0)=-
sqrt(V0^2+Vr^2)*cos(betan),D(z)(0)=-sqrt(V0^2+Vr^2)*sin(betan);
u2:=diff(x(t),t$2)=-kn*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(z(t),t))^2)+kn*(Vb-
diff(x(t),t))^2,
diff(z(t),t$2)=-kn*diff(z(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(z(t),t))^2)-g;
deg:={x(t),z(t)}:
P2:=dsolve({u2,v2},deg,numeric,output=listprocedure):
X1:=subs(P2,x(t)):X2:=subs(P2,diff(x(t),t)):X3:=subs(P2,diff(x(t),t$2)):Z1:=subs(
P2,z(t)):Z2:=subs(P2,diff(z(t),t)): Z3:=subs(P2,diff(z(t),t$2)):
T2:=fsolve(Z1(t)=-hd,t=0..1);
"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне hd канала ";
X007K:=X1(T2);
"Проекция скорости на оси, скорость и угол с горизонталью на уровне hd ка-
нала ";
dx007K:=X2(T2);
dy007K:=Z2(T2);
CK007K:=sqrt((dx007K)^2+(dy007K)^2);
beta007K:=arctan(dy007K/dx007K);
ho:=0.3;
v10:=x(0)=X007K,zz(0)=-hd,D(x)(0)=dx007K,D(zz)(0)=dy007K;
u10:=diff(x(t),t$2)=-kn*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(zz(t),t))^2),
diff(zz(t),t$2)=-kn*diff(zz(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(zz(t),t))^2)-g;
deg:={x(t),zz(t)}:
P10:=dsolve({u10,v10},deg,numeric,output=listprocedure):
X1:=subs(P10,x(t)):X2:=subs(P10,diff(x(t),t)):X3:=subs(P10,diff(x(t),t$2)):ZZ1:=s
ubs(P10,zz(t)):ZZ2:=subs(P10,diff(zz(t),t)): ZZ3:=subs(P10,diff(zz(t),t$2)):
T10:=fsolve(ZZ1(t)=-(hd+ho),t=0..1);
"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне ho осадочной
камеры";
Xo007K:=X1(T10);
> kn1:=0.145;
v3:=x(0)=rn*(cos(Qo)-tan(Qo)*(1-sin(Qo))),i(0)=0,D(x)(0)=-
w*rn*cos(beta0),D(i)(0)=-w*rn*sin(beta0);

```

```

u3:=diff(x(t),t$2)=-kn1*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(i(t),t))^2)+kn1*(Vb-
diff(x(t),t))^2,
diff(i(t),t$2)=-kn1*diff(i(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(i(t),t))^2)-g;
deg:={x(t),i(t)}:
P3:=dsolve({u3,v3},deg,numeric,output=listprocedure):
X1:=subs(P3,x(t)):X2:=subs(P3,diff(x(t),t)):X3:=subs(P3,diff(x(t),t$2)):I1:=subs(P
3,i(t)):I2:=subs(P3,diff(i(t),t)): I3:=subs(P3,diff(i(t),t$2)):
T3:=fsolve(I1(t)=-hd,t=0..1);
"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне hd канала ";
X0145N:=X1(T3);
"Проекция скорости на оси, скорость и угол с горизонталью на уровне hd ка-
нала ";
dx0145N:=X2(T3);
dy0145N:=I2(T3);
CK0145N:=sqrt((dx0145N)^2+(dy0145N)^2);
beta0145N:=arctan(dy0145N/dx0145N);
ho:=0.3;
v11:=x(0)=X0145N,ii(0)=-hd,D(x)(0)=dx0145N,D(ii)(0)=dy0145N;
u11:=diff(x(t),t$2)=-kn*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(ii(t),t))^2),
diff(ii(t),t$2)=-kn*diff(ii(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(ii(t),t))^2)-g;
deg:={x(t),ii(t)}:
P11:=dsolve({u11,v11},deg,numeric,output=listprocedure):
X1:=subs(P11,x(t)):X2:=subs(P11,diff(x(t),t)):X3:=subs(P11,diff(x(t),t$2)):II1:=su
bs(P11,ii(t)):II2:=subs(P11,diff(ii(t),t)): II3:=subs(P11,diff(ii(t),t$2)):
T11:=fsolve(II1(t)=-hd,ho,t=0..1);
"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне ho осадочной
камеры";
Xo0145N:=X1(T11);
> Qn:=Qo+w*T1;
V0:=w*rn;
Va:=sqrt(V0^2+Vr^2);
betan:=pi/2-Qn+arctan(Vr/V0);
v4:=x(0)=rn*(cos(Qn)-tan(pi/2-betan)*(1-sin(Qn))),j(0)=0,D(x)(0)=-
sqrt(V0^2+Vr^2)*cos(betan),D(j)(0)=-sqrt(V0^2+Vr^2)*sin(betan);
u4:=diff(x(t),t$2)=-kn1*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(j(t),t))^2)+kn1*(Vb-
diff(x(t),t))^2,
diff(j(t),t$2)=-kn1*diff(j(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(j(t),t))^2)-g;
deg:={x(t),j(t)}:
P4:=dsolve({u4,v4},deg,numeric,output=listprocedure):
X1:=subs(P4,x(t)):X2:=subs(P4,diff(x(t),t)):X3:=subs(P4,diff(x(t),t$2)):J1:=subs(P
4,j(t)):J2:=subs(P4,diff(j(t),t)): J3:=subs(P4,diff(j(t),t$2)):
T4:=fsolve(J1(t)=-hd,t=0..1);
"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне hd канала ";
X0145K:=X1(T4);

```

"Проекция скорости на оси, скорость и угол с горизонталью на уровне hd канала";

dx0145K:=X2(T4);

dy0145K:=J2(T4);

CK0145K:=sqrt((dx0145K)^2+(dy0145K)^2);

beta0145K:=arctan(dy0145K/dx0145K);

ho:=0.3;

v12:=x(0)=X0145K,jj(0)=-hd,D(x)(0)=dx0145K,D(jj)(0)=dy0145K;

u12:=diff(x(t),t\$2)=-kn*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(jj(t),t))^2),

diff(jj(t),t\$2)=-kn*diff(jj(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(jj(t),t))^2)-g;

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

P12:=dsolve({u12,v12},deg,numeric,output=listprocedure):

X1:=subs(P12,x(t)):X2:=subs(P12,diff(x(t),t)):X3:=subs(P12,diff(x(t),t\$2)):JJ1:=su

bs(P12,jj(t)):JJ2:=subs(P12,diff(jj(t),t)): JJ3:=subs(P12,diff(jj(t),t\$2)):

T12:=fsolve(JJ1(t)=-(hd+ho),t=0..1);

"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне ho осадочной камеры";

Xo0145K:=X1(T12);

> kn2:=0.273:

v5:=x(0)=rn*(cos(Qo)-tan(Qo)*(1-sin(Qo))),m(0)=0,D(x)(0)=-

w*rn*cos(beta0),D(m)(0)=-w*rn*sin(beta0);

u5:=diff(x(t),t\$2)=-kn2*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(m(t),t))^2)+kn2*(Vb-

diff(x(t),t))^2,

diff(m(t),t\$2)=-kn2*diff(m(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(m(t),t))^2)-g;

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

P5:=dsolve({u5,v5},deg,numeric,output=listprocedure):

X1:=subs(P5,x(t)):X2:=subs(P5,diff(x(t),t)):X3:=subs(P5,diff(x(t),t\$2)):M1:=subs(

P5,m(t)):M2:=subs(P5,diff(m(t),t)): M3:=subs(P5,diff(m(t),t\$2)):

T5:=fsolve(M1(t)=-hd,t=0..1);

"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне hd канала";

X0273N:=X1(T5);

"Проекция скорости на оси, скорость и угол с горизонталью на уровне hd канала";

dx0273N:=X2(T5);

dy0273N:=M2(T5);

CK0273N:=sqrt((dx0273N)^2+(dy0273N)^2);

beta0273N:=arctan(dy0273N/dx0273N);

ho:=0.3;

v13:=x(0)=X0273N,mm(0)=-hd,D(x)(0)=dx0273N,D(mm)(0)=dy0273N;

u13:=diff(x(t),t\$2)=-kn*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(mm(t),t))^2),

diff(mm(t),t\$2)=-kn*diff(mm(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(mm(t),t))^2)-g;

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

P13:=dsolve({u13,v13},deg,numeric,output=listprocedure):


```

X1:=subs(P13,x(t)):X2:=subs(P13,diff(x(t),t)):X3:=subs(P13,diff(x(t),t$2)):MM1:=
subs(P13,mm(t)):MM2:=subs(P13,diff(mm(t),t)):
MM3:=subs(P13,diff(mm(t),t$2)):
T13:=fsolve(MM1(t)=-(hd+ho),t=0..1);
"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне ho осадочной
камеры";
Xo0273N:=X1(T13);
> Qn:=Qo+w*T1;
V0:=w*rn;
Va:=sqrt(V0^2+Vr^2);
betan:=pi/2-Qn+arctan(Vr/V0);
v6:=x(0)=rn*(cos(Qn)-tan(pi/2-betan)*(1-sin(Qn))),n(0)=0,D(x)(0)=-
sqrt(V0^2+Vr^2)*cos(betan),D(n)(0)=-sqrt(V0^2+Vr^2)*sin(betan);
u6:=diff(x(t),t$2)=-kn2*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(n(t),t))^2)+kn2*(Vb-
diff(x(t),t))^2,
diff(n(t),t$2)=-kn2*diff(n(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(n(t),t))^2)-g;
deg:={x(t),n(t)}:
P6:=dsolve({u6,v6},deg,numeric,output=listprocedure):
X1:=subs(P6,x(t)):X2:=subs(P6,diff(x(t),t)):X3:=subs(P6,diff(x(t),t$2)):N1:=subs(
P6,n(t)):N2:=subs(P6,diff(n(t),t)): N3:=subs(P6,diff(n(t),t$2)):
T6:=fsolve(N1(t)=-hd,t=0..1);
"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне hd канала ";
X0273K:=X1(T6);
"Проекция скорости на оси, скорость и угол с горизонталью на уровне hd ка-
нала ";
dx0273K:=X2(T6);
dy0273K:=N2(T6);
CK0273K:=sqrt((dx0273K)^2+(dy0273K)^2);
beta0273K:=arctan(dy0273K/dx0273K);
ho:=0.3;
v14:=x(0)=X0273K,nn(0)=-hd,D(x)(0)=dx0273K,D(nn)(0)=dy0273K;
u14:=diff(x(t),t$2)=-kn*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(nn(t),t))^2),
diff(nn(t),t$2)=-kn*diff(nn(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(nn(t),t))^2)-g;
deg:={x(t),nn(t)}:
P14:=dsolve({u14,v14},deg,numeric,output=listprocedure):
X1:=subs(P14,x(t)):X2:=subs(P14,diff(x(t),t)):X3:=subs(P14,diff(x(t),t$2)):NN1:=
subs(P14,nn(t)):NN2:=subs(P14,diff(nn(t),t)): NN3:=subs(P14,diff(nn(t),t$2)):
T14:=fsolve(NN1(t)=-(hd+ho),t=0..1);
"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне ho осадочной
камеры";
Xo0273K:=X1(T14);
> kn3:=0.613;
v7:=x(0)=rn*(cos(Qo)-tan(Qo)*(1-sin(Qo))),o(0)=0,D(x)(0)=-
w*rn*cos(beta0),D(o)(0)=-w*rn*sin(beta0);

```

```

u7:=diff(x(t),t$2)=-kn3*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(o(t),t))^2)+kn3*(Vb-
diff(x(t),t))^2,
diff(o(t),t$2)=-kn3*diff(o(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(o(t),t))^2)-g;
deg:={x(t),o(t)}:
P7:=dsolve({u7,v7},deg,numeric,output=listprocedure):
X1:=subs(P7,x(t)):X2:=subs(P7,diff(x(t),t)):X3:=subs(P7,diff(x(t),t$2)):O1:=subs(
P7,o(t)):O2:=subs(P7,diff(o(t),t)): O3:=subs(P7,diff(o(t),t$2)):
T7:=fsolve(O1(t)=-hd,t=0..1);
"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне hd канала ";
X0613N:=X1(T7);
"Проекция скорости на оси, скорость и угол с горизонталью на уровне hd ка-
нала ";
dx0613N:=X2(T7);
dy0613N:=O2(T7);
CK0613N:=sqrt((dx0613N)^2+(dy0613N)^2);
beta0613N:=arctan(dy0613N/dx0613N);
ho:=0.3;
v15:=x(0)=X0613N,oo(0)=-hd,D(x)(0)=dx0613N,D(oo)(0)=dy0613N;
u15:=diff(x(t),t$2)=-kn*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(oo(t),t))^2),
diff(oo(t),t$2)=-kn*diff(oo(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(oo(t),t))^2)-g;
deg:={x(t),oo(t)}:
P15:=dsolve({u15,v15},deg,numeric,output=listprocedure):
X1:=subs(P15,x(t)):X2:=subs(P15,diff(x(t),t)):X3:=subs(P15,diff(x(t),t$2)):OO1:=
subs(P15,oo(t)):OO2:=subs(P15,diff(oo(t),t)): OO3:=subs(P15,diff(oo(t),t$2)):
T15:=fsolve(OO1(t)=-hd,ho,t=0..1);
"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне ho осадочной
камеры";
Xo0613N:=X1(T15);
> Qn:=Qo+w*T1;
V0:=w*rn;
Va:=sqrt(V0^2+Vr^2);
betan:=pi/2-Qn+arctan(Vr/V0);
v8:=x(0)=rn*(cos(Qn)-tan(pi/2-betan)*(1-sin(Qn))),e(0)=0,D(x)(0)=-
sqrt(V0^2+Vr^2)*cos(betan),D(e)(0)=-sqrt(V0^2+Vr^2)*sin(betan);
u8:=diff(x(t),t$2)=-kn3*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(e(t),t))^2)+kn3*(Vb-
diff(x(t),t))^2,
diff(e(t),t$2)=-kn3*diff(e(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(e(t),t))^2)-g;
deg:={x(t),e(t)}:
P8:=dsolve({u8,v8},deg,numeric,output=listprocedure):
X1:=subs(P8,x(t)):X2:=subs(P8,diff(x(t),t)):X3:=subs(P8,diff(x(t),t$2)):E1:=subs(
P8,e(t)):E2:=subs(P8,diff(e(t),t)): E3:=subs(P8,diff(e(t),t$2)):
T8:=fsolve(E1(t)=-hd,t=0..1);
"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне hd канала ";
X0613K:=X1(T8);

```

```

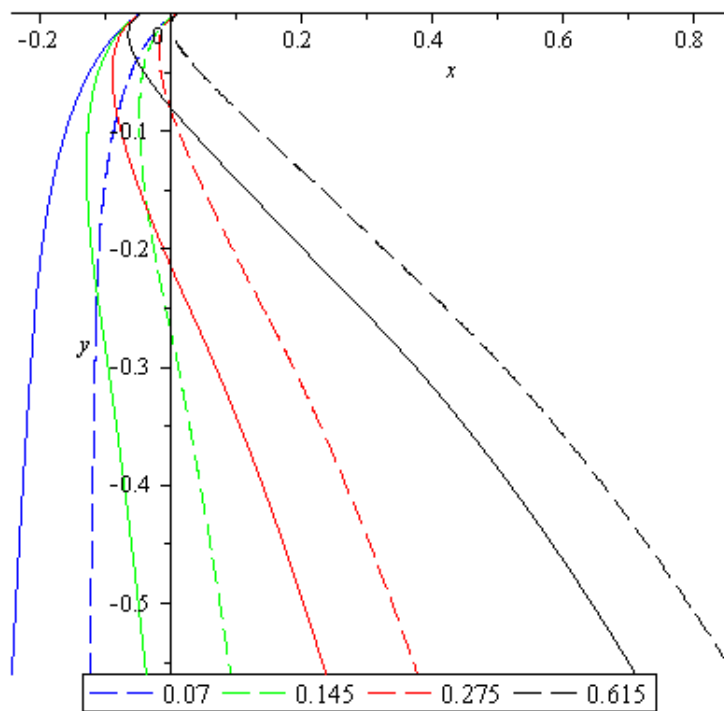
"Проекции скорости на оси, скорость и угол с горизонталью на уровне hd ка-
нала ";
dx0613K:=X2(T8);
dy0613K:=E2(T8);
CK0613K:=sqrt((dx0613K)^2+(dy0613K)^2);
beta0613K:=arctan(dy0613K/dx0613K);
"Длина зоны распределения фуража с коэффициентами парусности 0,145-
0,273";
Lf:=X0273N-X0145N;
"Длина зоны распределения полноценного зерна и фуража с коэффициентами
парусности 0,07-0,145-0,273";
Lof:=X0273N-X007N;
ho:=0.3;
v16:=x(0)=X0613K,ee(0)=-hd,D(x)(0)=dx0613K,D(ee)(0)=dy0613K;
u16:=diff(x(t),t$2)=-kn*diff(x(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(ee(t),t))^2),
diff(ee(t),t$2)=-kn*diff(ee(t),t)*sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(ee(t),t))^2)-g;
deg:={x(t),ee(t)}:
P16:=dsolve({u16,v16},deg,numeric,output=listprocedure):
X1:=subs(P16,x(t)):X2:=subs(P16,diff(x(t),t)):X3:=subs(P16,diff(x(t),t$2)):EE1:=s
ubs(P16,ee(t)):EE2:=subs(P16,diff(ee(t),t)):EE3:=subs(P16,diff(ee(t),t$2)):
T16:=fsolve(EE1(t)=-(hd+ho),t=0..1);
"Координата компонентов вороха по горизонтали на уровне ho осадочной
камеры";
Xo0613K:=X1(T16);
"Длина зоны распределения фуража с коэффициентами парусности 0,145-
0,273 на уровне ho осадочной камеры";
Lfo:=Xo0273N-Xo0145N;
"Длина зоны распределения полноценного зерна и фуража с коэффициентами
парусности 0,07-0,145-0,273 на уровне ho осадочной камеры";
Lofo:=Xo0273N-Xo007N;
> s1:=plots[odeplot](P,[x(t),y(t)],0..T,linestyle=[3],color=[blue],legend=[0.07]):
s2:=plots[odeplot](P2,[x(t),z(t)],0..T2,color=[blue]):
s3:=plots[odeplot](P3,[x(t),i(t)],0..T3,linestyle=[3],color=[green],legend=[0.145]):
s4:=plots[odeplot](P4,[x(t),j(t)],0..T4,color=[green]):
s5:=plots[odeplot](P5,[x(t),m(t)],0..T5,linestyle=[3],color=[red],legend=[0.275]):
s6:=plots[odeplot](P6,[x(t),n(t)],0..T6,color=[red]):
s7:=plots[odeplot](P7,[x(t),o(t)],0..T7,linestyle=[3],color=[black],legend=[0.615]):
s8:=plots[odeplot](P8,[x(t),e(t)],0..T8,color=[black]):
s9:=plots[odeplot](P9,[x(t),yy(t)],0..T9,linestyle=[3],color=[blue],legend=[0.07]):
s10:=plots[odeplot](P10,[x(t),zz(t)],0..T10,color=[blue]):
s11:=plots[odeplot](P11,[x(t),ii(t)],0..T11,linestyle=[3],color=[green],legend=[0.14
5]):
s12:=plots[odeplot](P12,[x(t),jj(t)],0..T12,color=[green]):

```

```

s13:=plots[odeplot](P13,[x(t),mm(t)],0..T13,linestyle=[3],color=[red],legend=[0.2
75]):
s14:=plots[odeplot](P14,[x(t),nn(t)],0..T14,color=[red]):
s15:=plots[odeplot](P15,[x(t),oo(t)],0..T15,linestyle=[3],color=[black],legend=[0.6
15]):
s16:=plots[odeplot](P16,[x(t),ee(t)],0..T16,color=[black]):
with(plots):display(s1,s2,s3,s4,s5,s6,s7,s8,s9,s10,s11,s12,s13,s14,s15,s16);
"График перемещения вороха в канале высотой hd и осадочной камере высо-
той ho ";

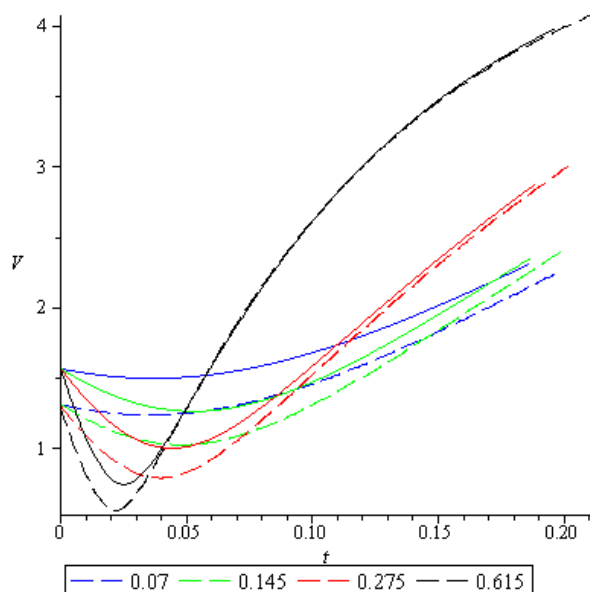
```



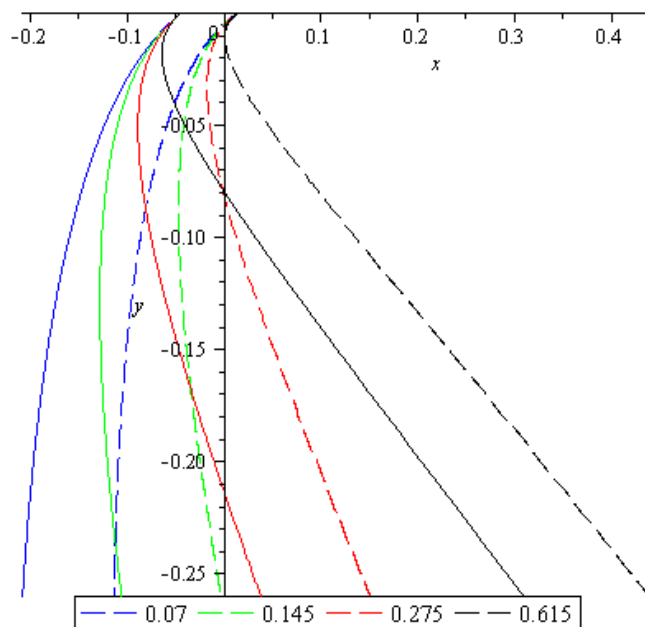
```

>s1:=plots[odeplot](P,[t,sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(y(t),t))^2)],0..T,labels=[t,V],line
style=[3],color=[blue],legend=[0.07]):
s2:=plots[odeplot](P2,[t,sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(z(t),t))^2)],0..T2,color=[blue]):
s3:=plots[odeplot](P3,[t,sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(i(t),t))^2)],0..T3,linestyle=[3],col
or=[green],legend=[0.145]):
s4:=plots[odeplot](P4,[t,sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(j(t),t))^2)],0..T4,color=[green]):
s5:=plots[odeplot](P5,[t,sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(m(t),t))^2)],0..T5,linestyle=[3],c
olor=[red],legend=[0.275]):
s6:=plots[odeplot](P6,[t,sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(n(t),t))^2)],0..T6,color=[red]):
s7:=plots[odeplot](P7,[t,sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(o(t),t))^2)],0..T7,linestyle=[3],co
lor=[black],legend=[0.615]):
s8:=plots[odeplot](P8,[t,sqrt((diff(x(t),t))^2+(diff(e(t),t))^2)],0..T8,color=[black]):
with(plots):display(s1,s2,s3,s4,s5,s6,s7,s8);
"График изменения скорости компонентов вороха в канале в зависимости от
времени его прохождения высотой hd ";

```



```
> s1:=plots[odeplot](P,[x(t),y(t)],0..T,linestyle=[3],color=[blue],legend=[0.07]):
s2:=plots[odeplot](P2,[x(t),z(t)],0..T2,color=[blue]):
s3:=plots[odeplot](P3,[x(t),i(t)],0..T3,linestyle=[3],color=[green],legend=[0.145]):
s4:=plots[odeplot](P4,[x(t),j(t)],0..T4,color=[green]):
s5:=plots[odeplot](P5,[x(t),m(t)],0..T5,linestyle=[3],color=[red],legend=[0.275]):
s6:=plots[odeplot](P6,[x(t),n(t)],0..T6,color=[red]):
s7:=plots[odeplot](P7,[x(t),o(t)],0..T7,linestyle=[3],color=[black],legend=[0.615]):
s8:=plots[odeplot](P8,[x(t),e(t)],0..T8,color=[black]):
with(plots):display(s1,s2,s3,s4,s5,s6,s7,s8);
"График перемещения вороха в канале высотой hd";
```



Приложение Г

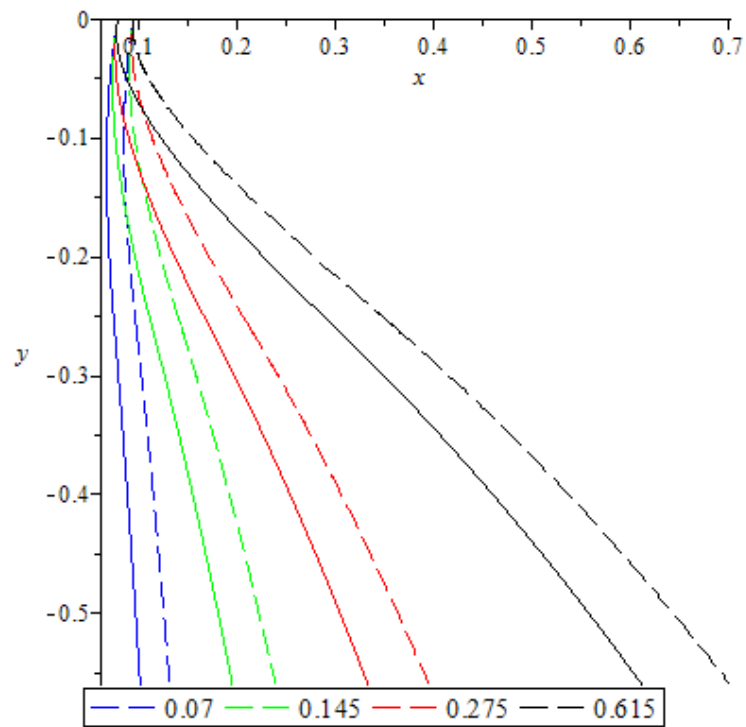


Рисунок Г 2 - Траектории движения компонентов вихря: встречный ввод $\beta_o=105^\circ$; $V_o=1,3$ м/с; $R_{\partial\partial}=0,102$ м; $V_b=8,5$ м/с

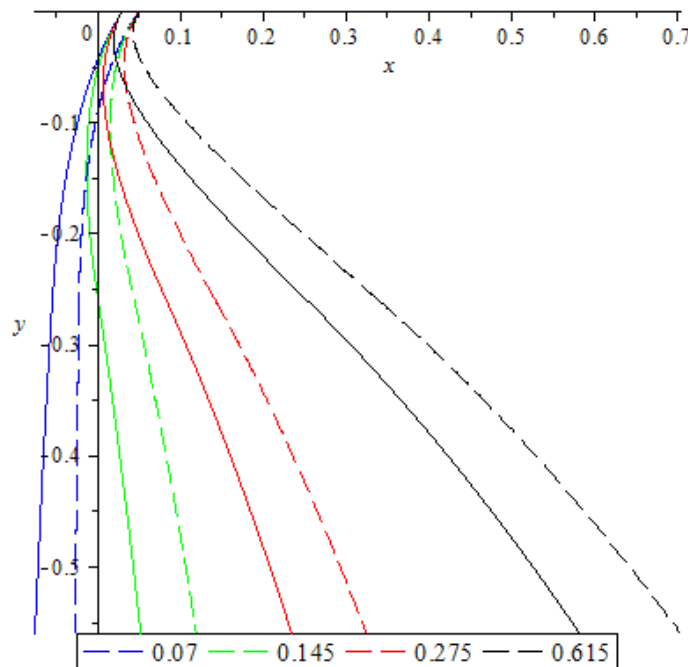


Рисунок Г 3 - Траектории движения компонентов вихря: встречный ввод $\beta_o=135^\circ$; $V_o=1,3$ м/с; $R_{\partial\partial}=0,102$ м; $V_b=8,5$ м/с

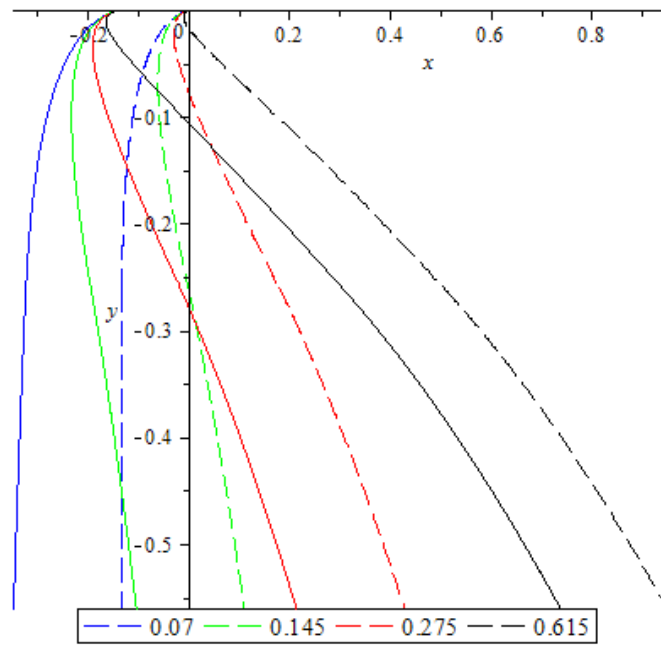


Рисунок Г 4 - Траектории движения компонентов вихря: встречный ввод
 $\beta_o=175^\circ$; $V_o=1,3$ м/с; $R_{\phi\phi}=0,102$ м; $V_b=8,5$ м/с

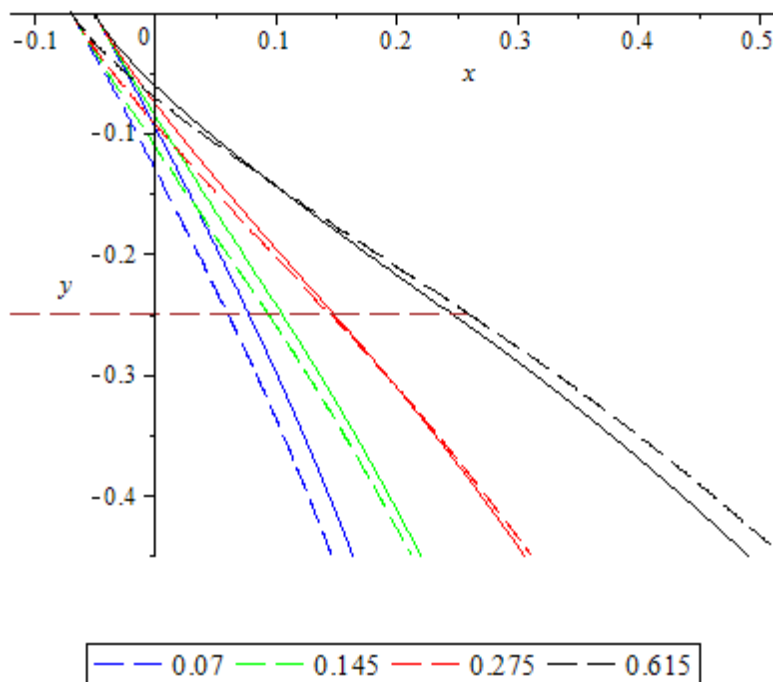


Рисунок Г 5 - Траектории движения компонентов вихря: попутный ввод
 $\beta_o=60^\circ$; $V_o=1,5$ м/с; $R_{\phi\phi}=0,102$ м; $V_b=8,5$ м/с

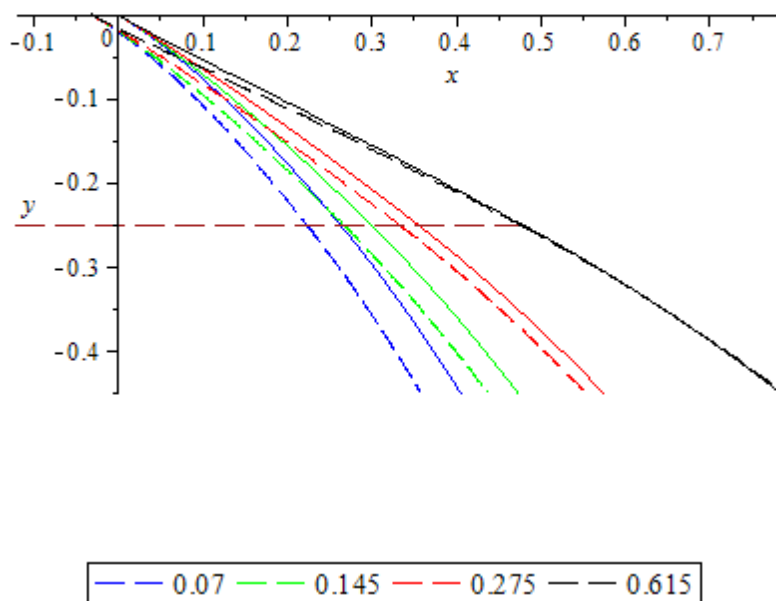


Рисунок Г 6 - Траектории движения компонентов вихря: попутный ввод $\beta_o=30^\circ$; $V_o=1,5$ м/с; $R_{\bar{o}o}=0,102$ м; $V_b=8,5$ м/с

Приложение Д

Таблица Д - Распределение компонентов вороха, выделенных аспирациями по составу

Удельная подача, кг/(с·дм	Выделено дорешетной аспирацией					
	Выделено всего, %	Целое зер- но, %	Недомо- лоченные зерновки, %	Засорите- ли, %	Дробленое зерно, %	Незерно- вые ком- поненты, %
0,40	4,75	3,879	0,087	0,215	0,279	0,290
0,54	4,15	3,301	0,086	0,206	0,270	0,287
0,65	3,47	2,642	0,081	0,203	0,258	0,287
0,83	2,75	1,972	0,070	0,199	0,224	0,284
0,95	2,13	1,392	0,065	0,182	0,218	0,273
1,11	1,84	1,159	0,048	0,176	0,195	0,262
1,52	1,49	0,874	0,035	0,157	0,171	0,253
1,80	1,39	0,798	0,030	0,154	0,166	0,242
	Выделено послерешетной аспирацией					
0,40	1,33	1,013	0,252	0,015	0,016	0,035
0,54	1,18	0,880	0,231	0,017	0,021	0,032
0,65	1,01	0,722	0,207	0,019	0,029	0,033
0,83	0,73	0,470	0,165	0,022	0,031	0,043
0,95	0,63	0,366	0,153	0,024	0,037	0,051
1,11	0,55	0,285	0,137	0,029	0,041	0,058
1,52	0,48	0,226	0,115	0,030	0,046	0,062
1,80	0,42	0,179	0,104	0,031	0,046	0,060

Приложение Ж

Результаты расчета коэффициентов уравнения регрессии для выделения компонентов вороха $B_n, \%$

Multiple Regression Results

```

Dependent:  $B_n, \%$            Multiple R = ,95391380      F = 25,26283
                                R?= ,90995154      df = 14,35
No. of cases: 50              adjusted R?= ,87393215      p = ,000000
                                Standard error of estimate: ,168851672
Intercept: 2,504657091 Std.Error: ,0699682 t( 35) = 35,797 p = 0,0000

      q, b*=-,97      Vn, b*=-,220      bn, b*=-,063
      hn, b*=-,456      q2 b*=-,25      Vn2 b*=-,023
      bn2 b*=-,03      hn2 b*=-,07      q*Vn b*=-,021
      q*bn b*=-,100      q*hn b*=-,001      Vn*bn b*=-,04
      Vn*hn b*=-,079      bn*hn b*=-,015

```

(significant b* are highlighted in red)

Multiple Regression Results (step 8, final solution)

```

no other F to enter exceeds specified limit
Dependent:  $B_n, \%$            Multiple R = ,95215327      F = 49,74408
                                R?= ,90659585      df = 8,41
No. of cases: 50              adjusted R?= ,88837065      p = ,000000
                                Standard error of estimate: ,158888471
Intercept: 2,510150319 Std.Error: ,0579069 t( 41) = 43,348 p = 0,0000

      q, b*=-,97      hn, b*=-,441      q2 b*=-,25
      Vn, b*=-,232      q*bn b*=-,092      Vn*hn b*=-,085
      hn2 b*=-,08      bn, b*=-,068

```

(significant b* are highlighted in red)

Результаты расчета коэффициентов уравнения регрессии для потерь полноценного зерна в фуражную фракцию $\Pi_n, \%$

Multiple Regression Results

```

Dependent:  $\Pi_n, \%$            Multiple R = ,94755689      F = 21,97718
                                R?= ,89786407      df = 14,35
No. of cases: 50              adjusted R?= ,85700969      p = ,000000
                                Standard error of estimate: ,032935864
Intercept: ,156464422 Std.Error: ,0136479 t( 35) = 11,464 p = ,0000

      q, b*=-,39      Vn, b*=-,644      bn, b*=-,15
      hn, b*=-,42      q2 b*=-,215      Vn2 b*=-,031
      bn2 b*=-,05      hn2 b*=-,113      q*Vn b*=-,03
      q*bn b*=-,045      q*hn b*=-,473      Vn*bn b*=-,02
      Vn*hn b*=-,016      bn*hn b*=-,13

```

(significant b* are highlighted in red)

Multiple Regression Results (step 8, final solution)

```

no other F to enter exceeds specified limit
Dependent:  $\Pi_n, \%$            Multiple R = ,94509149      F = 42,86096
                                R?= ,89319793      df = 8,41
No. of cases: 50              adjusted R?= ,87235850      p = ,000000
                                Standard error of estimate: ,031118003
Intercept: ,158316129 Std.Error: ,0113728 t( 41) = 13,921 p = ,0000

      q*hn b*=-,484      Vn, b*=-,639      hn, b*=-,43
      q, b*=-,39      q2 b*=-,203      bn, b*=-,14
      bn*hn b*=-,14      hn2 b*=-,099

```

(significant b* are highlighted in red)

Приложение 3

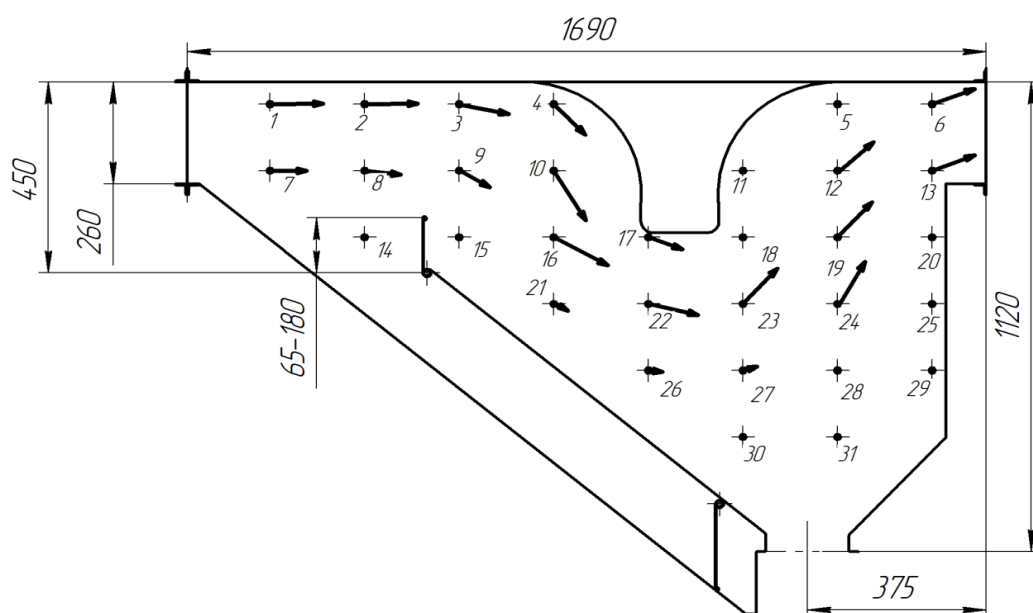


Рисунок 3 - Векторное поле скоростей воздушного потока по сечению осадочной камеры канала дорешетной аспирации

Таблица 3 - Значения скоростей воздушного потока в точках замера осадочной камеры канала дорешетной очистки

№ точки на схеме	Скорость воздушного потока, м/с	№ точки на схеме	Скорость воздушного потока, м/с
1	6,1	17	5,6
2	6,2	18	6,3
3	6,1	19	5,8
4	5,1	20	0,0
5	0,0	21	0,5
6	5,8	22	5,6
7	4,5	23	5,4
8	4,1	24	5,6
9	4,1	25	0,0
10	6,2	26	0,5
11	0,0	27	0,6
12	5,8	28	0,0
13	5,7	29	0,0
14	0,0	30	0,0
15	0,0	31	0,0
16	4,9		

Приложение К

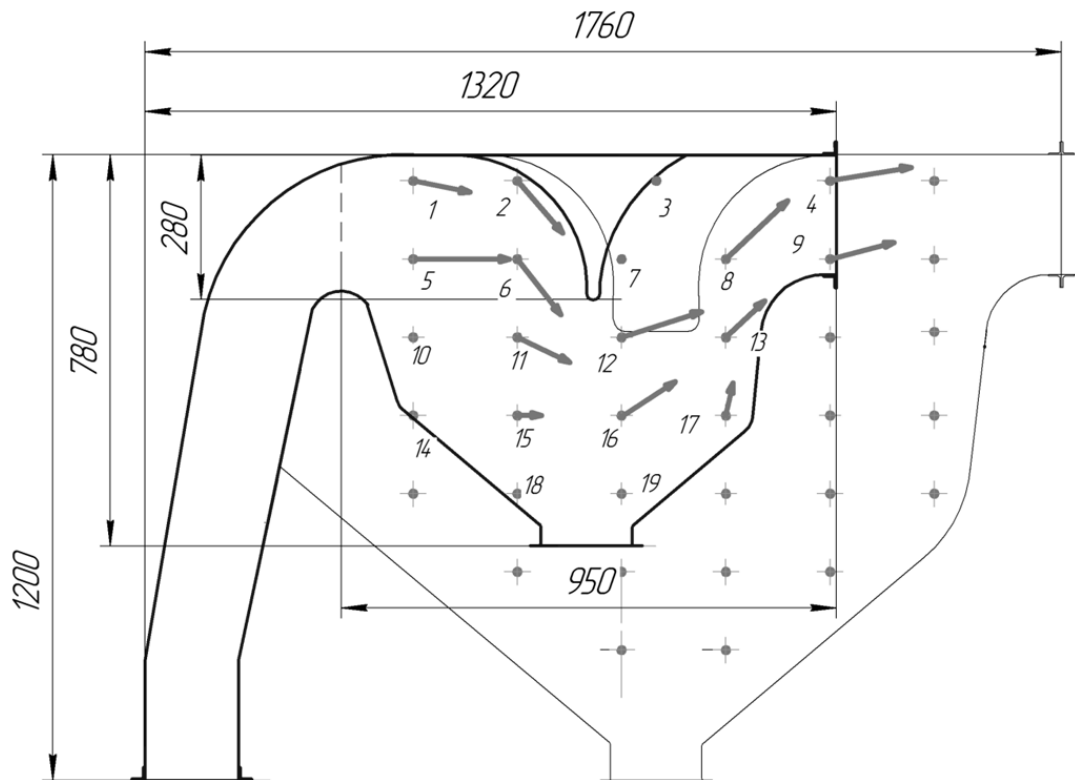


Рисунок К 1- Векторное поле скоростей воздушного потока по сечению осадочной камеры канала послерешетной аспирации уменьшенных размеров

Таблица К 1- Значения скоростей воздушного потока в точках замера осадочной камеры канала послерешетной аспирации уменьшенных размеров

№ точки на схеме	Скорость воздушного потока, м/с	№ точки на схеме	Скорость воздушного потока, м/с	№ точки на схеме	Скорость воздушного потока, м/с
1	5,4	7	0,0	13	4,7
2	8,0	8	8,3	14	0,0
3	0,0	9	6,2	15	1,6
4	7,5	10	0,0	16	5,8
5	9,0	11	5,9	17	1,9
6	8,8	12	9,3	18	0,0

Приложение К

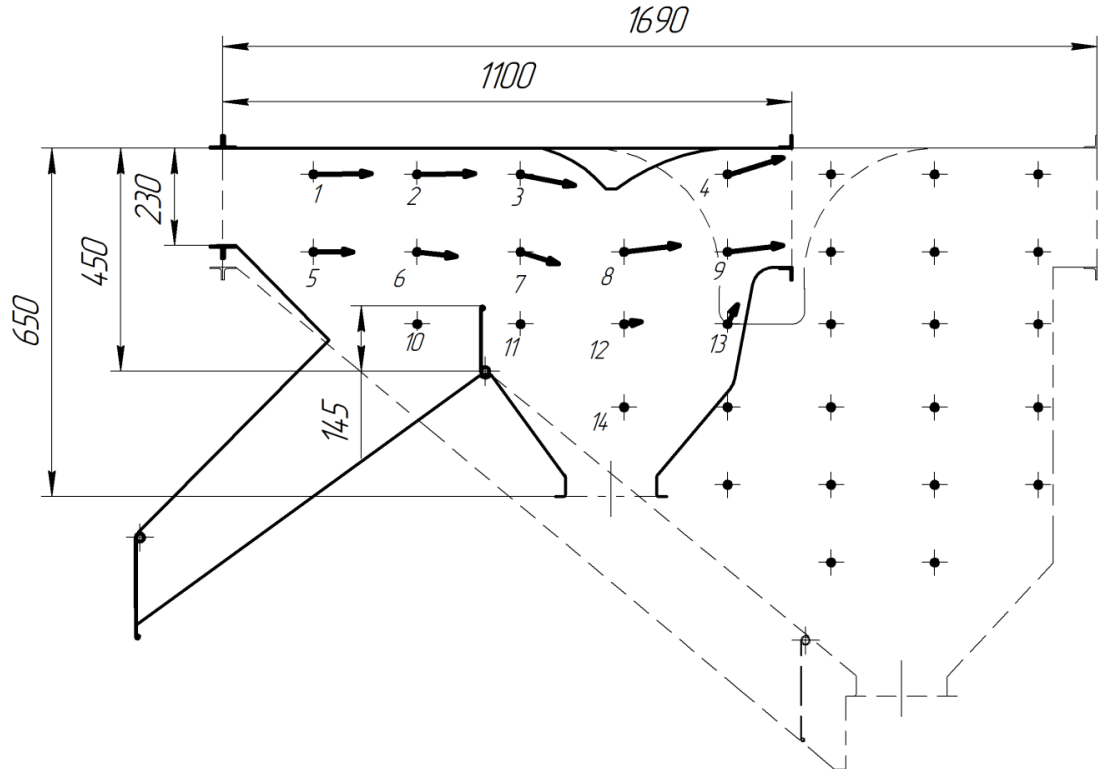


Рисунок К 2 - Векторное поле скоростей воздушного потока по сечению осадочной камеры канала дорешетной аспирации уменьшенных размеров

Таблица К 2 - Значения скоростей воздушного потока в точках замера осадочной камеры канала дорешетной аспирации уменьшенных размеров

№ точки на схеме	Скорость воздушного потока, м/с	№ точки на схеме	Скорость воздушного потока, м/с	№ точки на схеме	Скорость воздушного потока, м/с
1	7,1	6	5,9	11	0,0
2	7,2	7	4,9	12	2,1
3	7,1	8	6,1	13	2,7
4	6,3	9	6,0	14	0,0
5	5,9	10	0,0		

Приложение Л

Таблица Л – Влияние длины колосовых решет на потери зерна при удельной подаче 1,67 кг/(с·дм)

Диаметр отверстий решетных полотен, мм	Длина колосовых решет, м	Потери зерна сходом, %	Удельная нагрузка, кг/(с·дм ²)
Ø 7,0	1,94	0,009	310
	1,74	0,015	346
	1,64	0,069	367
	1,54	0,103	390
	1,44	0,260	418
	1,34	0,751	449
	1,24	4,830	485
Ø 8,0	1,94	0,005	310
	1,74	0,007	346
	1,64	0,011	367
	1,54	0,056	390
	1,44	0,095	418
	1,34	0,174	449
	1,24	0,514	485
Ø 6,5	1,94	6,325	310
	1,74	14,541	346
	1,64	21,323	367
	1,54	28,528	390
	1,44	36,532	418
	1,34	41,614	449
	1,24	49,824	485

Приложение М

УТВЕРЖДАЮ
 проректор по научной работе
 ФГБОУ ВО «Воронежский
 государственный аграрный
 университет имени императора
 Петра I» к. т. н., профессор
 В. А. Гулевский
 15 августа 2016г.

УТВЕРЖДАЮ
 Директор общества с ограни-
 ченной ответственностью
 «Агроимпульс СПС»
 С.М. Савенков
 15 августа 2016г.

Акт

передачи и внедрения результатов исследований
 универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин
 для реализации фракционной технологии послеуборочной обработки

Обществом с ограниченной ответственностью «Агроимпульс СПС» (ООО «Агроимпульс СПС») получены материалы исследований по совершенствованию фракционной технологии послеуборочной обработки зерна и универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин, проведенные на кафедре сельскохозяйственных машин Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) к. т. н., доцентом Гиевским Алексеем Михайловичем и представленные им в диссертационной работе.

Полученные материалы содержат:

- аналитический обзор существующих технологий послеуборочной обработки зерна и результатов их исследований;
- анализ отечественных и зарубежных универсальных воздушно – решетных зерноочистительных машин и тенденции их развития;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований, доказывающие возможность существенного повышения производительности универсальных воздушно – решетных зерноочистительных машин при реализации поточной фракционной технологии послеуборочной обработки;
- принципиальную конструктивно - технологическую схему универсальной двухаспирационной воздушно – решетной машины с последователь-

ным использованием воздушного потока в аспирациях (Пат. 2469525 Российская Федерация, МПК⁷ A01F 12/44 B07 В 4/02), пневмосепарирующим каналом послерешетной очистки с зоной псевдоожижения (Пат. 2386487 Российская Федерация, МПК⁷ B07 4/02 A01F 12/44), гравитационным распределителем вороха по ширине (Пат. 2404864 Российская Федерация, МПК⁷ B07 11/06), шариковой очисткой решетных полотен (Пат. 2386486 Российская Федерация, МПК⁷ B07 В 1/54) и новой компоновкой станков;

- фракционную технологию обработки зернового вороха, реализуемую с использованием разработанных машин, позволяющую увеличить производительность товарной очистки в 1,6...2,0 раза и минимизировать количество механических воздействий на фракцию основного назначения;

- практические рекомендации по выбору конструктивно-технологических схем универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин разной производительности.

Переданные материалы исследований представляют несомненный практический интерес, используются ООО «Агроимпульс СПС» при модернизации зерноочистительных агрегатов и оборудования в хозяйствах региона. Универсальная двухаспирационная воздушно – решетная машины с последовательным использованием воздушного потока в аспирациях производительностью до 65 т/ч включена в перспективный план разработки и постановки на производство на 2017 – 2018 годы.

Инженер ООО «Агроимпульс СПС»



А.А. Петров

Доцент кафедры сельхозмашин

ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, к.т.н.

Заведующий кафедрой сельхозмашин

ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ,

д.с.-х.н., профессор



А.М. Гиевский



В.И. Оробинский



**АДМИНИСТРАЦИЯ
ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ**

398014, г. Липецк, пл. Ленина - Соборная, 1
www.admir.lipetsk.ru

В диссертационный совет
Д 220.010.04
в ФГБОУ ВПО «Воронежский
государственный аграрный
университет имени
императора Петра I»

25.03.2014 № 554-НТ

На № _____

Администрация области подтверждает, что для получения качественного продовольственного зерна и семян сельскохозяйственными предприятиями области внедрена фракционная технология послеуборочной обработки зернового вороха и двухаспирационная пневмосистема с последовательным использованием воздушного потока в аспирациях на универсальных зерноочистительных машинах семейства ОЗФ, разработанная кандидатом технических наук, доцентом Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I Гиевским А.М.

Использование усовершенствованных универсальных зерноочистительных машин с пневмосистемой, обеспечивающей последовательное использование воздушного потока в аспирациях, наряду с другими техническими решениями, позволяет получать высококачественное товарное зерно и семена при повышении производительности на 30...40 % и снижении энергозатрат на послеуборочную обработку на 25...30 %.

Учитывая важность проблемы, получения качественного товарного зерна и семян, их сохранности в послеуборочный период, считаем необходимым дальнейшее внедрение в производство результатов научных исследований по вопросам совершенствования технологий и технических средств для послеуборочной обработки зерна, опубликованные кандидатом технических наук, доцентом Гиевским А.М. в различных научных изданиях, включая патенты, приведенные в его диссертационной работе.

Заместитель главы
администрации области


Н.Ф. Тагинцев



**ДЕПАРТАМЕНТ
АГРАРНОЙ ПОЛИТИКИ
ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

пл. им.Ленина, 12, г. Воронеж, 394018
тел/факс: (473) 212-74-10
e-mail: agro@govvrn.ru
ОГРН 1023602618368
ИНН / КПП 3666092419 / 366601001

В диссертационный совет Д 220.010.04
в ФГБОУ ВО

«Воронежский государственный
аграрный университет имени
императора Петра I»

13.09.2016 № 60-01-12/2016
На № _____

Департамент аграрной политики Воронежской области подтверждает, что для получения качественного продовольственного зерна и семян сельскохозяйственными предприятиями области внедрена фракционная технология послеуборочной обработки зернового вороха на базе усовершенствованных универсальных зерноочистительных машин с последовательным использованием воздушного потока в аспирациях и измененной схемой решетной очистки, разработанная кандидатом технических наук, доцентом ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» Гиевским А.М.

Использование усовершенствованных универсальных зерноочистительных машин с пневмосистемой, обеспечивающей последовательное использование воздушного потока в аспирациях, наряду с другими техническими решениями, позволяет получать высококачественное товарное зерно и семена при повышении производительности на 40...50 % и снижении энергозатрат на послеуборочную обработку до 30 %.

Учитывая важность проблемы, получения качественного товарного зерна и семян, их сохранности в послеуборочный период, департамент аграрной политики области считает необходимым дальнейшее внедрение в производство результатов научных исследований по вопросам совершенствования технологий и технических средств для послеуборочной обработки зерна, опубликованных кандидатом технических наук, доцентом Гиевским А.М. в различных научных изданиях, включая патенты, приведенные в его диссертационной работе.

Руководитель департамента аграрной
политики Воронежской области



А.Ю. Квасов



394035, г. Воронеж, ул. Беленского, 21
Тел: +7 (473) 250-83-83
Факс: +7 (473) 250-84-77
e-mail: info@agrotechholding.ru
www.agrotechholding.ru

АгроТехХолдинг

В диссертационный совет
Д 220.010.04
в ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный аграрный
университет имени
императора Петра I»

ООО «АгроТехХолдинг» получены материалы исследований по совершенствованию фракционной технологии послеуборочной обработки зерна и универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин для ее реализации, проведенные в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) к. т. н., доцентом Гиевским Алексеем Михайловичем и представленные им в диссертационной работе.

Полученные материалы содержат:

- аналитический обзор существующих технологий послеуборочной обработки зерна и результатов их исследований;
- анализ отечественных и зарубежных универсальных воздушно – решетных зерноочистительных машин и тенденции их развития;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований, доказывающие возможность существенного повышения производительности универсальных воздушно – решетных зерноочистительных машин при реализации поточной фракционной технологии послеуборочной обработки;
- принципиальные конструктивно - технологические схемы универсальных двухаспирационных воздушно – решетных машин с последовательным использованием воздушного потока в аспирациях;

- фракционную технологию обработки зернового вороха, реализуемую с использованием разработанных машин, позволяющую увеличить производительность товарной очистки в 1,6...2,0 раза и минимизировать количество механических воздействий на фракцию основного назначения;
- практические рекомендации по выбору универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин для комплектования поточных линий разной производительности, реализующих фракционную технологию очистки.

Переданные материалы исследований представляют несомненный практический интерес и используются ООО «АгроТехХолдинг» при проектировании и строительстве линий и комплексов послеуборочной обработки зерна в хозяйствах региона.

Генеральный директор
ООО «АгроТехХолдинг»



Борисов Б.С