

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н.Прянишникова»

В. Д. Галкин, В. А. Хандриков, А. А. Хавыев

**СЕПАРАЦИЯ СЕМЯН
В ВИБРОПНЕВМООЖИЖЕННОМ СЛОЕ:
ТЕХНОЛОГИЯ, ТЕХНИКА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

Монография

Под общей редакцией профессора В.Д. Галкина

Пермь
ИПЦ «ПрокростЪ»
2017

УДК 631.362.36
ББК 40.711
Г 161

Рецензенты:

В.А. Елтышев, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой деталей машин ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ;

С.Л. Елисеев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой растениеводства ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ;

С.Е. Басалгин, начальник отдела технического сервиса ООО «Навигатор-Новое Машиностроение», г. Пермь.

Г 161 Галкин, В.Д.

Сепарация семян в вибропневмооживленном слое: технология, техника, использование : монография / В.Д. Галкин, В.А. Хандриков, А.А. Хавыев; под общ. ред. В.Д. Галкина; М-во с.-х. РФ; федеральное гос. бюджетное образов. учреждение высш. образов. «Пермский гос. аграрно-технологич. ун-т им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь : ИПЦ «ПрокростЪ», 2017 – 170 с.
ISBN 978-5-94279-376-0

В монографии изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований сепарации семян в вибропневмооживленном слое, направленные на выделение посевного материала с показателями качества ГОСТ Р 52325-2005 при снижении затрат энергии семяочистительных линий зернового вороха кондиционной влажности с использованием вибропневмосепараторов и сокращении потерь высококачественных семян в отходы при фракционной их обработке. Приведены конструктивно-технологические схемы вибропневмосепараторов производительностью 0,5; 1,0; 2,5 т/ч, даны рекомендации по использованию и методике их настройки на заданные условия работы, в том числе по разработанной технологии очистки. Машины прошли ведомственные испытания в учхозе вуза и Пермском НИИСХ.

Книга предназначена для специалистов в области сельского хозяйства, занимающихся подготовкой семенного материала, а также инженерно-технических и научных работников, магистрантов, аспирантов, связанных с разработкой и использованием машин для очистки семян, вообще, и в вибропневмооживленном слое, в частности.

**УДК 631.362.36
ББК 40.711**

Печатается по решению Ученого совета Пермского государственного аграрно-технологического университета.

Научное издание

Галкин Василий Дмитриевич, **Хандриков** Виктор Анатольевич,
Хавыев Алмаз Альбертович

**СЕПАРАЦИЯ СЕМЯН В ВИБРОПНЕВМООЖИЖЕННОМ СЛОЕ:
ТЕХНОЛОГИЯ, ТЕХНИКА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

Монография

Под общей редакцией профессора В.Д. Галкина

Подписано в печать 22.12.17. Формат 60×84 1/8

Усл. печ. л. 21,25. Тираж 50 экз. Заказ № 180

ИПЦ «ПрокростЪ»

Пермского государственного аграрно-технологического университета
имени академика Д.Н. Прянишникова,

614990, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23 тел. (342) 217-65-42

ISBN 978-5-94279-376-0

© *ИПЦ «ПрокростЪ»*, 2017

© Галкин В.Д., 2017

© Хандриков В.А., 2017

© Хавыев А.А., 2017

*Светлой памяти
учителя, профессора
Кошурникова Анатолия Федоровича
с глубокой благодарностью посвящается*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Подготовка и издание монографии обусловлены тем, что публикации в области технологий и средств механизации сепарации семян в вибропневмооживленном слое за последние 10 лет помещены в специальных журналах, сборниках трудов Международных, Всероссийских научных конференций и других изданиях. Это не дает возможности студентам, магистрантам, аспирантам в течение ограниченного времени познакомиться с достижениями науки последних лет, направленных на повышение эффективности подготовки высококачественных семян. Большая часть опубликованных материалов зачастую недоступна, особенно студентам и аспирантам региональных вузов, ввиду ограниченного тиража изданий.

Кроме этого, несмотря на то, что машинная подготовка семян существует более 100 лет, необходимость обеспечения регионов страны посевным материалом зерновых культур, трав, технических, масличных и овощных культур требуемого качества, по-прежнему, является одним из ключевых вопросов в сельском хозяйстве [22,13].

Задача подготовки семян сельскохозяйственных культур предполагает применение ресурсо-энергосберегающих технологий их очистки, основную операцию в которых выполняет машина, разделяющая семенной материал в вибропневмооживленном слое [29]. Еще в 1947 году Н.А. Майсурян [75] в работе «Биологические основы сортирования семян по удельному весу» показал, что семена большей плотности обладают более высокими посевными качествами и дают прибавку урожая до 5 ц/га. Н.Г. Гладков [18] в книге «Зерноочистительные машины» отмечает, что очистка на пневмосортировальном столе может повысить всхожесть одной из фракций семян на 7-11%, а посев семенами, отсортированными по удельному весу, дает прибавку урожая до 15-20%. В.М. Дринча и И.Б. Борисенко [21] отмечают, что применение для посева биологически полноценных семян с высокой всхожестью привело бы и к снижению норм высева до 170-180 кг/га и увеличению валового сбора зерна в стране. Однако эти преимущества обработки семян в вибропневмооживленном слое при подготовке их к посеву до настоящего времени не используются.

Отличительными особенностями монографии, от ранее изданных, является то, что в ней изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований сепарации семян в вибропневмооживленном слое с использованием технических средств, разработанных на кафедре сельскохозяйственных машин ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ. Приведены конструктивно-технологические схемы машин производительностью 0,5; 1,0; 2,5 т/ч, даны рекомендации по использованию и методике их настройки на заданные условия работы. Машины прошли ведомственные испытания в учхозе вуза и Пермском НИИСХ.

Книга предназначена для инженерно-технических и научных работников, занимающихся разработкой машин для сепарации семян в вибропневмооживленном слое, аспирантов, обучающихся по направлению подготовки 35.06.04 Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве (дисциплины: технологии и средства механизации сельского хозяйства, научные исследования в агроинженерии, технологии и технические средства для послеуборочной продукции растениеводства, технологии и средства механизации и обслуживания в сельском, рыбном и лесном хозяйстве.); обучающихся по программам высшего образования: программам магистратуры по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия (дисциплины: энергосбережение в сельском хозяйстве, современные технологии механизированных процессов в агроинженерии, испытания сельскохозяйственных машин, методологические основы научных исследований, моделирование и оптимизация технологических процессов в агроинженерии, проектирование производственных процессов в растениеводстве, современные проблемы науки и производства в агроинженерии, теория рабочих процессов сельскохозяйственных машин); программам специалитета по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (дисциплины: машины и оборудование в растениеводстве, механизация хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, оборудование стационарных комплексов, сельскохозяйственные машины); программам бакалавриата: по направлениям подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, 35.03.06 Агроинженерия (дисциплины: машины и оборудование в растениеводстве, механизация хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, оборудование стационарных комплексов, сельскохозяйственные машины, основы научных исследований); по направлениям подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение, 35.03.04 Агрономия, 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции, 36.03.02 Зоотехния, 38.03.01 Экономика, 20.03.01 Техносферная безопасность (дисциплины: механизация сельскохозяйственного производства, механизация растениеводства, механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве, механизация сельскохозяйственного производства, процессы и оборудование в растениеводстве).

Авторы выражают глубокую признательность инженерам К.А.Грубову, И.Ю.Козловскому, В.У.Горбунову, И.П.Менгалиеву, С.В.Галкину, Р.Г.Сединину, П.С.Серебрянникову, К.С.Килину и др. за участие в ряде исследований, направленных на повышение эффективности сепарации семян в вибропневмооживленном слое.

Если я видел дальше других,
то потому, что стоял на плечах гигантов
И.Ньютон

ВВЕДЕНИЕ

Сепарация семенного материала в вибропневмоожиженном слое является одной из основных операций в технологии подготовки семян, а технологические линии основной очистки семян на предприятиях должны комплектоваться пневмосортировальными столами, устанавливаемыми после воздушно-решетных машин и триеров [76,77,78,83,86,87,88,89,90,101]. К сожалению эта операция практически не используется при подготовке семян, а с применением пневмосортировальных столов обрабатывается менее 1% семенного фонда страны [21].

Пневмосортировальные столы разделяют компоненты семенной смеси по комплексу физико-механических свойств, в том числе по плотности, их используют для сортирования семян, очищенных от примесей, для выделения посевного материала, имеющего более высокую всхожесть и энергию прорастания. Это приводит к снижению нормы высева семян и повышению урожайности. Следует отметить, что в развитых зернопроизводящих странах мира сортирование в вибропневмоожиженном слое является обязательной операцией при подготовке семян [22,23].

Первый пневмосортировальный стол был разработан в 1897 г. в штате Техас (США) братьями Walter Steele и Edward Steele и другом их семьи Henry Sutton. Они создали фирму Sutton Steele & Steele (в настоящее время - «Triple S Dynamics»), выпускающую сепараторы для обогащения полезных ископаемых. Немного позже фирма начала выпуск столов для сепарации семян сельскохозяйственных культур. Первая конструкция стола имела деку трапециевидной формы. С этого момента в области сепарации сыпучих материалов, вообще, и семян сельскохозяйственных культур, в частности, начался новый этап – разделение компонентов по комплексу физико-механических свойств, основным из которых является плотность.

В начале XX столетия появляются фирмы, специализирующиеся на выпуске пневмосортировальных столов в США, – Oliver (учредитель Oliver W. Steele), Kip Kelli и др. Позднее созданы предприятия по проектированию и изготовлению этих машин в Европе – Heid, Kamas и др.

В нашей стране первые работы, посвященные исследованию процессов сепарации семян в вибропневмоожиженном слое, появились после Второй мировой войны, а выпуск столов ССП-1,5, а затем БПС-3У, которые применялись, в основном, в мукомольной и элеваторной промышленности, был налажен на Харьковском заводе «Серп и Молот».

Пневмосортировальные столы, предназначенные для использования в семеноводческих хозяйствах, были разработаны в конце 60-х годов прошлого столетия в ГСКБ «Зерноочистка» (С.В. Жихарев и др.) в сотрудничестве с ВИСХОМом (Л.М. Суконкин и др.) и ВИМом (В.Д. Бабченко и др.), и в 1970 году была выпущена первая партия столов ПСС-2,5 производительностью 2,5 т/ч.

Рост урожайности и валовых объемов зерна обусловили разработку более производительных машин. В 1978 г. был разработан и поставлен на испытания пневмосортировальный стол СПС-5 производительностью 5 т/ч, а в 1989 г. в ГСКБ «Зерноочистка» разработана и успешно прошла Государственные испытания машина окончательной очистки семян МОС-9 производительностью 9 т/ч [22].

Исследования процессов разделения семян в вибропневмооживленном слое продолжают и в настоящее время.

В этой связи целью монографии является изложение результатов теоретических и экспериментальных исследований процесса сепарации семян в вибропневмооживленном слое с использованием разработанных технических средств для окончательной очистки малых партий семян производительностью 0,5; 1,0; 2,5 т/ч.

В первой главе приведены требования, предъявляемые к качеству семян, дается классификация примесей, способы выделения трудноотделимых сорняков, изложены результаты исследования их отделения в вибропневмооживленном слое, дана классификация технических средств осуществления этой операции, приведены конструктивно-технологические схемы технических средств для очистки семян от трудноотделимых примесей.

Во второй главе изложены результаты теоретических исследований движения компонентов под действием вибрации и воздушного потока.

В третьей, четвертой и пятой главах изложены результаты экспериментальных исследований по разработке оригинальных конструкций вибропневмосепараторов производительностью от 0,5 до 2,5 т/ч, разработанных в Пермском ГАТУ.

В шестой главе даны рекомендации по использованию и настройке созданных вибропневмосепараторов.

В седьмой главе приведена энергетическая и технико-экономическая оценка использования технических средств сепарации семян в вибропневмооживленном слое.

В заключении изложены общие выводы по результатам проведенных исследований, а в приложении приведены фотографии фрагментов линий с использованием разработанных технических средств.

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Требования к качеству семян и их очистке в вибропневмооживленном слое

Согласно ГОСТ Р 52325-2005 [20] семена по сортовым и посевным качествам, определяемым, главным образом, чистотой и всхожестью, подразделяются на четыре категории (табл. 1.1). К первой категории относятся оригинальные семена (ОС) – семена первичных звеньев семеноводства, питомников размножения и суперэлиты, произведенные оригинатором сорта или уполномоченным им лицом и предназначенные для дальнейшего размножения. Вторая категория – элитные семена (ЭС) – семена, полученные от последующего размножения оригинальных семян. Семена, предназначенные для использования в качестве родительских форм, относят к категории «элитные семена». Третью категорию составляют репродукционные семена (РС) – семена, полученные от последовательного пересева элитных семян (первое и последующие поколения – РС1, РС2 и т.д.). К четвертой категории относятся репродукционные семена, предназначенные для производства товарной продукции (РСт). Гибридные семена товарного назначения (первое поколение) относят к категории репродукционных семян).

В зерне не должно быть ядовитых и карантинных сорняков, живых вредителей и их личинок. Только в семенах категории РСт допускается незначительное количество клещей (до 20 шт./кг). В семенах категорий ОС и ЭС не допускается содержание семян овсюга.

Качество семян зависит от комплекса технологических операций, начиная от подготовки почвы и заканчивая закладкой их на хранение. Однако, по мнению большинства исследователей, важнейшими операциями формирования качества семян, при прочих равных условиях, являются операции их послеуборочной обработки.

Послеуборочная обработка семенного зерна решает две взаимосвязанные основные задачи – обеспечение длительного срока хранения зерна и доведение его до установленных кондиций по чистоте.

Для решения первой задачи применяют различные способы, главными из которых являются предварительная очистка и сушка зерна и семян.

Вторая задача выполняется в процессе основной очистки зернового вороха от сорной и зерновой примесей и последующего сортирования. Одними из первых ученых, внесших значимый вклад в разработку теории и расчета процесса разделения семян, являются Н.Н. Ульрих [94, 95, 96, 97, 98, 99, 100] и М.Н. Летошнев [72].

Чистота семян отражается на урожайности сельскохозяйственных культур. Засоренность посевов сорными растениями вызывает большие потери влаги, ухудшение условий питания растений, размножение вредителей и болезней, увеличение затрат на борьбу с сорняками.

Таблица 1.1

Сортовые и посевные качества семян основных культур

Категория семян	Сортовая чистота, %, не менее	Поражение посева головней, %, не более	Чистота семян, %, не менее	Содержание семян других растений, шт./кг, не более		Примесь, %. Не более		Всхожесть, %, не менее
				всего	в т.ч. сорных	Головных образований	Склеротций, спороспорыньи	
Пшеница* и полба								
ОС	99,7	0/0	99,0	8	3	0	0	92
ЭС	99,7	0,1/0	99,0	10	5	0	0,01	92
РС	98,0	0,3/0,1	98,0	40	20	0,002	0,03	92
РСт	95,0	0,5/0,3	97,0	200	70	0,002	0,05	87
Рожь								
ОС	-	0	99,0	8	3	0	0	92
ЭС	-	0	99,0	10	5	0	0,03	92
РС	-	0,3	98,0	60	30	0,002	0,05	92
РСт	-	0,5	97,0	200	70	0,002	0,07	87
Ячмень								
ОС	99,7	0/0	99,0	8	3	0	0	92
ЭС	99,7	0,1/0	99,0	10	5	0	0,01	92
РС	98,0	0,3/0,3	98,0	80	20	0,002	0,03	92
РСт	95,0	0,5/0,5	97,0	300	70	0,002	0,05	87
Овес								
ОС	99,7	0	99,0	8	3	0	0	92
ЭС	99,7	0,1	99,0	10	5	0	0,01	92
РС	98,0	0,3	98,0	80	20	0,002	0,03	92
РСт	95,0	0,5	97,0	300	70	0,002	0,05	87
Гречиха								
ОС	-	-	99,0	15	8	-	-	92
ЭС	-	-	98,5	20	10	-	-	92
РС	-	-	98,0	100	60	-	-	92
РСт	-	-	97,0	120	80	-	-	87
Просо								
ОС	99,8	0	99,0	16	10	-	-	92
ЭС	99,8	0	98,5	30	20	-	-	92
РС	99,5	0,1	98,0	150	100	-	-	92
РСт	98,0	0,3	97,0	200	150	-	-	85
Горох посевной и полевой (пелюшка)								
ОС	99,7	-	99,0	3	0	-	-	92
ЭС	99,7	-	98,5	5	0	-	-	92
РС	98,0	-	98,0	20	3	-	-	92
РСт	95,0	-	97,0	30	5	-	-	87

*Всхожесть семян твердой пшеницы на 2% ниже.

Поэтому к чистоте зерна, предназначенного на семенные цели, предъявляются достаточно высокие требования. Семена элиты могут содержать не более 1% (табл. 1.1) примесей. В том числе, в 1 кг таких семян допускается не более 10 штук семян других растений, из них семян сорняков – не более 5.

Из семенного материала также должны быть выделены дробленые, щуплые, раздавленные, проросшие, мелкие с несформированным зародышем семена основной культуры.

Не менее важной характеристикой семян, с точки зрения качества, является их всхожесть. Одним из главных факторов, влияющих на всхожесть, особенно на полевую, является степень травмирования семян.

В процессе работы поточных линий, в зависимости от состава машин и оборудования, конструктивных особенностей зерноочистительной линии, ее производительности и состояния обрабатываемого материала, травмирование семян достигает 60...70%. Около 50...60% травмированных семян приходится на транспортирующие органы (нории, шнеки, зерносливы и т.д.), около 10...15% семян травмируется зерноочистительным и сушильным оборудованием. Травмированные семена в лабораторных условиях могут показать хорошую всхожесть, но в полевых условиях она резко снижается, образуются слабые ростки, которые в процессе вегетации либо выпадут, либо дадут ослабленные растения, в результате снижение урожайности достигает значительной величины.

Известно, что из-за высокой степени микротравмирования семян, урожайность основных зерновых культур в условиях Урала и Зауралья снижается в среднем на 2,0...3,6 ц/га. Поэтому при подготовке семян к посеву необходимо сокращать количество транспортирующих устройств (нории, транспортеры и др.) и доводить семена до требований стандарта за один пропуск [1,2].

Требования, предъявляемые Государственным стандартом к семенам трав, приведены в приложении А.

Среди множества операций по разделению зерновых смесей, в том числе по аэродинамическим свойствам [14], по аэродинамическим свойствам и размерам [34, 45, 46, 47, 48, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 80, 104, 108, 111, 112], направленных на получение высококачественных семян, важнейшей из них является окончательная очистка [22, 37, 38, 39, 44, 49, 71, 74, 81], которая осуществляется, как правило, в вибропневмоожигенном слое.

К этой операции предъявляются следующие требования:

- в вибропневмоожигенном слое разделяют семена, прошедшие очистку по аэродинамическим свойствам и размерам;
- материал должен разделяться на фракции: легкие примеси, очищенный материал, тяжелые примеси;
- чистота семян различных категорий должна соответствовать требованиям ГОСТ Р 52325-2005;
- потери семян основной культуры в фуражные отходы при очистке их от члеников редьки дикой не должны превышать 10% от массы семян в материале, поступающем в машину.

1.2. Способы очистки семян от трудноотделимых примесей и результаты исследований их отделения в вибропневмооживленном слое

Зерновой ворох, поступающий от зерноуборочных комбайнов, и доведенный до кондиционной влажности 14%, состоит из семян основной культуры и примесей. Примеси делятся на легкоотделимые и трудноотделимые. К легкоотделимым относят примеси, которые эффективно выделяются из зерна по геометрическим размерам и аэродинамическим свойствам. После очистки зерновой смеси в воздушно-решетных машинах и триерах, в ней остаются органические и минеральные примеси, которые практически не отличаются от семян основной культуры по этим свойствам. Эти примеси в практике очистки зерна получили название трудноотделимых.

Трудноотделимыми примесями называют такие компоненты зерновой смеси (семена сорных и культурных растений, минеральные примеси), числовые характеристики размеров и аэродинамических свойств которых совпадают или не существенно отличаются от соответствующих числовых характеристик семян основной культуры.

В условиях Пермского края такими примесями, например, для семян пшеницы являются семена овсюга, свербиги, ячменя и членики редьки дикой. Эти примеси незначительно отличаются от основного зерна по размерам и аэродинамическим свойствам. Поэтому их выделение возможно осуществить по совокупности признаков, в том числе, по плотности.

Существует несколько способов разделения зернового материала по плотности. К ним относятся разделение в жидкости, псевдооживленном слое и другие.

Очистка и сортирование в жидкости производится в растворах различных веществ или же в потоке воды. Разделение в потоке воды производится в водоструйных сепараторах в горизонтальном и вертикальном потоках. Для разделения смесей, плотность которых превышает плотность воды, используются солевые растворы. Однако способ сортирования семян пшеницы и ячменя в солевых растворах из-за снижения их биологической ценности (энергии прорастания и всхожести) даже при непродолжительном контакте применять нецелесообразно. Г.С. Куклин предлагает заменить растворы солей суспензией воды и мела. Этот способ применим непосредственно перед посевом семян, и требует дополнительных энергозатрат для сушки после обработки.

Разделение в псевдооживленном слое может осуществляться различными способами:

- вибрационный [8, 9, 10, 51, 52] (воздействие на зерновой слой только вибрациями опорной поверхности);
- пневматический (воздействие на слой постоянным или пульсирующим воздушным потоком);

- вибропневматический [11, 16, 61, 62, 102, 103, 107] (воздействие на зерновой слой вибрациями опорной поверхности и воздушным потоком одновременно); (способ получил название – разделение семян в вибропневмооживленном слое);

- пневмоцентробежный (воздействие на зерновой слой оказывает поле центробежных сил и воздушный поток).

Схемы сегрегация компонентов сыпучей смеси под воздействием вибрации перфорированной поверхности и воздушного потока и разделения компонентов приведены на рисунках 1.1 и 1.2 [93].

Для повышения эффективности отделения примесей отличающихся, в основном, по плотности используется способ очистки в псевдооживленном слое, образованным комбинированным способом. Реализуется он в вибропневмосепараторах.

При этом общая схема разделения осуществляется следующим образом: смесь попадает на перфорированную вибрирующую поверхность, которая продувается восходящим потоком воздуха. В результате происходит расслоение смеси и группировка (сегрегация) в слоях частиц с близкими физическими признаками. После расслоения смесь разделяют различными способами.

Техническими средствами для реализации технологии очистки семян в вибропневмооживленном слое служат пневмосортировальные столы (машины с трапециевидными деками) и вибропневмосепараторы.

Б.В. Желтухин [50] установил, что процесс разделения на деке пневмосортировального стола происходит главным образом под действием аэростатического поля воздушного потока. Полная подъемная сила P , действующая на отдельную материальную частицу в слое сыпучего материала, складывается из аэростатической P_c и аэродинамической силы P_d :

$$P = P_c + P_d. \quad (1.1)$$

Установлено [50], что аэродинамическая сила составляет около 10...15% от аэростатической и её влияние на процесс разделения незначительно. Кроме того она ухудшает качество разделения.

Н.И. Сыромятников [91] предложил критерий, определяющий влияние воздушного потока и вибрации на состояние слоя:

$$R_w = \frac{A \cdot \omega^2}{[g \pm (P_{cp} - P_d) / m]}, \quad (1.2)$$

где P_{cp} – сила сопротивления среды; P_d – аэродинамическая сила.

Приведенный критерий требует уточнения поскольку не учитывает влияние аэростатической силы P_c , которая как отмечено выше намного больше аэродинамической силы P_d .

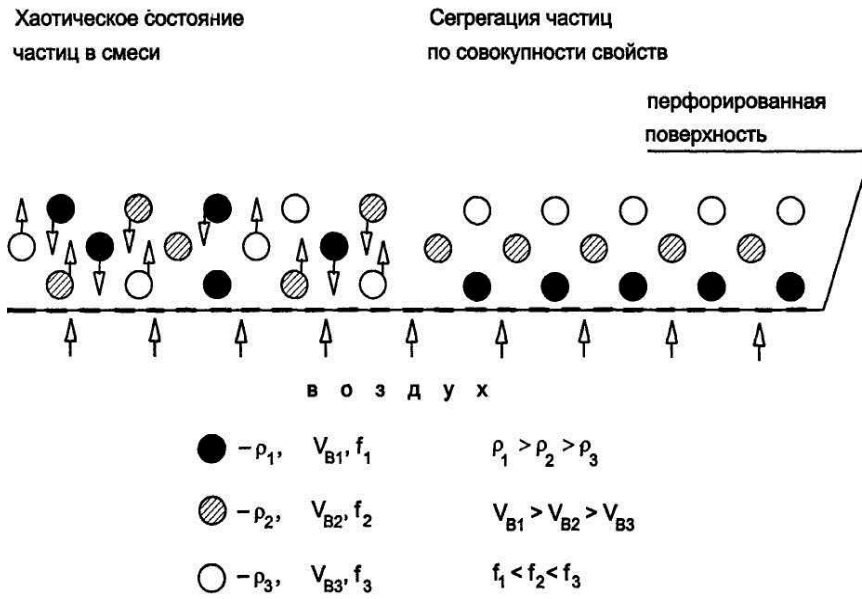


Рис. 1.1. Схемы разделения компонентов сыпучей смеси под воздействием вибрации перфорированной поверхности и воздушного потока

ρ, V, f – соответственно, плотность, скорость витания, коэффициент трения

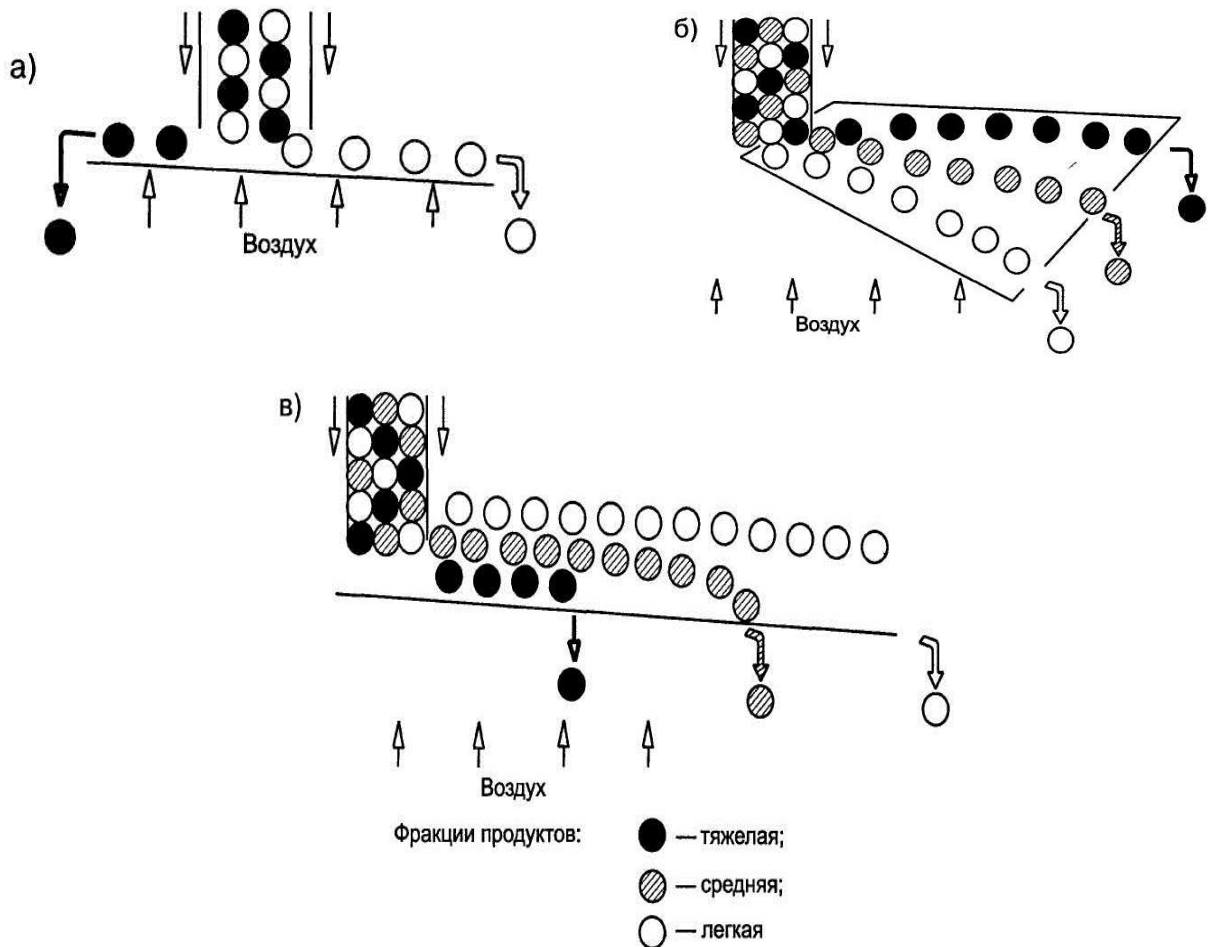


Рис. 1.2. Разделение компонентов сыпучей смеси по совокупности признаков: а) противоточное; б) веерное; в) по убывающей плотности

В.А. Членовым и Н.О. Михайловым [105] было получено уравнение движения частиц в вибропневмооживленном слое, учитывающее силы действия воздушного потока:

$$m_1 \cdot v_q = m_o \cdot (\Delta - 1) \cdot [g + A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t + \varphi)] \pm P_{cp} \pm P_o. \quad (1.3)$$

где $m_1 = m + m'$ – эффективная масса частицы; m' – присоединенная масса; v_q – скорость частицы относительно среды; m_o – масса среды в объеме, равном объему частицы; Δ – отношение средних плотностей частицы и среды; t – время; φ – начальная фаза колебаний среды; P_{cp} – сила сопротивления среды относительно движению частицы; P_o – сила, вызванная действием на частицу проходящего через слой воздуха.

Знаки \pm учитывают направление движения частицы.

$$P_o = C(Re) \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (1.4)$$

где $Re = vd / \nu$ – число Рейнольдса; $\nu = \frac{\mu}{\rho_s}$ – кинематическая вязкость; μ – динамическая вязкость; ρ_s – плотность воздуха; $C(Re)$ – коэффициент давления воздуха на частицу, зависимость которого может быть выражена от числа Re ; v – скорость среды относительно частицы.

Каждая из сил, входящих в формулу (1.3) для $m_1 \cdot v_q$ оказывает свое качественное влияние на структуру вибропневмооживленного слоя. Действующие вибрационные силы пропорциональны массе частицы, а аэродинамические – площади её проекции. При этом при определении P_o не учитывается соотношение масс или плотностей взаимодействующих частиц. Рассматривая движение частицы плотностью больше плотности частиц, образующих слой, с учетом, знака перед P_o , следует полагать, что воздушный поток препятствует процессу сортирования.

Если в пневмооживленном слое отмечается выдувание мелких частиц в верхние участки слоя, а в виброкипящем наоборот более крупные частицы стремятся на поверхность, то в вибропневмооживленном слое с дополнительной фильтрацией воздушного потока сквозь слой, действие этих факторов уменьшается. Суммарное воздействие сил обеспечивает в вибропневмооживленном слое хорошую подвижность и расслоение как крупных, так и мелких частиц. При дополнительной фильтрации воздушного потока влияние вибрации на структуру слоя не ограничивается нижней зоной, а

способствует её улучшению по всей высоте вибропневмооживленного слоя. Это объясняется тем, что вибрация газораспределительной решетки вызывает колебания не только частиц твердой фазы, но и создает пульсации скорости воздушного потока, который распространяет эти колебания по всей высоте материала [41]. Фильтрация слоя жидкостями с малой скоростью снижает до минимума влияние разницы в размерах частиц, и разделение происходит преимущественно по плотности [73].

Ю.А. Космовский [69, 70], В.М. Дринча, С.С. Ямпилев [26] установили, что эффективность сепарации при совместном воздействии на слой вибрации и воздушного потока выше, чем только при воздействии вибрации. В тонких слоях, к тому же, эффективность сепарации повышается за счет пульсации воздушного потока.

Г.Е. Листопад [73], а позднее Н.И. Косилов [68] при составлении уравнения движения отдельной частицы, отличающейся от частиц, образующих слой, силы, действующие на рассматриваемую частицу, определяли вне зависимости от слоя, принимая во внимание только его сопротивление. При этом на другие частицы также действуют силы инерции, воздушного потока, веса и т. д. в тех же направлениях.

В.М. Дринча и С.А. Павлов [43] доказали, что основные параметры процесса сепарации зерновых смесей в псевдооживленном слое, такие же, как и в виброоживленном слое.

В работе В.М. Дринчи и В.С. Стягова [42] рассмотрена энергетическая теория разделения частиц, часто называемая потенциальной теорией. Потенциальная энергия зерновой смеси, состоящей из частиц различной плотности, до и после разделения не одинакова. Учитывая малые размеры частиц по сравнению с размерами рабочего органа, их представили как систему материальных точек, находящихся во взаимодействующем поле внешних сил – гравитационных, аэродинамических и реакции твердых частиц. Качественную оценку процесса производили по величине относительной убыли потенциальной энергии, как частное от деления ΔE (уменьшение потенциальной энергии в процессе расслоения) к Π_0 (потенциальная энергия смеси до разделения):

$$\frac{\Delta E}{\Pi_0} = \frac{(q \cdot p - 1) \cdot \xi \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)}{[p \cdot \alpha + (1 - \alpha) \cdot \xi] \cdot [(1 - \alpha) \cdot q \cdot \xi + \alpha]}, \quad (1.5)$$

где $q=(1-\eta_1)/(1-\eta_2)$ – соотношение объемов частиц в частях слоя после расслоения (η_1 и η_2 – порозности частей слоя); $p=(\rho_1-\rho)/(\rho_2-\rho)$, $\xi=\rho_1/\rho_2$, (ρ_1 , ρ_2 – плотности разделяемых частиц; ρ – средняя плотность слоя); α – весовое содержание компонента с плотностью ρ_1 в исходной смеси в долях единицы.

Потенциальная теория определяет общие принципы разделения, учитывая главным образом, плотность разделяемых частиц и их весовое содержание в исходной смеси.

Чем больше $\Delta E/P_0$, тем успешнее должен происходить процесс расслоения. Эффективность разделения увеличивается с повышением разности плотностей (при постоянных размерах частиц) или размеров частиц (при постоянных плотностях разделяемых компонентов).

Авторы сделали вывод, что для повышения эффективности разделения смесей на вибропневмосепараторах исходный зерновой материал необходимо предварительно выровнять по одному из признаков (размерам или плотности).

А.И. Бортников, В.Д. Шафоростов [12, 106], Ю.Л. Геркулесов [17], В.Д. Бабченко, В.М. Дринча, Л.М. Суконкин [4, 12, 40, 41] создали теорию послыного движения для обоснования рациональных параметров деки вибропневмосепараторов. Теория основывается на положениях, разработанных для наиболее простых случаев относительного безотрывного движения частицы по поступательно колеблющейся плоскости, продуваемой воздухом.

Применительно к процессу извлечения тяжелой (минеральной) примеси при вибропневматическом сепарировании с безотрывным движением тяжелых частиц получены выражения для определения средней скорости тяжелой частицы. Расчетные значения скоростей достаточно близки к опытным данным при работе камнеотделительных машин [19, 84].

Значительные результаты по изучению закономерностей разделения семян на пневмосортировальных столах достигнуты лабораторией зерноочистки под руководством д-ра с.-х. наук Н.Н. Ульриха с момента создания (1930 г.) Всесоюзного института механизации (ВИМ), а с 1972 года – отделом послеуборочной обработки и хранения зерна под руководством академика РАСХН В.И. Анискина этого института. Исследованиями пневмосортировальных столов в ВИМе занимались: М.К. Яременко, Ю.А. Космовский, Ю.Л. Геркулесов, В.Д. Бабченко, В.Н. Богачкин, В.М. Дринча [22, 23, 24, 25, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 67] и другие.

Опыты по уточнению признаков, по которым семена разделяются в вибропневмооживленном слое, проведены М.К.Яременко [109,110] со смесью семян фасоли и клещевины. Средние значения скоростей витания компонентов достаточно близки между собой: 13,1 м/с – фасоль, 12,7 м/с – клещевина, а их плотности имеют существенное различие: 1,25 г/см³ – фасоль, 0,94 г/см³ – клещевина. Компоненты были полностью разделены на пневмостоле. На основании опытов сделан вывод, что наибольшее влияние на процесс сепарации на пневмостоле, оказывает плотность частиц.

Опыты по раздельному влиянию колебаний деки и воздушного потока на процесс разделения смеси семян пшеницы и овса, в равных долях, на пневмостоле проведены Ю.А. Космовским [69].

В первой серии опытов псевдооживленный слой создавали только за счет колебаний деки. При установившемся режиме процесс прерывали, и на разных участках деки отбирали и анализировали пробы материала. Опытами установлено, что в условиях эксперимента, только за счет колебаний деки не происходило разделение семян пшеницы и овса.

Вторая серия опытов по разделению семян пшеницы и овса проведена на специальном стенде при создании псевдооживленного слоя только воздушным потоком. По результатам анализа слоев материала сделан вывод, что при различных скоростях воздушного потока исследуемая смесь семян не разделяется.

В третьей серии опытов семена овса от пшеницы отделяли на пневмостоле путем совместного воздействия вибрации и воздушного потока. В этом случае овес удовлетворительно отделился от пшеницы.

Ю.А. Космовским проведены исследования, которые подтверждают целесообразность работы пневмостола с рециркуляцией части материала, сходящего с деки. Его опытами установлено, что со средней части деки сходит 30-40% материала от исходного, со свойствами, близкими к нему. При повторной обработке этого материала из него удается выделить 50-60% семян, плотность и масса 1000 штук которого выше, чем исходного. Опыты проведены на смеси семян пшеницы и овса. При этом в левой и правой фракциях были получены чистые семена каждой из культур, а в средней – смесь пшеницы с овсом. Повторная обработка средней фракции позволила получить дополнительно 23 и 28%, соответственно, овса и пшеницы.

Влияние формы деки и ее размеров на эффективность работы пневмостола изучал Ю.Л. Геркулесов. Он провел экспериментальные исследо-

вания с целью получения зависимости производительности стола от площади деки [17]. Опыты показали, что увеличение площади деки, при неизменной (трапециевидной) форме, не дает положительных результатов. Причиной этого является увеличение толщины слоя семян на участке расслоения, что вызывает барботажные явления, нарушающие технологический процесс. Ю.А. Геркулесовым предложены новые формы дек, повышающие эффективность разделения семян.

Повышение удельной нагрузки на деку пневмостола возможно за счет изменения режимов его работы. В.Д. Бабченко и В.Н. Богачкин [5,6] показали, что увеличение скорости воздушного потока в 1,4 раза в зоне расслоения материала повышает стабильность технологического процесса. Увеличение скорости воздушного потока на рабочей части деки при одновременном повышении частоты ее колебаний в 1,5 раза и продольного угла наклона до 8 градусов, позволяют увеличить удельную нагрузку на единицу площади деки.

В.Д. Бабченко и В.М. Дринча [3] при проведении исследований пришли к выводу, что для увеличения производительности пневмостола, следует увеличивать площадь деки при одновременном изменении ее формы. Они рекомендуют увеличить длину деки на 400 мм со стороны грузочного участка, что позволит увеличить выход семян при очистке пшеницы от члеников редьки дикой.

Из проведенного анализа работ по сепарации сыпучих смесей в вибро- и вибропневмооживленном слое можно сделать вывод, что теоретические разработки позволяют лишь приближенно описать некоторые качественные стороны процессов. В имеющихся публикациях не приводятся математические модели, описывающую закономерности движения компонентов и их разделения в виброоживленном и вибропневмооживленном слоях. Некоторые выводы, сделанные в работах, являются противоречивыми.

1.3. Классификация технических средств для отделения примесей по комплексу физико-механических свойств

Из технических средств для отделения примесей по комплексу физико-механических свойств наибольшее применение нашли вибропневмосепараторы. Их можно разделить по следующим основным признакам [22]:

- по типу воздушной части – с вакуумной и нагнетательной пневмосистемой;

- по форме деки – с прямоугольной, трапециевидной декой и декой, имеющей форму тела вращения.

Классификация вибропневмосепараторов приведена на рисунке 1.3.

Широкую известность и распространение получили вибропневмосепараторы (ВПС) с трапециевидной декой, так называемые пневмосортировальные столы (ПСС).



Рис. 1.3. Классификация вибропневмосепараторов

Процесс сепарирования на деке пневмосортировального стола состоит из двух взаимосвязанных стадий: расслоение исходного материала в вибропневмооживленном слое (первая стадия); раздельное транспортирование компонентов к различным точкам разгрузочной кромки деки (вторая стадия).

Часть площади деки, в которой происходит процесс расслоения, называют зоной предварительного расслоения, а часть, в которой происходит транспортирование материала, – зоной транспортирования. Зона предварительного расслоения занимает около 1/4 части общей площади деки.

По форме деки ПСС делятся на три типа, обеспечивающие более длительную обработку тяжелой фракции (рис. 1.4, а, б, в) или легкой (рис. 1.4, г) фракций, либо их одинаковое время обработки (рис. 1.4, д).

Наибольшее распространение получили первые. Они используются в пневмосортировальных столах ПСС-1, ПСС-2,5, СПС-5А, МОС-9, фирм

Forsberg (США), Buller (ФРГ), Sutton, Steelle&Steelle (США), Kamas (Швеция), Ocrim (Италия). Вторые применяется в пневмосортировальных столах БПС-3, ССП-1,5, СП-0,5, фирм Oliver (США), Heid (Австрия). Такая дека перспективна для машин высокой производительности, предназначенных, преимущественно, для очистки семян зерновых культур. Третий тип выпускает фирма Kamas. Улучшение качества очистки и сортирования на деке «в» происходит от действия противоположного борта, который производит отсадку всплывших легких примесей, создавая для них граничную зону, что, способствует быстрому их отводу с разгрузочной линии деки.

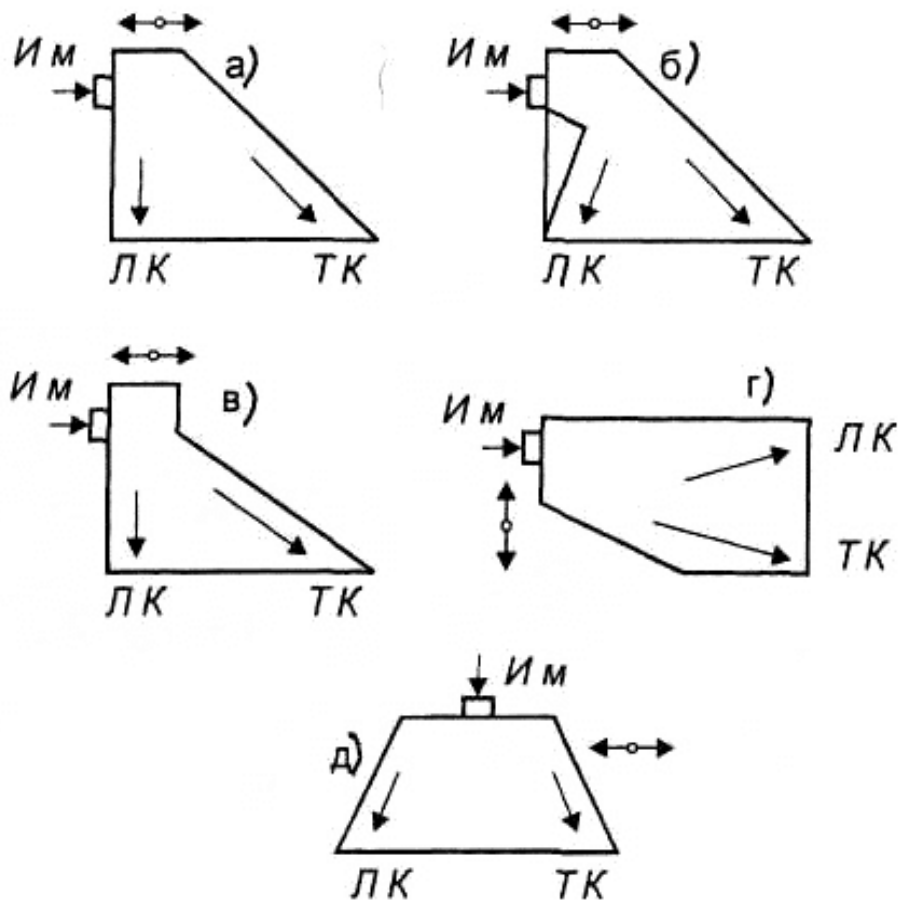


Рис. 1.4. Формы дек пневмостолов: И.М. – исходный материал; Л.К. – компоненты легкой фракции; Т.К. – компоненты тяжелой фракции; ↔ – направление колебаний

Пневмосортировальные столы, помимо формы, отличаются по материалу поверхности деки. Основные критерии при выборе типа поверхности – фрикционные свойства покрытия и сопротивление воздушному потоку. Состояние рабочей поверхности деки зависит от производительности и физико-механических свойств обрабатываемого материала. В качестве покрытия используются сита (БСП-3, ПСС-2,5, СП-0,5), решета пробивные с

круглыми отверстиями (ССП-1,5) и просечно-вытяжные решета с равномерно расположенными жалюзийными выступами, кромки которых направляют в сторону движения тяжелой фракции (СПС-5, МОС-9). Предлагаются конструкции ПСС, совмещающие два покрытия деки: зона транспортирования легкой фракции покрыта тонкой сеткой, а остальная часть – просечно-вытяжным решетом с жалюзийными выступами.

Поверхность деки может быть с рифами (рис. 1.5), параллельными (БПС-3) или перпендикулярными разгрузочной кромке, и без них. Колебания деки всегда направлены параллельно рифам. На деках с рифами тяжелые частицы, опустившиеся в нижние слои, могут перемещаться только вдоль рифов, а легкие частицы под действием силы тяжести движутся поперек рифов под уклон. Наличие рифов повышает устойчивость технологического процесса сепарации при произвольном изменении параметров стола и нарушении распределения материала по деке. Однако такая конструкция деки ухудшает работу ПСС при высокой производительности.

В пневмосортировальных столах с декой без рифления достигается большая удельная производительность, более четкое сортирование при меньшей длине разгрузочной кромки, меньшая энерго- и металлоемкость.

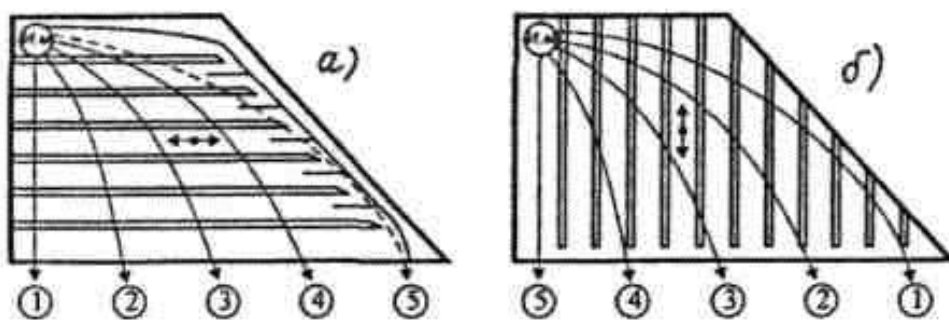


Рис. 1.5. Схемы дек с рифами трапециевидной (а) и прямоугольной (б) формы:

1 – легкий компонент; 2,4 – промежуточные; 5 – тяжелый компонент;
 ↔ – направление колебаний деки

Пневмосортировальные столы, выпускаемые ранее и в настоящее время, по устройству пневмосистем подразделяются на следующие типы:

– вакуумные (СПС-5, МОС-9) (дека продувается восходящим воздушным потоком за счет разряжения над ним, создаваемого вентиляторами, расположенными отдельно от машины);

– нагнетательные, имеющие один (ПСС-1, ССП-2,5, СП-0,5) или несколько вентиляторов (БПС-3, ССП-1,5), которые воздух подают с избыточным давлением в воздушную камеру под рабочую поверхность деки.

При отсосе воздуха из камеры аппарата в ней легче получить выровненное скоростное поле, чем при нагнетании. Кроме того, в ПСС вакуумного типа отпадает потребность в аспирационной системе. ПСС с нагне-

тательной системой необходимо предусматривать систему пылеудаления, если она не предусмотрена в конструкции как у СП-0,5. Эти столы, по сравнению с вакуумными, компактны, удобны в настройке и эксплуатации, так как поверхность деки не закрыта зонтом.

Скорость воздушного потока регулируется воздушной заслонкой вентилятора или изменением сопротивления воздушной системы. Последнее приводит к значительному увеличению энергоемкости процесса. Скорость воздушного потока в машинах, разделяющих зерновую смесь в псевдооживленном слое, должна находиться в пределах 1,2-1,8 м/с. При скорости воздушного потока до 0,7 м/с всплытие на поверхность слоя пшеницы члеников редьки дикой практически не происходит, а при скоростях выше 1,8 м/с происходит образование «фонтанов» и нарушение однородности слоя. Скорость начала вибропсевдооживления при сепарации частиц незначительно зависит от толщины слоя материала. Отсюда следует, что скорость воздушного потока должна быть выровнена по площади деки вибропневмосепаратора за счет использования воздухораспределительной системы.

На выравненность воздушного потока, кроме формы аэродинамической схемы, влияет сопротивление деки. При малом сопротивлении деки (80-140 Па), на распределение воздушного потока существенно влияет неравномерность распределения материала по рабочей поверхности, поэтому аэродинамическая схема ПСС должна обеспечивать дифференцированный подвод воздушного потока к различным участкам деки.

Энергоемкость пневмосортировальных столов составляет (1,8-4,75 кВт·ч/т)[21].

На рисунке 1.6 представлен ВПС с прямоугольной декой. В отличие от ВПС с трапециевидной декой, он имеет только продольный угол наклона деки. Технологический процесс очистки осуществляется следующим образом. Семена поступают из бункера-дозатора 5 и попадают на деку 2. Под действием вибраций и воздушного потока материал расслаивается. Двигаясь по деке, расслоенный вибропсевдооживленный слой разделяется при помощи ножей 4 и попадает в приемники фракций 8. Конструкция приемного устройства, разделяющего слой материала на деке на фракции, во многом определяет качество работы машины [24].

Известны три типа делителей [28] псевдооживленного слоя: ножевой (рис. 1.6, б), решетный (рис. 1.6, в) и шахтный (рис. 1.6, г). Делитель ножевого типа обеспечивает устойчивое разделение псевдооживленного слоя (ПС) только на две фракции. При установке двух и более ножей нарушается структура слоя в зоне их расположения, что существенно снижает качество сепарации и устойчивость заданного выхода фракций.

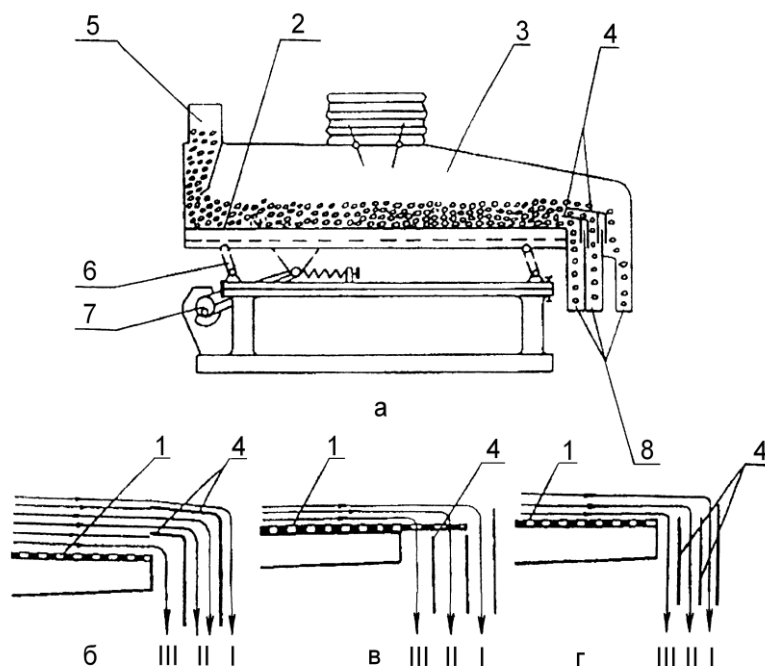


Рис. 1.6.– Вибропневмосепаратор с прямоточной декой и вакуумной системой забора воздуха и схемы делителей псевдооживленного слоя:

а – вибропневмосепаратор; б – ножевой делитель; в – решетный; г – шахтный; 1- разгрузочный конец деки; 2 – дека; 3 – воздухозаборная камера; 4 – делитель ПС; 5 – бункер-дозатор; 6 – качающаяся опора; 7 – вибропривод; 8 – приемники продуктов разделения

Решетный делитель обеспечивает требуемое процентное соотношение фракций при устойчивости процесса, на 10-15% больше, чем ножевой. Однако при движении ПС по решетке происходит смещение слоев материала друг относительно друга, что снижает качество сепарации. Наиболее эффективен шахтный делитель, который обеспечивает устойчивое разделение ПС на три фракции.

Известна конструкция ВПС с прямоточной декой с пневматическими делителями ПС – это ПСС фирмы «Бривет Геф» (Франция)[23].

На рисунке 1.7 представлен ВПС, разделяющий зерновой материал в поле центробежных сил наклонного перфорированного барабана [27].

Принцип разделения смеси в ПС на внутренней поверхности барабана основан на различном положении частиц по периметру разгрузочной кромки со стороны его нижнего основания. Семенной материал при движении вдоль барабана расслаивается.

Легкие примеси всплывают в верхние слои, а полновесные и тяжелые компоненты поступают в средние, нижние слои, последние соприкасаются с цилиндрической поверхностью барабана и смещаются в сторону его

вращения. В результате по периметру разгрузочной кромки барабана материал классифицируется в зависимости от комплекса свойств частиц.

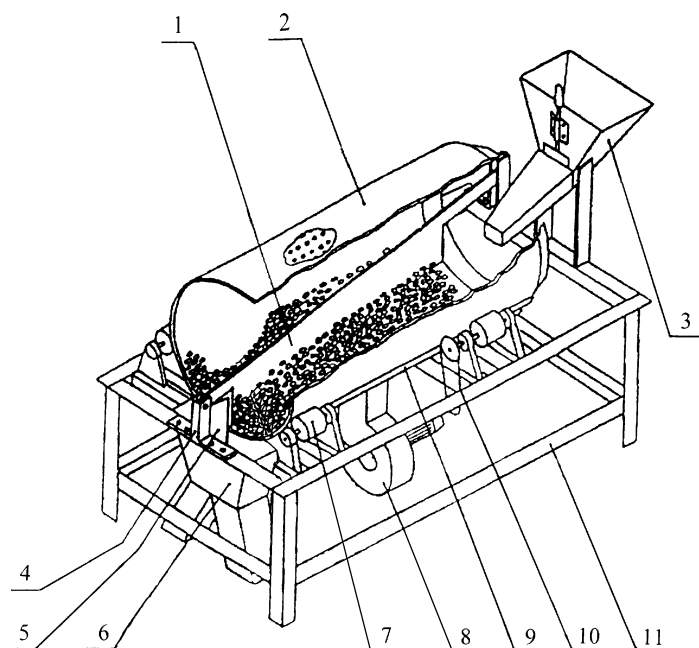


Рис. 1.7. – ВПС разделяющий зерновой материал в поле центробежных сил:

1 – перегородка; 2 – перфорированный барабан; 3 – бункер-дозатор; 4 – кронштейны; 5 – планка для разделения материала на фракции; 6 – приемник фракций; 7 – ролик; 8 – вентилятор; 9 – воздухоподводящий кожух; 10 – привод барабана; 11 – рама

Удельные зерновые нагрузки при сепарировании в ПС в поле центробежных сил в 1,3-2,1 раза выше (в зависимости от свойств исходного материала и выделяемых компонентов), чем в ВПС с плоскими деками. При этом совокупные энергозатраты в центробежных рабочих органах на 22-45% ниже, чем сепараторах с плоскими деками, а эффективность сортирования по массе семян находится на уровне сепараторов с прямоточной декой.

Применение подобных машин позволяет совмещать операции предварительной и первичной очистки по существующим технологиям подготовки зерновых материалов.

1.4. Конструктивно-технологические схемы технических средств для очистки семян в вибропневмооживленном слое

Исследования вибропневмосепараторов начались в конце XVIII века и в настоящее время продолжают в Дании, Австрии, США, Германии, Швеции, Италии, России и других странах.

1.4.1. Пневмосортировальные столы отечественного производства

Первыми отечественными пневмостолами были столы СП-0,5 (рис. 1.8) и ССП-1,5 (рис. 1.9), затем поставлен на производство стол БПС-3.

Пневматический сортировальный стол СП-0,5 [18] имеет загрузочный ковшовый элеватор с бункером. Для отсоса пыли, образующейся над декой, имеется зонт, соединенный трубопроводом с вентилятором.

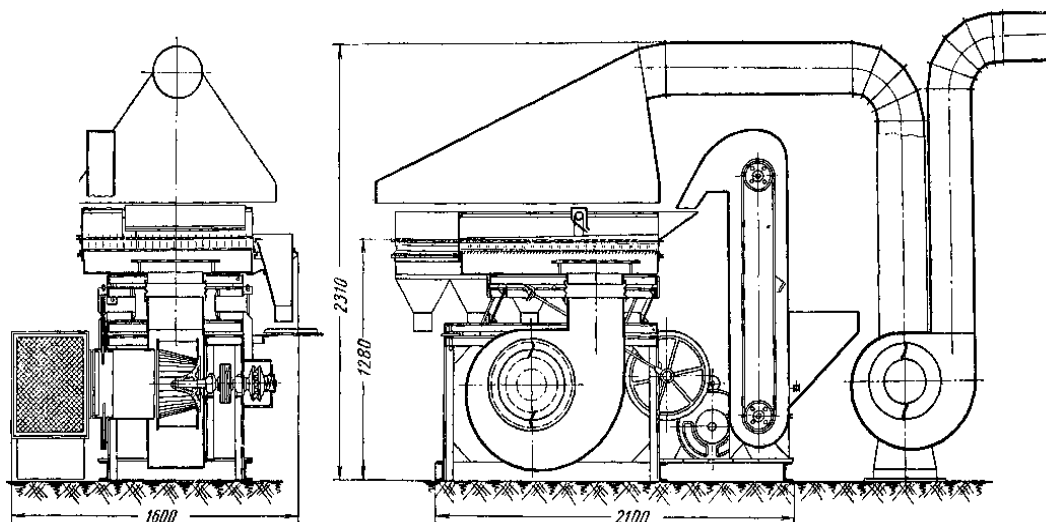


Рис. 1.8. Пневматический сортировальный стол СП-0,5

Пневматический сортировальный стол ССП-1,5 [18] предназначен для очистки семян сельскохозяйственных культур от сорняков, не отделяемых обычными способами (членики редьки дикой – из пшеницы; лен из гречихи; рожки спорыньи – из ржи; горох, пораженный брухусом; шавелек и щетинник сизый – из тимофеевки и т.д.), а также для сортирования семян различных культур по удельному весу. Он применяется также для разделения и окончательного отбора калиброванных семян кукурузы для посева.

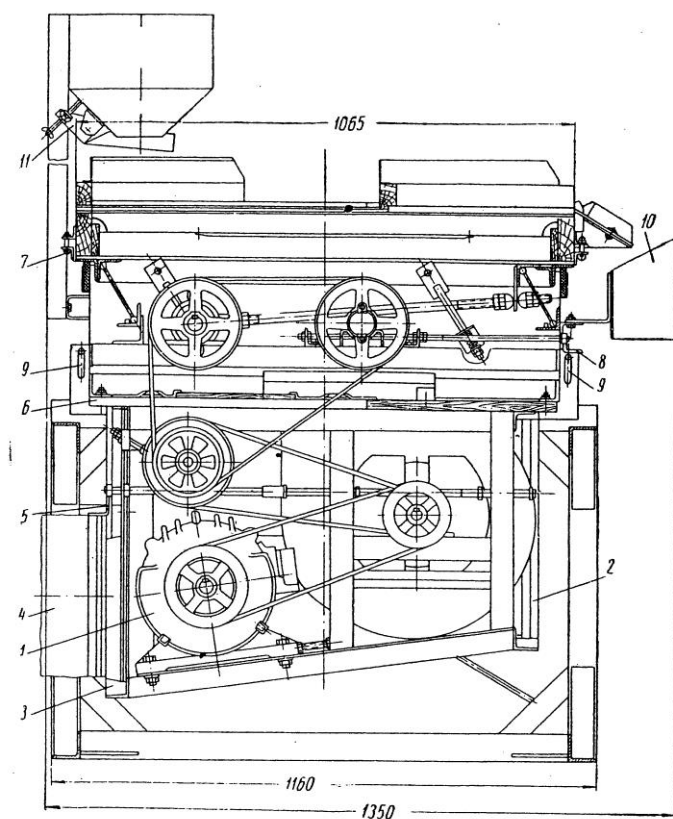


Рис. 1.9. Пневматический сортировальный стол ССП-1,5 (поперечный разрез):
 1 – электродвигатель,
 2 – воздушный фильтр,
 3 – рама, 4 – заборник воздуха,
 5 – рукоятки управления воздушными заслонками,
 6 – плита, 7 – крепления рамы,
 8 – рукоятка управления частотой колебаний стола,
 9 – зажим рамы, 10 – сборник фракций семян,
 11 – заслонка бункера.

Устройство стола [18] показано на рисунке 1.9. Разделение семян происходит на деке. На поверхности деки укреплены планки-рифы. Для крупных семян (пшеницы, ржи, гороха и др.) применяется дека с металлической сеткой, а для мелких (тимофеевки, клевера, рыжика и др.) – полотняная ткань. Дека установлена над воздушной камерой с наклоном в продольном и поперечном направлениях. Вместе с камерой она совершает колебательные движения. Воздушная камера соединена с выходными отверстиями вентилятора. Краткая техническая характеристика пневмосортировальных столов представлена в таблице 1.2.

Таблица 1.2.

Краткая техническая характеристика пневмосортировальных столов

Показатели	СП-0,5	ССП-1,5
Производительность, т/ч на пшенице	0,6 – 1	1,5-2,0
Потребная мощность, кВт	5,5 – 7	7
Габаритные размеры, мм:		
длина	2100	2635
ширина	1600	1350
высота	1500	1290
высота с зонтом	2310	
Амплитуда колебаний деки, мм	5	3,2
Число колебаний деки, мин ⁻¹	310-540	275-585
Рабочая площадь деки, м ²		1,8
Масса, кг	1060*	750

* вес машины с электродвигателем, вентилятором и аспирационным устройством

Над декой в поперечном направлении установлена труба для отгона легких примесей, сообщающаяся с воздушной камерой.

Частоту колебаний деки в пределах от 275 до 585 мин⁻¹ можно регулировать вариатором. Деку устанавливают в продольном направлении под углом 0-8,5°, а в поперечном направлении под углом 0-5,5°.

Воздух, поступающий в воздушную камеру, очищается фильтром.

Исходная зерновая смесь по мере поступления из самотечной трубы на сортирующую поверхность деки рассредотачивается на ней с преимущественным сдвигом к верхнему боковому борту деки (на рисунке он расположен слева).

Одновременно под действием восходящего потока воздуха и вибраций деки происходит расслоение зерновой смеси и движение слоев. В плане деки траектории движения разных по высоте слоев, отличающихся плотностью компонентов, пересекаются и затем как бы сливаются в отдельные потоки, не имеющие между собой четко обозначенных границ, но в целом существенно различающиеся по свойствам компонентов.

Тяжелые компоненты, имеющие большую плотность (камешки, комочки грунта), образуя нижний слой, перемещаются с тяготением к траектории *A* и сходят с деки через отверстие в верхнем бортике или попадают в специальный карман *I* на деке. Возможность выделения примесей с большей плотностью, чем у основного зерна, например камешков, является достоинством пневмосортировального стола. Однако, при обработке семенного материала это качество имеет второстепенное значение.

Пневмосортировальный стол БПС-3 показан на рисунке 1.10, а процесс сортирования на деке изображен на рисунке 1.11 [18].

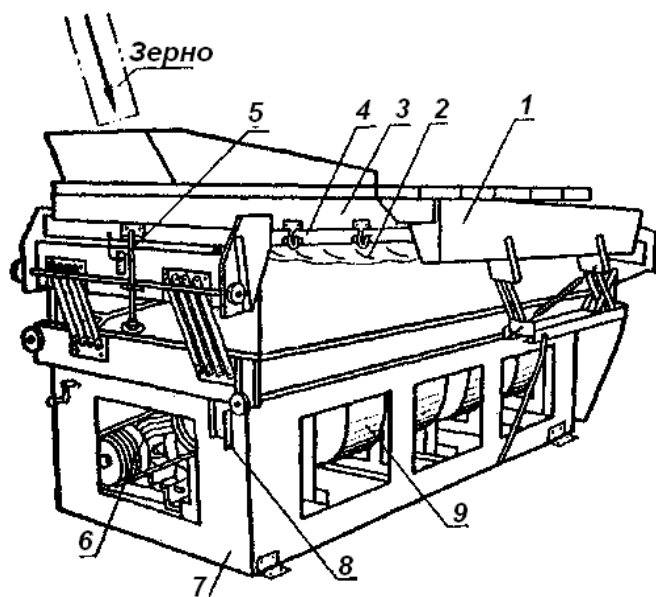


Рис. 1.10. Пневмосортировальный стол БПС: 1 – транспортирующий лоток; 2 – соединительный рукав; 3 – кузов деки; 4 – опорная рама; 5 – шкала продольного наклона деки; 6 – вариатор привода; 7 – станина машины; 8 – шкала поперечного наклона деки; 9 – вентиляторы (на рисунке фортки с фильтровальной тканью не показаны).

Непосредственно над нижним слоем оказываются компоненты, движение которых приближается к траектории *B*. Их плотность меньше, чем у компонентов, движущихся по траектории *A*, но больше, чем у всей зерновой смеси.

Компоненты, всплывающие в самый верхний слой, как имеющие наименьшую абсолютную и относительную плотность, движутся по траектории *E* вдоль нижнего бортика деки.

Между траекториями *B* и *E*, соответствующими крайним значениям плотности компонентов зерновой смеси (за исключением минеральной примеси), перемещаются по траекториям *B*, *Г*, *Д* компоненты с промежуточными значениями этого показателя. Причем плотность компонентов снижается в направлении от верхнего борта к нижнему. Отсекающие планки, установленные вдоль разгрузочной кромки деки, делят зерновой поток на три различные по составу фракции (I, II и III, см. рис. 1. 11), поступающие в разные приемники.

Первая фракция представляет собой самую ценную часть зерновой смеси, наиболее полно очищенную от трудноотделимой низконатурной примеси и состоящую из наиболее тяжелых, выполненных зерен с объемной массой более высокой, чем у исходной зерновой смеси.

Третья фракция состоит из зерновок с наименьшей объемной массой и массой 1000 зерен и содержит концентрат трудноотделимой низконатурной примеси.

Вторая фракция является промежуточной между первой и третьей, и в зависимости от условий отделения может по составу приближаться к одной из них.

При обеспечении требуемой чистоты первой фракции промежуточная фракция содержит часть полноценных зерен, поэтому ее направляют на дополнительную обработку, или на другой пневмосортировальный стол, или обратно в бункер над тем же пневмосортировальным столом.

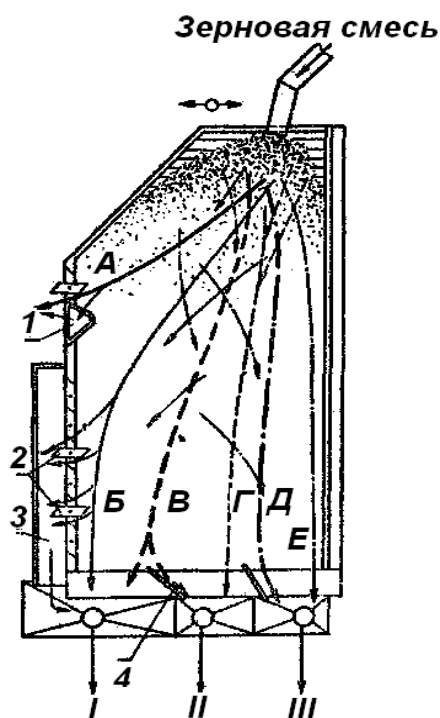


Рис. 1.11. Схема движения компонентов зерновой смеси на деке пневмосортировального стола БПС:

- 1 – карман;
- 2 – поворотные планки;
- 3 – транспортирующий лоток;
- 4 – отсекающие планки.

Иногда отсекающие планки 4 на разгрузочной кромке деки ставят так, чтобы всю сходящую с нее зерновую смесь разделять на две части без отбора промежуточной фракции. В таком варианте осложняется обеспечение надежной полноты очистки первой фракции и увеличивается поступление полноценного зерна во вторую фракцию, которую в этом варианте относят к отходам семенного зерна.

В России выпускались пневмосортировальные столы марок ПСС-2,5, СПС-5, а в настоящее время – МОС-9Н, МОС-9С и ПСС-1 производства ОАО ГСКБ «Зерноочистка». Их краткая характеристика приведена в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Краткая техническая характеристика
выпускаемых пневмосортировальных столов

Показатели	ПСС-1	ПСС-2,5	СПС-5	МОС-9Н
Производительность на пшенице, т/ч	1	2,5	5	6
Установленная мощность, кВт	3,75	6,6	11,75	16,1
Габаритные размеры, мм				
длина	1500	2030	2535	2600
ширина	1100	1585	1900	1900
высота	1750	1500	2050	2000
Масса, кг	500	740	950	1180
Площадь деки, м ²	0,46	1,08	1,56	-

Пневматический сортировальный стол ПСС-1 [21] предназначен для очистки от трудноотделимых примесей, отличающихся от основной культуры удельным весом, формой и свойствами поверхности семян зерновых, зернобобовых, овощных культур и трав. Стол обеспечивает сортирование образцов семян массой (30-50 кг) и партий семян в несколько тонн (рис. 1.12).

Основными узлами пневмосортировального стола являются станина, вентилятор, приемный бункер, виброрама с рабочей поверхностью (дека), механизмы регулировки поперечного и продольного наклонов деки, приемник, мешкодержатель, привод и регулятор воздушного потока.

Процесс работы ПСС-1 приведен на рис. 1.13.

Пневматический сортировальный стол ПСС-2,5 предназначен для дополнительной обработки (доочистки от трудноотделимых семян сорняков или сортирования) зерна и семян различных культур, предварительно прошедших очистку в воздушно-решетных машинах и триерах.



Рис. 1.12. Общий вид ПСС-1



Рис. 1.13. Технологическая схема работы ПСС-1

Машина состоит из следующих сборочных единиц: (рис. 1.14): бункер-питатель, дека *1* (делительная поверхность) с вибропроводом, электроventильатор *7*, воздушная камера, входные фильтры, вытяжной зонт, приемник фракций *8*. Бункер-питатель оснащен выпускным шибером для регулирования подачи смеси. Дека имеет натянутую металлическую сетку (для крупносеменных культур) или сетку с тканевым покрытием для обработки мелкосеменных культур.

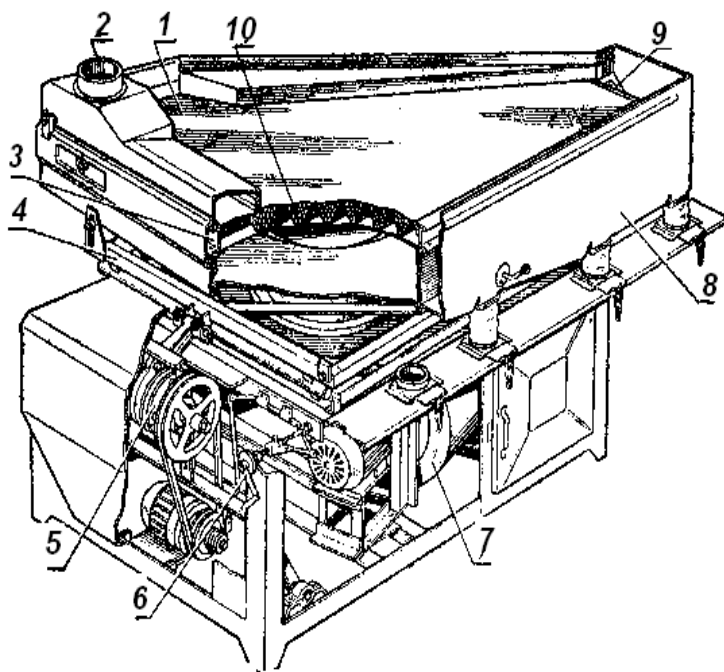


Рис. 1.14. Пневматический сортировальный стол ПСС-2,5:

1 – дека; *2* – патрубок ввода зерна; *3* – верхняя рамка; *4* – нижняя рамка; *5* – механизм регулировки амплитуды колебаний деки; *6* – механизм регулировки частоты колебаний деки; *7* – вентилятор; *8* – приемник фракции; *9* – клапан; *10* – поддерживающая решетка

Под рабочей сеткой расположены две воздуховыравнивающие решетки, одна из которых (опорная, гофрированная) имеет сплошную перегородку для забора требуемого объема воздуха в зоне предварительного расслоения обрабатываемой смеси, а другая (нижняя) — переменное живое сечение отверстий для создания требуемого воздушного напора на поверхности рабочей сетки. Продольный и поперечный углы наклона деки регулируют в пределах 0-8°. Рабочая площадь деки 1,2 м². В колебательное движение дека приводится эксцентриковым самобалансным механизмом (вибропривод) через шатун. Амплитуду колебаний деки регулируют в пределах 0-8 мм разворотом эксцентриков, а частоту колебаний 360...610 кол/мин — клиноремненным вариатором.

Электроventильатор *7*, состоящий из электродвигателя АО2-42-4 (мощностью 5,5 кВт при 1500 об/мин) с насаженным на вал рабочим колесом, кожуха и патрубка, предназначен для нагнетания воздуха в камеру.

Частота вращения вентилятора 1440 об/мин. Расход воздуха 9000 м³/ч, максимальный напор 1200 Н/м².

Воздух проходит через фильтры, воздушную камеру и патрубок. Регулируют воздушный поток заслонками на входе вентилятора.

Стол пневмосортировальный СПС-5 [85] предназначен для очистки семян зерновых, зернобобовых, крупяных и масличных культур от трудноотделимых примесей. В этой машине зерновая смесь разделяется по комплексу физико-механических свойств (удельный вес, крупность, форма, свойства поверхности). Это позволяет наряду с очисткой зерна от трудновыделимых примесей, разделить семенной материал на фракции с различными посевными качествами.

В поточных семеочистительных линиях стол СПС-5 устанавливается, как правило, после воздушно-решетных и триерных машин.

Устройство стола показано на рисунке 1.15. Машина состоит из следующих узлов и механизмов: станины 21, деки 7, зонта 3, вибропривода 19, механизмов регулировок продольного 20 и поперечного 24 углов наклона стола, регулятора 4 частоты колебаний деки, регулятора скорости воздушного потока 12, загрузочного рукава 14 с питателем, патрубка 15, приемников фракций 2. В комплект поставки входят вентилятор и воздуховоды.

Стол пневматический сортировальный соединен с вентилятором посредством патрубка 15.

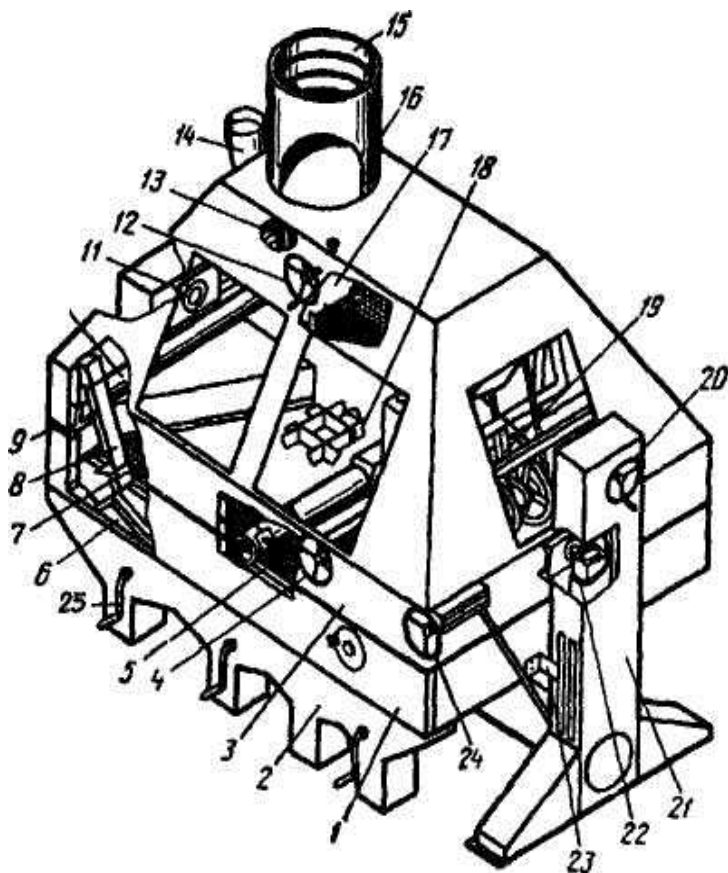


Рис. 1.15. Пневматический сортировальный стол СПС-5:

1 – корпус деки; 2 – приемник фракции; 3 – зонт; 4 – регулятор частоты колебания деки; 5 – пружина; 6 – заслонка; 7 – дека; 8 – подвеска; 9 – уплотнение; 10 – стяжка; 11 – ось; 12 – регулятор скорости воздушного потока; 13 – светильник; 14 – загрузочный рукав; 15 – патрубок; 16 – хомут; 17 – бункер; 18 – фильтр; 19 – вибропривод; 20 – регулятор продольного угла наклона деки; 21 – станина; 22 – ось; 23 – кронштейн; 24 – регулятор поперечного угла наклона деки; 25 – рукоятки.

На станине 21 на подвесках установлена рама шарнирно связанная с декой 7, над которой крепится зонт 3, образующий воздушную камеру над ситовой поверхностью деки. Зонт уплотнением 9 соединяется с аспирационной системой машины. Дека представляет собой перфорированную ситовую поверхность, продуваемую воздушным потоком.

Питатель имеет воздушный затвор с регулируемым подпружиненным клапаном. Приемник фракций 2 с четырьмя выходами имеет противоположные клапаны. Длина кромок деки, с которых материал поступает в приемник, регулируется заслонками путем поворота рукояток 25.

Вибропривод 19 связан с декой шатуном, сообщая ей колебательное движение под углом к горизонту. Частота колебаний деки регулируется клиноременным вариатором, перемещаемым вместе с электродвигателем рычажно-винтовым механизмом.

Пневмостол может работать по следующим трем технологическим схемам (рис. 1.16).

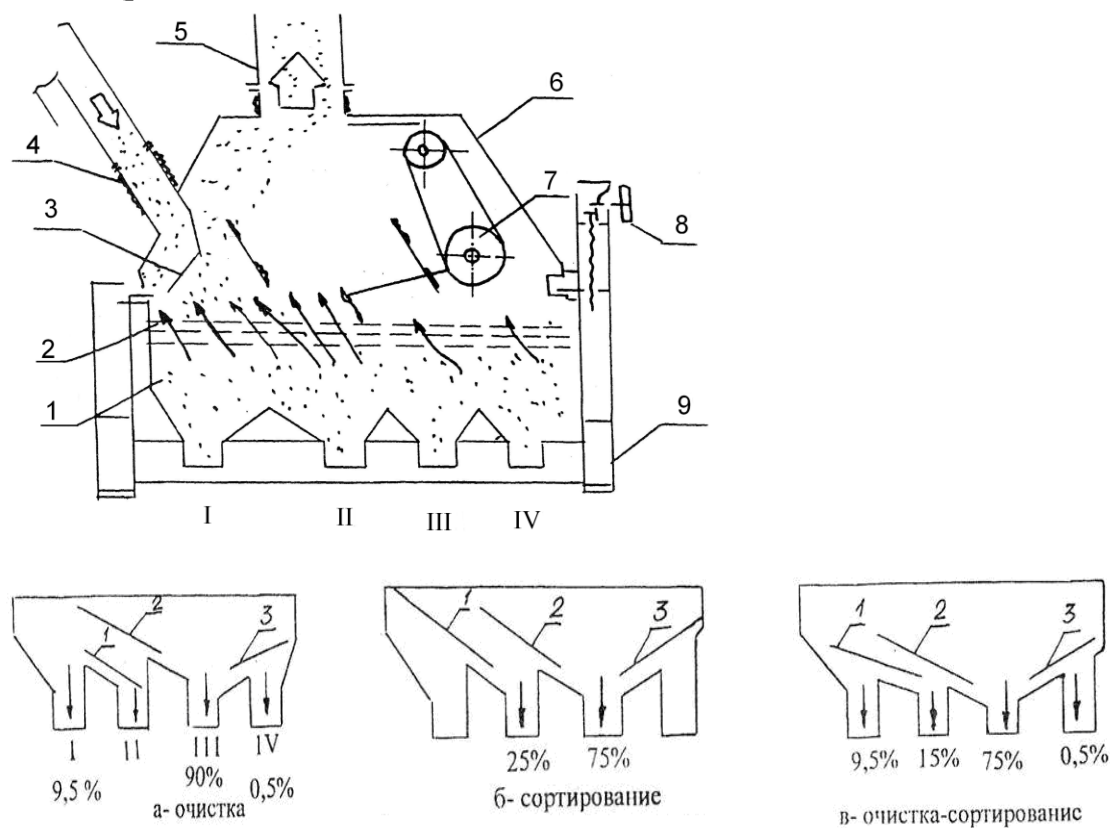


Рис. 1.16.

Схема технологическая пневмосортировального стола СПС-5А и положения заслонок приемника фракций I, II, III, IV при настройке по схемам: а – очистка; б – сортирование; в – очистка-сортирование.

1 – приемник фракций I, II, III, IV; 2 – дека; 3 – затвор,

4 – загрузочный рукав, 5 – патрубок; 6 – зонт; 7 – вибропривод;

8 – механизм регулировки продольного угла наклона деки; 9 – станина

Первая схема – очистка (схема а), выделение из исходного материала легких и тяжелых трудновыделимых примесей. При этом материал делится

на следующие фракции: I – легкие примеси, III – очищенный материал, IV – тяжелые примеси. По этой схеме можно очистить, например, семена ячменя от члеников редьки дикой.

Вторая схема – сортирование (схема б), разделение очищенного материала на две фракции, отличающиеся удельным весом с целью повышения посевных качеств одной из фракций. При этом клапанами перекрывают выход I и IV фракций.

Третья схема – очистка-сортирование (схема в). Машину настраивают для работы по этой схеме в том случае, если необходимо отделить от семян основной культуры (ячмень) низконатурные примеси (членики редьки дикой), тяжелые примеси (мелкие камешки и т.п.) и разделить материал по удельному весу на две фракции, с целью улучшения посевных качеств одной из них. В результате разделения получают 4 фракции: I, II, III, IV.

Возможны и другие схемы работы, например, очистка материала только от легких или только от тяжелых примесей.

Машина окончательной очистки МОС-9 [79] предназначена для очистки семян зерновых, зернобобовых, крупяных и масличных культур от трудноотделимых примесей, отличающихся от семян основных культур по плотности, форме и свойствам поверхности. Неоднократными экспериментами доказано, что высев семян, прошедших сортирование на машине МОС-9, позволяет повысить урожайность зерновых культур на 10-15%. Техническая характеристика машин приведена в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Техническая характеристика машин МОС-9С и МОС-9Н

Наименование	Значение	
	МОС-9С	МОС-9Н
Производительность за 1 час основного времени (при очистке семян пшеницы влажностью 16%, засоренной члениками редьки дикой 80...100 шт/кг или семенами солянки русской (курая) 40...50 шт/кг, т/ч	6	
Установленная мощность, кВт, в том числе: – на привод стана электродвигатель 4А90L6УПУЗ 380 В, М1081 ТУ 16-510.770-81, n = 1000 мин ⁻¹ ; – на привод вентилятора В-Ц1 4-46 №5 (электродвигатель 4А 160S4, n =1450 мин ⁻¹)	16,5	1,5 15
Частота колебаний деки, мин ⁻¹	405...570	
Угол поперечного наклона деки, град	0-10	
Угол продольного наклона, град	4...10	
Амплитуда колебаний, мм	7	
Масса машины, кг	1290	1000
Габаритные размеры, мм: – длина – ширина – высота	2500 1850 2000	2600 1900 1950
Срок службы, лет	9	

Семенной материал, очищаемый на машине, должен быть предварительно обработан на воздушно-решетных, триерных машинах и иметь кондиционную влажность.

Машина выпускается в двух модификациях. МОС-9С имеет клиноременный вариатор для изменения частоты колебаний деки, а МОС-9Н для осуществления этой регулировки комплектуется частотным регулятором колебаний деки.

Машина МОС-9С состоит из следующих узлов и механизмов: станины 1 (рис.1.17), вибропривода 2, механизма изменения частоты колебаний деки 3, деки 4, зонта 5, приемника фракций 6, регулятора 7 скорости воздушного потока, загрузочного рукава 8, питателя 9, механизмов регулировки поперечного 10 и продольного 11 углов наклона деки, воздуховода 12, маховичков 13 для установки заслонок приемника фракций.

Машина окончательной очистки 14 соединена с вентилятором 17 посредством колена 15 и воздуховода 16.

На станине 1 на подвесках установлена рама шарнирно связанная с декой, над которой крепится зонт, образующий воздушную камеру над ситовой поверхностью деки. Зонт гибким патрубком 12 соединяется с аспирационной системой машины. Дека представляет собой перфорированную ситовую поверхность, продуваемую воздушным потоком.

Питатель 9 имеет воздушный затвор с регулируемым подпружиненным клапаном. Приемник фракций 6 с пятью выходами имеет противодросельные клапаны. Длина кромок деки, с которых материал поступает в приемник, регулируется заслонками путем вращения маховичков 13.

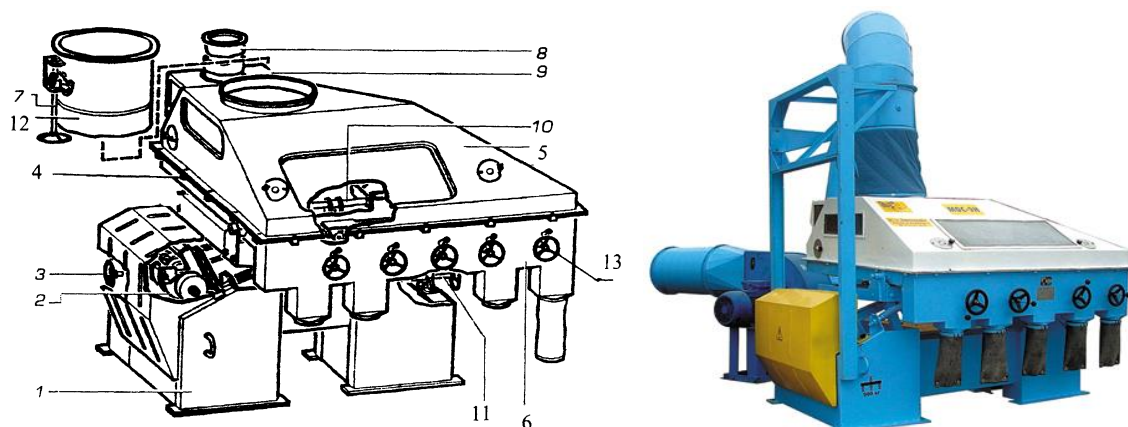
Вибропровод 2 связан с декой шатуном, сообщающем ей колебательное движение под углом к горизонту. Частота колебаний деки регулируется клиноременным вариатором, перемещаемым вместе с электродвигателем рычажно-винтовым механизмом.

Машина работает следующим образом.

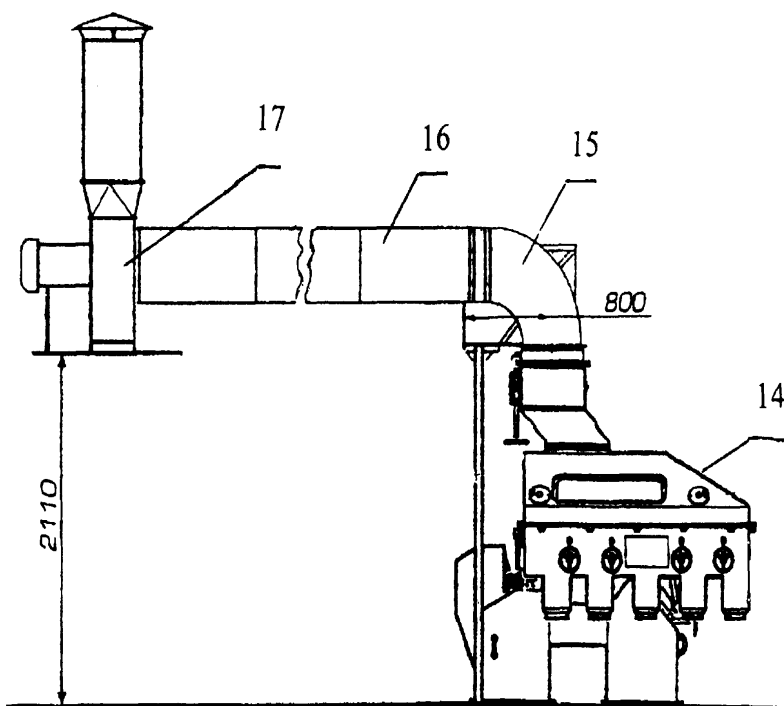
Очищаемый материал через питатель с воздушным затвором подается на ситовую поверхность деки, совершающую колебательное движение под углом к горизонту и продуваемую воздушным потоком. При этом материал, находящийся на деке, приходит в псевдооживленное состояние. Находясь в этом состоянии, частицы, имеющие большую плотность, опускаются вниз на поверхность стола, а частицы с малой плотностью, всплывают. Нижний слой материала, имея контакт с ситовой поверхностью стола, движется по направлению колебаний деки и направляются в правую часть приемника фракций (рис. 1.18). Частицы, движущиеся по поверхности слоя зерна, направляются в сторону опущенного края деки и попадает в левую часть приемника фракций.

Обеспечение требуемых показателей качества работы машины окончательной очистки (чистота и потери семян основной культуры в отходы) осуществляется за счет регулирования частоты колебаний деки,

углов ее продольного и поперечного наклона, скорости воздушного потока, а также перемещения заслонок приемника фракций.



а



б

Рис. 1.17. Общий вид (а)

и схема монтажа (б) машины окончательной очистки МОС-9С:

1 – станина; 2 – вибропривод; 3 – механизм регулировки частоты колебаний деки; 4 – дека; 5, 14 – зонт; 6 – приемник фракций; 7 – регулятор скорости воздушного потока; 8 – загрузочный рукав; 9 – питатель; 10 – механизм регулировки поперечного угла наклона деки; 11 – механизм регулировки продольного угла наклона деки; 12 – патрубок; 13 – маховичок регулировки заслонок; 15 – колено; 16 – пневмопровод; 17 – вентилятор

В результате разделения зернового материала на машине получают, как правило, 4 фракции: легкие примеси, промежуточные фракции, очищенный материал, тяжелые примеси. Промежуточную фракцию обычно направляют в исходный материал.

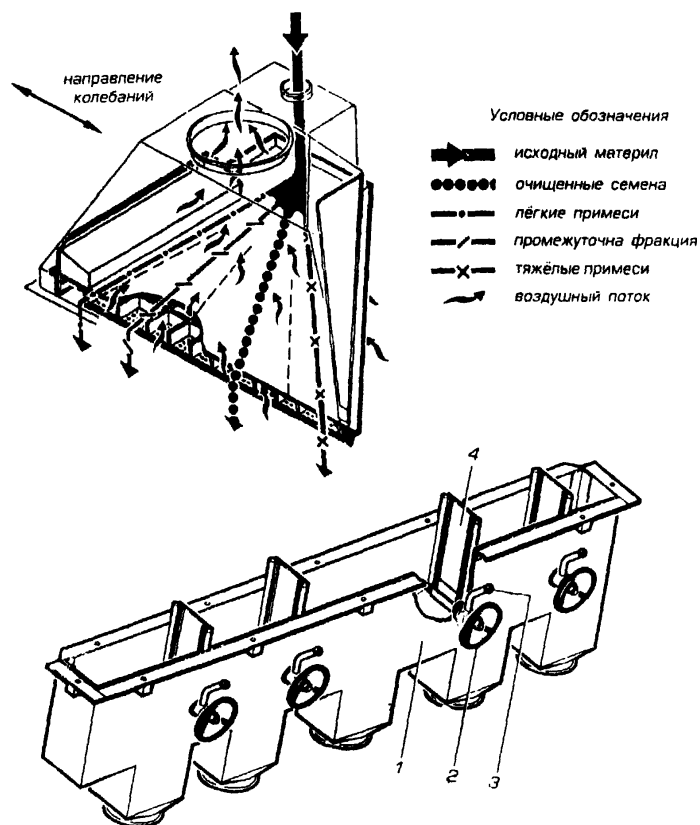


Рис. 1.18. Схема рабочего процесса машины МОС-9 и приемник фракций:
1 – корпус; 2 – маховик; 3 – ручка; 4 – клапан

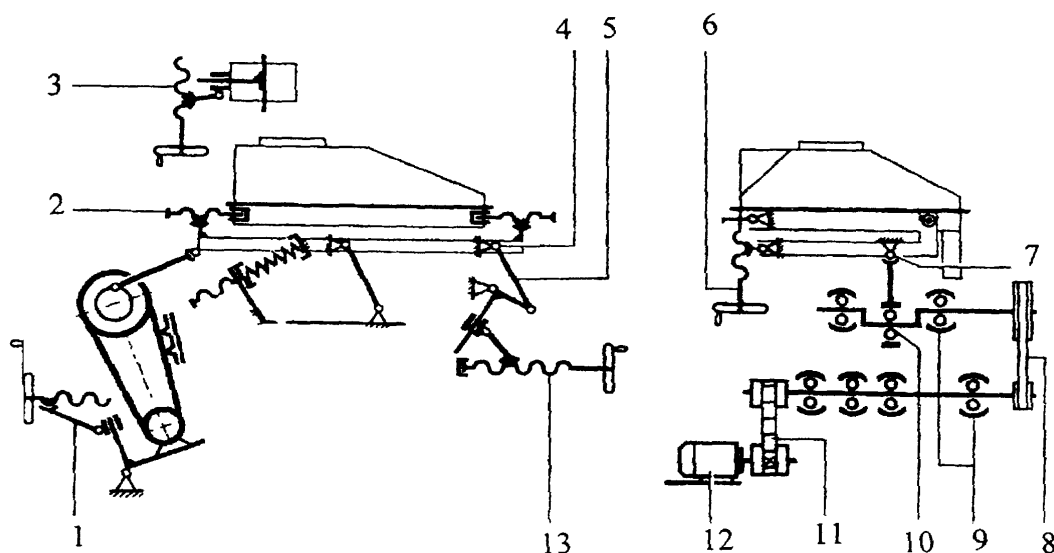


Рис.1.19. Кинематическая схема пневмостола МОС-9С

1 – механизм регулировки; 2 – болт, фиксирующий стол; 3 – регулятор скорости воздушного потока; 4 – сайлент-блок; 5 – подвеска; 6 – механизм регулировки поперечного угла наклона стола; 7 – подшипник 11306; 8 – ремень С/В/-1800; 9 – подшипник 11307; 10 – подшипник 122; 11 – ремень СВ-3 8-1500Ш зубчатый; 12-двигатель 4А90L6УПУЗ; 13-механизм регулировки продольного угла наклона стола

Частота колебаний деки регулируется кулисным механизмом 1 (рис. 1.19), перемещающим плиту электродвигателя относительно станины.

Величина продольного угла наклона деки регулируется механизмом 13. Величина поперечного угла наклона деки регулируется винтовым механизмом 6. Скорость воздушного потока регулируется кулисным механизмом 3, поворачивающим заслонку относительно корпуса регулятора.

Регулировка количества материала, поступающего в выходы приемника фракций (Рис. 1.20), осуществляется четырьмя маховичками, управляющими перекидными клапанами, положение которых фиксируется гайкой. За счет перемещения клапанов возможно объединение фракций.

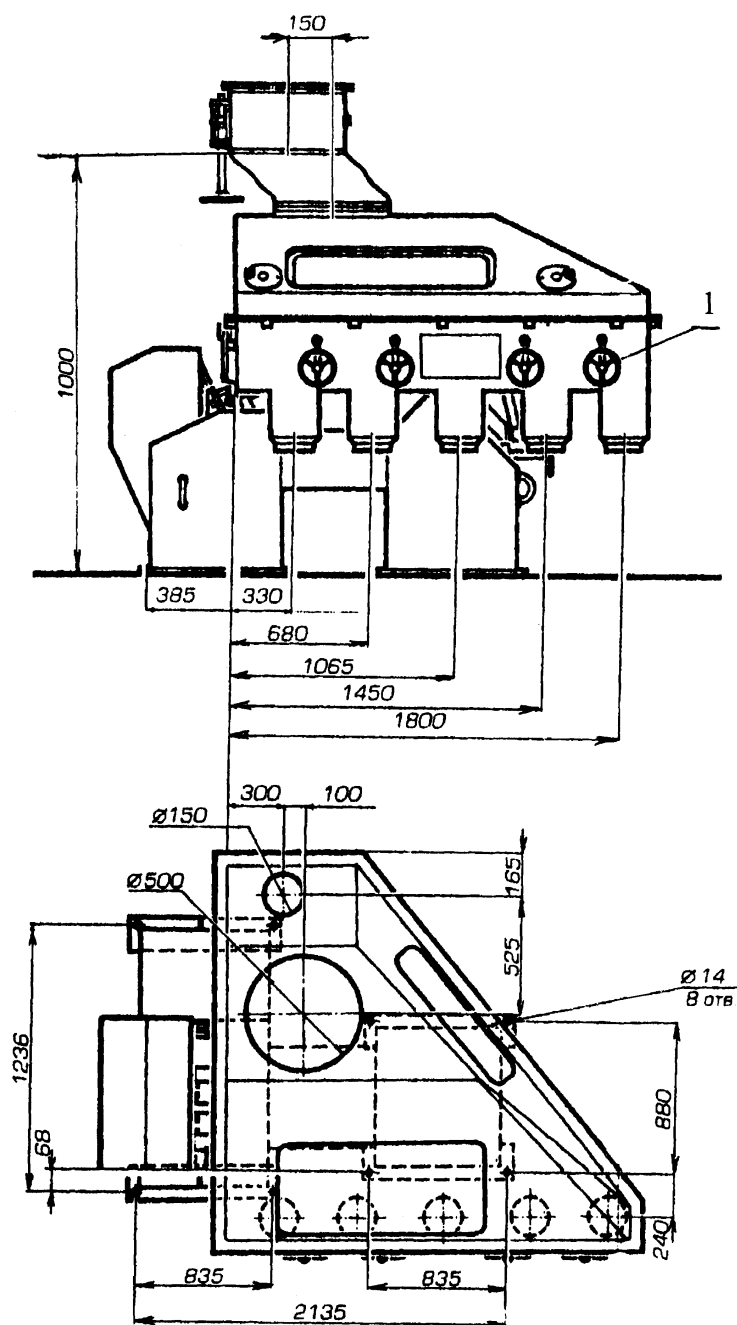


Рис.1.20. Положение приемников фракций машины МОС-9: 1-маховичек

Качество работы машины окончательной очистки зависит от соблюдения правил ее настройки.

Настройку машины необходимо начинать с установки продольного и поперечного углов наклона деки. Продольный угол наклона деки обеспечивает движение легких частиц материала, всплывших на поверхность слоя к выходу легкой фракции. Чем больше угол продольного наклона деки, тем интенсивнее происходит скатывание семян и примесей к выходу легкой фракции. При очистке семян зерновых начальное положение продольного угла устанавливают в пределах 8-9°.

Поперечный угол наклона деки определяет толщину слоя обрабатываемого материала на деке.

При его увеличении скорость схода материала со стола возрастает. При этом толщина слоя зерна уменьшается. Следует отметить, что эффективность очистки материала существенно зависит от толщины слоя, находящегося на деке.

При малой толщине не происходит расслоения материала. При настройке машины начальное положение поперечного угла наклона устанавливают 3-4°.

Частоту колебаний стола и скорость воздушного потока определяют опытным путем на конкретном материале.

Перед включением машины заслонку регулятора скорости воздушного потока устанавливают в положение минимального расхода воздуха. После запуска машины сначала устанавливают частоту колебаний деки 400...450 кол/мин, а затем открывают заслонку в бункере, из которого материал подается на машину. При этом необходимо проследить, чтобы подпружиненный клапан питателя удерживал слой материала высотой около 50 мм. Этот слой материала одновременно является воздушным затвором. Регулировка поджатия клапана производится гайками.

Включают аспирационную систему. Регулятором увеличивают скорость воздушного потока на рабочей поверхности стола до состояния легкого «кипения» материала. При возникновении фонтанов, скорость воздушного потока снижают. После установки скорости воздушного потока следует откорректировать частоту колебаний стола. Частота колебаний является оптимальной, если зерновой материал на рабочей поверхности стола распределяется равномерно. Если для равномерного распределения материала на деке требуется частота колебаний, превышающая допустимую, то необходимо уменьшить угол продольного наклона стола. Для этого необходимо установить предельную частоту (не более 500 кол/мин), а затем уменьшить угол продольного наклона деки, устанавливают равномерное распределение материала по рабочей поверхности стола (при необходимости, можно подрегулировать скорость воздушного потока).

Клапаны приемника фракций (рис. 1.20) устанавливаются маховичками 1. При этом добиваются максимального выхода очищенных семян при требуемой их чистоте и всхожести.

Если при установленной производительности эффективность очистки материала недостаточна, то подачу очищаемого материала в машину следует уменьшить.

Удельные энергоёмкости и металлоёмкости отечественных пневмосортировальных столов приведены в таблице 1.5 [21].

Таблица 1.5.

Удельные энергоёмкости
и металлоёмкости отечественных пневмосортировальных столов

Страна-разработчик машины	Модель машины	Производительность, т/ч (на пшенице)	Установленная мощность, кВт	Масса, кг	Удельная энергоёмкость, кВт.ч/т	Удельная металлоёмкость, кг.ч/т
Россия	ССП-1,5	1,5	7,1	750	4,75	500
	БПС-3	3,0	5,5	740	1,83	246,7
	ПСС-2,5	2,5	6,6	650	2,64	260
	СПС-5	5,0	11,75	837	2,35	167,4
	МОС-9	9,0	16,1	990	1,8	110

1.4.2. Зарубежные пневмосортировальные столы

Гравитационный сепаратор TDV фирмы «OCRIM» (Италия) (рис. 1.21) обеспечивает очистку пшеницы, кукурузы, подсолнечника, кофе, бобов, гороха, семян какао, риса и других семян по плотности [15].

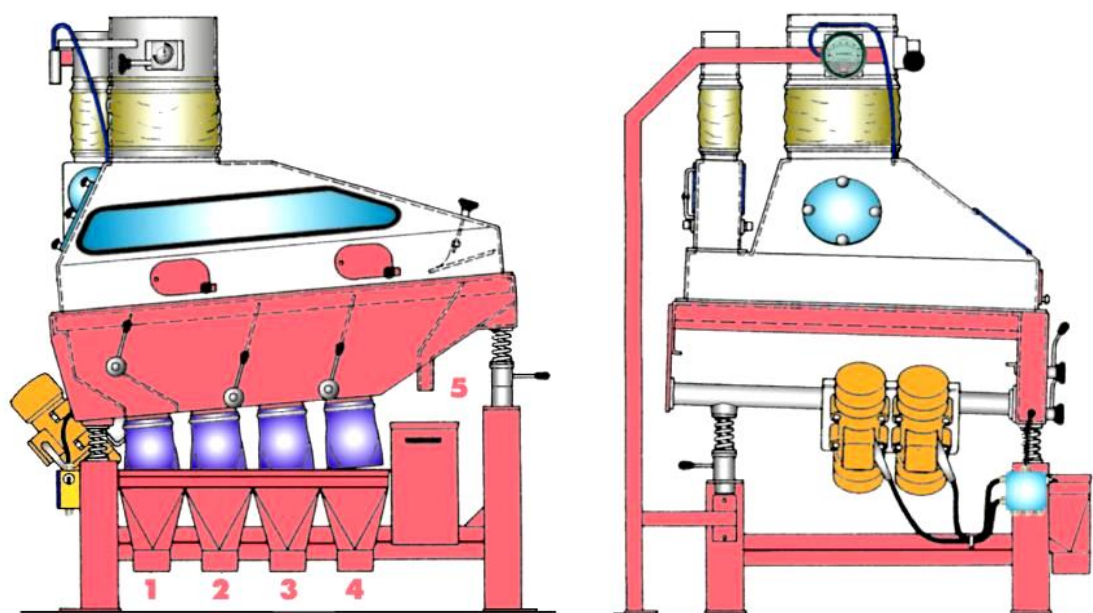


Рис. 1.21. Гравитационный сепаратор TDV

Техническая характеристика сепаратора представлена в таблице 1.6.

Таблица 1.6.

Краткая техническая характеристика		
Показатели	TDV-150	TDV-200
Производительность на пшенице, т/ч	2,5	3,5
Установленная мощность, кВт:		
- при частоте колебаний 50 Гц	2×0,68	2×0,68
- при частоте колебаний 60 Гц	2×0,45	2×0,45
Габаритные размеры, мм:		
- длина	1706	2190
- ширина	1474	1834
- высота	1955	2090
Масса, кг	480	540

Сепаратор выполнен в закрытом исполнении с вакуумной пневмосистемой. Схема работы деки сепаратора представлена на рисунке 1.22.

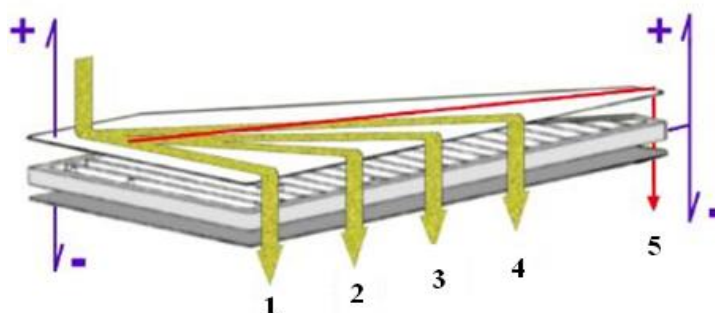


Рис. 1.22. Схема работы деки: 1 – легкие примеси; 2 – промежуточная фракция; 3 – промежуточная фракция; 4 – тяжелая фракция; 5 – камни

Сортировальные пневмостолы KD фирмы «PETKUS» (Германия) применяются [23]:

- в сельском хозяйстве – для подготовки семян зерновых, кукурузы, трав, зернобобовых и масличных культур, а также хлопковых семян;

- в пищевой промышленности – для отделения сорных примесей из таких культур, как чечевица, нут культурный, фасоль, горох столовый, кофе, арахис, орех лесной, миндаль;

- в промышленности – для деления металлов, резины, древесных материалов, минералов;

- в лесном хозяйстве – для обработки семян деревьев, бобовых культур, трав, лекарственных трав.

Стол с прямоугольной декой (рис. 1.23) с возможностью регулировки частоты его колебаний покрыт воздухопроницаемой тканью или проволочной сеткой, которые являются сменными. Колебания деки обеспечиваются противовесом-эксцентриком. Равномерное распределение воздуха обеспечивается пневмосистемой с вентилятором, расположенным под по-

верхностью деки. Наклон деки плавно регулируется в поперечном и продольном направлениях.

Для обеспечения требуемого качества разделения различных материалов регулируется их подача, угол наклона поверхности деки и частота ее колебаний.

Техническая характеристика пневмостолов фирмы «PETKUS» приведена в таблице 1.7.

В последнее время фирма «PETKUS» предлагает новое поколение сортировальных пневмостолов G30 и G40 производительностью 8 и 12 т/ч по пшенице.

Гравитационные сепараторы ZETA компании «DAMAS» (Швеция) (рис. 1.24.) используются для разделения компонентов, различающихся по удельному весу. Благодаря возможности регулировать частоту колебаний рабочей поверхности, количество воздуха, тип сита, угол его наклона, подачу, сепаратор обеспечивает высококачественное разделение зерна.



KD120 KD200 KD300 KD400



KD50 KD60

Рис. 1.23. Пневматические сортировальные столы фирмы «PETKUS»

Техническая характеристика пневмостолов фирмы «PETKUS» приведена в таблице 1.7.

Таблица 1.7

Краткая техническая характеристика пневматических столов фирмы «PETKUS»

Показатели	KD50	KD60	KD120	KD200	KD300	KD400
Производительность на пшенице, т/ч	0,2	1,5	3	5	7	10
Установленная мощность, кВт	2,65	8,25	12,55	12,55	20,75	24,95
Габаритные размеры, мм						
длина	1265	2405	2805	3305	3945	4770
ширина	600	1115	1872	1872	1972	2418
высота	1100	1800	1800	1800	2130	2130
Масса, кг	200	1200	1300	1700	2600	3800
Площадь деки, м ²	0,565	2,34	2,76	4,06	5,25	8,12
ширина деки, м	0,562	1,2	1,2	1,4	1,5	1,9
длина деки, м	1,005	1,95	2,3	2,9	3,5	4,275

Стандартная модель сепаратора предназначена для ручного управления всеми функциями. В то же время фирма выпускает полностью компьютеризованную модель с функцией памяти и сенсорным экраном, позволяющими оперативно регулировать качество разделения семян, в зависимости от условий работы машины.



Рис. 1.24. Пневмосортировальный стол компании DAMAS

Техническая характеристика гравитационных сепараторов DAMAS приведена в таблице 1.8.

Таблица 1.8

Краткая техническая характеристика сепараторов DAMAS

Показатели	DGS13	DGS21	DGS31	DGS51
Производительность на пшенице, т/ч	2	5	10	15
Установленная мощность, кВт:				
вентилятора	4,0	7,5	11,0	18,5
привода эксцентриков	1,1	1,1	1,1	2,2
Габаритные размеры, мм:				
длина	1900	2300	3050	3700
ширина	1550	1670	1670	2070
высота	1250	1380	1380	1500
Масса, кг	1000	1150	1550	2300
Площадь деки, м ²	1,3	2,1	3,1	5,1

Преимуществами сепараторов являются: легкая и безопасная смена сита; компьютерное управление; быстрая настройка; прочная конструкция; наличие моделей с половинным и полным пылеулавливающим колпаком и функцией рециркуляции; возможность установки сит для различных сыпучих материалов.

Конструкция стола способствует оптимальному распределению воздуха.

Гравитационные сепараторы фирмы компании «WESTRUP»

Краткая техническая характеристика гравитационных сепараторов фирмы «Westrup» (Дания) приведена в таблице 1.9.

Таблица 1.9

Краткая техническая характеристика гравитационных сепараторов
фирмы компании «Westrup» (Дания)

Марка	Производительность, т/ч (на пшенице)	Площадь деки, м ²	Мощность двигателя вентилятора, кВт	Мощность двигателя привода деки, кВт
КА-1200	1,5	0,53	7,5	0,75
КА-1500	2,1	0,80	7,5	0,75
КА-1900	3,6	1,05	11,0	1,1
КА-2200	4,3	1,44	11,0	1,1
КА-2600	6,0	2,15	11,0	1,1
КА-3300	7,0	2,4	15,0	3,0
КА-4400	12,0	3,4	18,5	3,0
КА-5500	16,0-18,0	6,1	30,0	3,0



Рис. 1.25. Лабораторный гравитационный сепаратор компании «Westrup» (Дания)



а

б

Рис. 1.26. Гравитационные сепараторы компании «Westrup» (Дания):
а-КА-1200,КА-1500; б-КА-1900, КА-2200; КА-2600.

Стол вибропневмосортировальный СВП-7 предназначен для очистки семян зерновых, зернобобовых, крупяных и масличных культур от трудновыделяемых примесей, отличающихся от семян основной культуры по удельному весу, форме и свойствам поверхности, а также для выделения камней. Стол применяется в составе зерноочистительных агрегатов и семенных линий для послеуборочной обработки зерна типа ЗАВ-20, ЗАВ-40, ЗАВ-50. Исходный материал должен быть предварительно очищен на воздушно-решетных, триерных машинах и иметь кондиционную влажность. Техническая характеристика СВП-7 приведена в таблице 1.10.



Рис. 1.27. Стол вибропневмосортировальный СВП-7

Таблица 1.10

Техническая характеристика вибропневмосепаратора СВП-7

Характеристика	Единица измерения	Значение
Тип	Стационарный	
Привод	Электрический	
Производительность за 1 ч основного времени при очистке семян пшеницы влажностью 16%, засоренностью члениками редьки дикой 80-100 шт. на 1 кг:	т/ч	7 (±1)
Количество обслуживающего персонала	чел	1
Масса сухого изделия, не более	кг	660
Масса монтажного комплекта изделия		
- с вентилятором В-Ц14-46-5, не более	кг	945
Установленная мощность, не более	кВт	0,7
Суммарная потребляемая мощность		
- с вентилятором В-Ц14-46-5, не более	кВт	15,7
Габаритные размеры в рабочем состоянии:		
- длина	мм	2710
- ширина	мм	2070
- высота	мм	2300
Площадь рабочей поверхности деки	м ²	2,7
Расход воздуха на аспирацию, не более	м ³ /мин	14500
Категория семян		ЭС

1.4.3. Камнеотделительные машины, концентраторы и комбинаторы

Камнеотделительные машины, концентраторы и комбинаторы работают на вибропневматическом принципе разделения зерновой смеси (рис. 1.28).

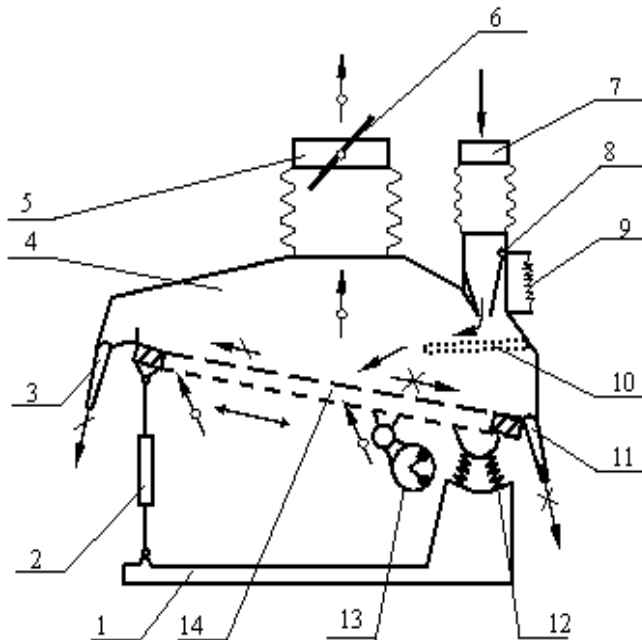


Рис. 1.28. Схема машины, реализующей вибропневматический принцип разделения компонентов зерновой смеси:

1 – рама; 2 – передняя опора; 3 – патрубок для минеральной примеси; 4 – крышка; 5 аспирационный патрубок; 6 дроссельная заслонка; 7 – приёмно-питающее устройство; 8 – клапан; 9 – механизм поджатия клапана; 10 – распределительная дека; 11 – патрубок для очищенного зерна; 12 – задняя опора; 13 – привод; 14 – дека

Камнеотделительные машины типа РЗ-БКТ выпускают трех модификаций: РЗ-БКТ, РЗ-БКТ-100 и РЗ-БКТ-150 с одинаковым принципом действия и небольшими конструктивными различиями.

Камнеотделительная машина РЗ-БКТ (рис. 1.29) состоит из следующих основных узлов: вибростола, привода, приемных, выпускных, аспирационных устройств и станины.

Вибростол — подвижная часть машины, совершает возвратно-поступательные колебания под углом $30...40^\circ$ к плоскости деки. Вибростол установлен под углом $5...10^\circ$ к горизонтали. Он состоит из несущей сварной рамы 25, в которой смонтирована дека, корпуса 8 и крышки 6 из оргстекла для визуального контроля рабочего процесса. В крышке имеются отверстия для присоединения аспирационного рукава 29 и для приемного устройства.

Привод осуществляется электромеханическим вибратором 12. Это электродвигатель, на обоих концах вала которого установлены грузы-дебалансы. Регулировка амплитуды колебаний вибростола производится изменением положения грузов относительно друг друга.

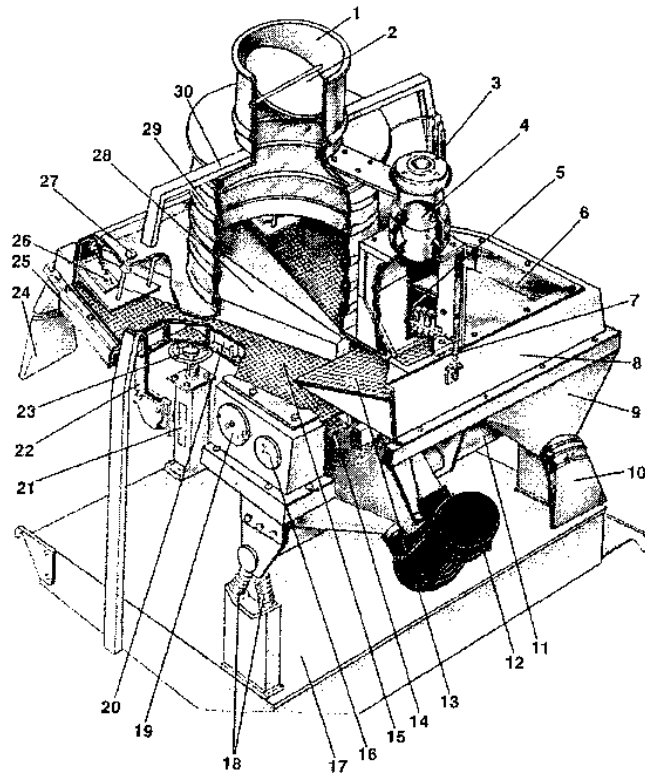


Рис. 1.29. Камнеотделительная машина РЗ-БКТ:

1 – патрубок аспирационный; 2 – заслонка дроссельная; 3 – манометр;
 4 – питатель; 5 – приемник; 6 – крышка вибростола; 7 – пружина клапана;
 8 – корпус вибростола; 9 – патрубок выпускной; 10,24 – рукава резиновые;
 11 – вал виброрегулятора; 12 – вибратор; 13 – распределитель; 14 – днище воздуховыравнивающее; 15 – поверхность сортирующая; 16 – диск регулировочный;
 17 – плита опорная; 18 – пружина-амортизатор; 19 – окно; 20 – рама; 21 – шкала;
 22 – стойка вибростола; 23 – штурвал; 25 – рама несущая; 26 – пластина; 27 – винт регулировочный; 28 – делитель; 29 – рукав аспирационный; 30 – стойка станины

Камнеотделительная машина РЗ-БКТ-100 состоит из тех же основных узлов, что и машина РЗ-БКТ, и работает по тому же принципу. Основные конструктивные отличия: изменена форма и исполнение корпуса; установлен один выпускной патрубок для вывода минеральных примесей вместо двух; станина выполнена в виде сварной Т-образной трубчатой конструкции без опорной плиты; изменена конструкция задней стойки и механизма регулирования угла подъема вибростола. В соответствии с имеющимися конструктивными отличиями машины несколько различаются по габаритам.

Машина РЗ-БКТ-150 имеет большую ширину и соответственно площадь деки.

Технологический процесс в камнеотделительных машинах происходит следующим образом. Зерносмесь из приемного устройства попадает на сетчатую поверхность распределителя, продувается воздухом и двумя равными потоками поступает на сортирующую поверхность деки, на кото-

рой происходит разделение зерна и минеральных примесей. В результате минеральные примеси транспортируются в верхнюю часть деки и выводятся из машины, а очищенное зерно течет в нижнюю часть и выводится с противоположной стороны. Легкие примеси уносятся воздухом через аспирационное устройство и отделяются в фильтре.

На эффективность и производительность камнеотделительных машин вибропневматического принципа действия оказывают существенное влияние следующие факторы: частота, амплитуда и направление колебаний, скорость воздушного потока, угол наклона деки и коэффициент трения материала о поверхность, различие в плотности зерна и минеральных примесей, нагрузка и влажность зерна. Эффективность очистки зерна от минеральных примесей должна быть не ниже 95%. Содержание годного зерна в отходах не должно превышать более 1%.

Техническая характеристика камнеотделительных машин приведена в таблице 1.11.

Таблица 1.11

Техническая характеристика камнеотделительных машин

Показатели	РЗ-БКТ	РЗ-БКТ-100	РЗ-БКТ-150
Производительность, т/ч	9	9	12
Площадь ситовой поверхности, м ²	1	1	1,5
Угол наклона деки, град	6...7	6...7	16...7
Частота колебаний, колеб/мин	960	960	960
Амплитуда колебаний, мм	2...2,5	2...2,5	2...2,5
Расход воздуха, м ³ /мин	80	80	120
Разрежение в корпусе (без нагрузки), Па			
Мощность электровибратора, кВт	750	750	750
Габариты, мм:	0,3	0,3	0,3
длина			
ширина	1750	1750	1750
высота	1410	1420	2020
Масса, кг	1960	1530	1530
	500	275	400

Настройка и регулирование камнеотделительных машин.

Рабочий процесс имеет шесть регулируемых параметров: нагрузка, амплитуда и направление колебаний, расход воздуха, угол наклона деки и положение регулировочной пластины в зоне выпуска минеральных примесей. Все параметры имеют механизмы регулирования и соответствующие указатели установленных значений.

При правильно проведенном регулировании и хорошей эксплуатации машин типа РЗ-БКТ эффективность очистки зерна от минеральных примесей составляет 98...99%.

Камнеотборник фирмы «BUHLER» с рециркуляцией воздуха [15] (Рис.1.30) с рециркуляцией воздуха применяется для непрерывного отбора камней из потока зерна. Принцип сортирования, основан на разли-

ции удельного веса зерна и тяжелых примесей, таких как камни, металлопримеси, стекло и т.п.

Ситовой корпус машины опирается на эластичные резиновые элементы-амортизаторы и приводится в вибрационное движение с помощью синхронных вибраторов. Камнеотборник работает следующим образом.

Зерно, поступающее в машину, распределяется питающим устройством, которое одновременно служит воздушной заслонкой, по всей ширине деки (рис. 1.30). На деке предварительного сортирования поток продукта под действием вибрации и восходящего потока воздуха расслаивается по удельному весу. Легкая фракция образует верхний слой, а тяжелая – с содержанием камней – нижний. Нижний слой движется вверх за счет колебаний сита и направляется в зону окончательного сортирования на нижнюю деку камнеотборника. Окончательное разделение камней и зерна происходит за счет аэрации слоя и колебательного транспортирования в противоположных направлениях.

Освобожденный от камней поток продукта на обеих деках подхватывается воздушной подушкой и медленно направляется к выпуску (рис. 1.30). Разгрузка происходит через резиновые клапаны, предотвращающие подсос воздуха.

Наклон деки и расход воздуха, а также окончательное сортирование могут индивидуально регулироваться для оптимального отбора камней. Разрежение в вытяжном колпаке измеряют с помощью манометра.

Легкие частицы, отсасываемые воздушным потоком, циркулируют и осаждаются в специальной камере с системой пластин. При этом частицы пыли, оболочки и другие аспирационные отходы отделяются от потока воздуха и выводятся через шлюзовой затвор в отходы. Воздух центробежным вентилятором отсасывается и снова подается по возвратному каналу (рис. 1.30 в рециркуляционный отсек машины. Для поддержания чистоты внутри машины предусмотрена аспирация.

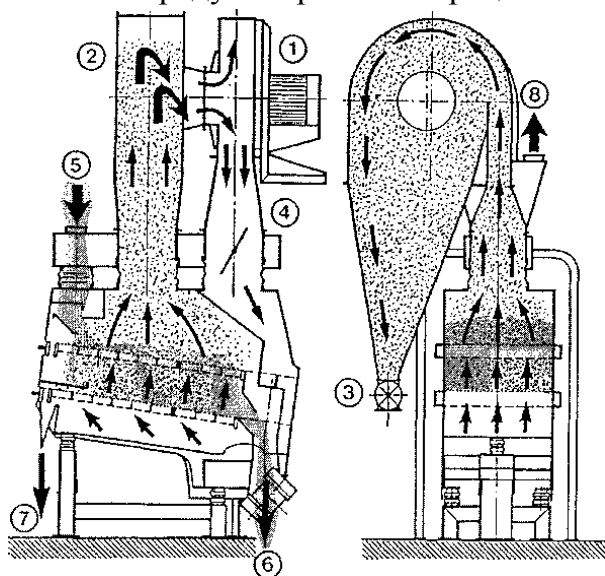


Рис. 1.30. Схема работы камнеотборника с рециркуляцией воздуха: 1 – вентилятор; 2 – осадочная камера; 3 – шлюзовой затвор; 4 – возвратный воздушный канал; 5 – приемная камера; 6 – камера выпуска продукта; 7 – патрубок выпуска камней; 8 – патрубок для соединения с системой аспирации

Концентраторы типа А1-БЗК [15] (рис.1.31) выделяют органические примеси, отличающиеся от зерна меньшей плотностью, а также семена некоторых сорных растений, например овсюг, части стеблей, колоса и т.п.

Основным рабочим органом концентраторов являются сита, совершающие колебательные движения под углом $15 \pm 0,5^\circ$ к горизонтальной плоскости. При движении зерновой массы по ситам в условиях аэрации восходящим воздушным потоком происходит интенсивное разрыхление и самосортирование разнородных компонентов смеси. В результате зерно и примеси одинаковой крупности и различной плотности концентрируются в разных слоях: тяжелые примеси опускаются вниз к ситам, легкие — всплывают на поверхность зерна.

Последовательное просеивание расслоенной зерновой смеси через сита с отверстиями различных размеров позволяет выделить не только мелкие и легкие примеси, но и разделить очищенное зерно по плотности для последующей раздельной очистки.

Учитывая, что во фракцию примесей, имеющих меньшую плотность, попадает практически весь овсюг, концентратор успешно выполняет функции триера-овсюгоотборника.

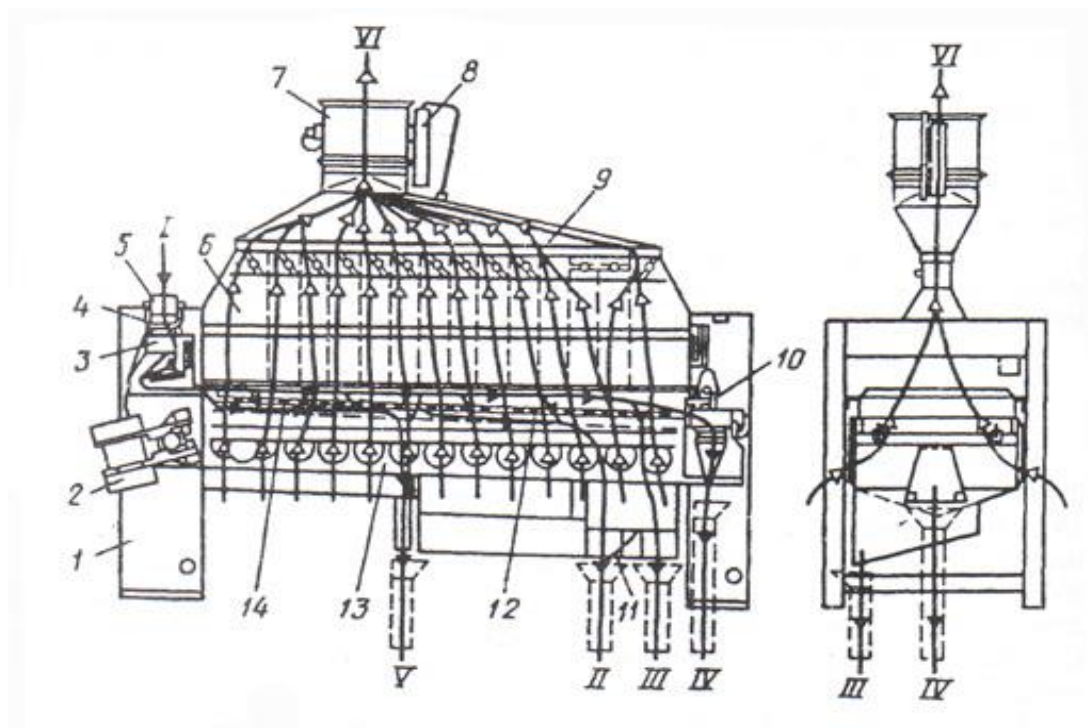


Рис. 1.31. Концентратор типа А1-БЗК:

1 – станина; 2 – вибратор; 3 – устройство приемное; 4 – рукав; 5 – патрубок приемный; 6 – камера аспирационная; 7 – заслонка дроссельная; 8 – манометр; 9, 12 – регуляторы воздушного потока; 10 – механизм винтовой; 11 – патрубок аспирационный; 13 – кузов ситовой; 14 – клапан поворотный; I – зерно исходное; II – фракция зерна тяжелая; III – фракция зерна легкая; IV – примеси трудноотделимые легкие; V – примеси мелкие; VI – воздух с легкими примесями

Выпускаются две модификации концентраторов – А1-БЗК-9 и А1-БЗК-18, отличающиеся производительностью. Принцип действия и конструкция основных узлов не имеют существенных различий.

Концентратор типа А1-БЗК (рис. 1.31). Состоит из следующих основных узлов: ситового корпуса, аспирационной камеры, приемных и выпускных устройств, привода и станины.

Ситовой корпус состоит из двух ситовых кузовов 13, соединенных между собой поперечными траверсами и стяжками. В каждом кузове установлен под небольшим углом к горизонтали один ситовой ярус, состоящий из двух ситовых рам 15, 16 с ситами с отверстиями Ø2 и 9 мм. Рамы вставляются в кузов по направляющим, установленным на ее боковых стенках, и зажимаются упором и двумя подпружиненными поворотными рукоятками. Каждая ситовая рама состоит из деревянного остова, в верхней части которого укреплено рабочее сито, а в нижней – сетчатый поддон. Сита очищаются резиновыми шариковыми очистителями, движущимися по поддону.

Привод сдвоенного ситового корпуса осуществляется от двух электромеханических вибраторов 2, конструкция и установка которых аналогичны применяемым в камнеотделительных машинах типа РЗ-БКТ. Станина сборная сварной конструкции предназначена для размещения всех основных узлов концентратора.

Концентратор А1-БЗК-9 отличается наличием одинарного ситового корпуса. В соответствии с этим выполнены одинарными аспирационная камера, приемные и выпускные устройства, привод. Конструкция одной половины ситового корпуса, приемных устройств и аспирационных камер концентратора А1-БЗК-18 аналогична конструкции тех же узлов концентратора А1-БЗК-9.

Технологический процесс в концентраторах типа А1-БЗК осуществляется следующим образом. Зерно через приемный патрубок и приемное устройство поступает на первую ситовую раму равномерным слоем. Вследствие направленных колебаний корпуса и аэрации продукт при движении по первой раме с ситами с отверстиями Ø2 мм псевдооживается и самортируется: тяжелая фракция концентрируется в нижней части слоя, легкая — в верхней.

На первой ситовой раме проходом через сито отделяются мелкие примеси. При движении зерна по второй ситовой раме с ситами с отверстиями Ø9 мм просеивается сначала тяжелая фракция зерна из нижнего слоя, затем — более легкая. Разделяются тяжелая и легкая фракция зерна поворотным клапаном, установленным в сборнике под второй ситовой рамой. Сходом с сит идут отходы – трудноотделимые легкие примеси, в том числе овсюг.

Проход через первую ситовую раму и сход со второй объединяют и направляют для обработки отходов. Тяжелую фракцию зерна подают в триер-куколеотборник, легкую — вначале обоечную машину, а затем объединяют с тяжелой и направляют в триер.

Эффективность работы концентратора зависит от равномерности подачи и распределения зерна по ситам, настройки аспирационного режима, а также от кинематических параметров движения сит. Для обеспечения равномерной подачи исходного зерна рекомендуется перед машиной устанавливать регулятор потока УРЗ-1, а над ним — бункер вместимостью 1,5 м³.

Техническая характеристика концентраторов приведена в таблице 1.12.

Таблица 1.12

Техническая характеристика концентраторов

Показатели	А1-БЗК-9	А1-БЗК-18
Производительность, т/ч	6,3	12,7
Число ситовых рам	2	4
Размеры ситовой рамы, мм	1000×680	1000×680
Общая площадь сит, м ²	1,35	2,7
Частота колебаний ситового корпуса, колеб/мин	920	920
Амплитуда колебаний ситового корпуса, мм	1...3	1...3
Расход воздуха, м ³ /мин	75	150
Мощность, кВт:		
вибратора	0,37	2×0,37
Габариты, мм:	0,08	2×0,08
длина	2800	2800
ширина	960	1830
высота	2150	2150
Масса, кг	670	1200

Технологическая эффективность работы концентраторов характеризуется выделением тяжелой фракции зерна 60...65%, легкой 35...40%, отходов 0,5... 1%. Эффективность очистки тяжелой фракции от сорной примеси составляет 70...75%, от зерновой 60...65%, извлечение длинных примесей в отходы 45...50%, коротких 6...8%.

В рабочем режиме под нагрузкой оптимальную толщину слоя зерна по всей просеивающей поверхности обеспечивают регулировкой аспирационного режима каждой секции таким образом, чтобы слой слегка «кипел» по всей поверхности сит без прорыва на отдельных его участках. Толщину слоя стабилизируют регулировкой сходовой щели на второй ситовой раме. Сужение щели должно обеспечивать такую толщину слоя зерна в сходовой части сита, чтобы перфорация сит не была видна.

При наличии в сходовой фракции большого количества полноценного зерна клапан в последней секции можно полностью закрыть. Если этого

недостаточно, то воздушные регуляторы в четырех-пяти последних секциях должны быть прикрыты. Разрежение в концентраторе (600 Па) контролируют по манометру и регулируют дроссельной заслонкой.

В концентраторе сочетается возможность визуального контроля рабочего процесса и оперативного его регулирования. Совмещение технологических операций эффективной очистки от мелких и низконатурных примесей с делением зерна на две фракции по плотности позволяет вести последующую раздельную их обработку.

Комбинатор с рециркуляцией воздуха [15] (Рис. 1.32) служит для непрерывного отбора оболочек, щуплых зерен, овсюга, спорыньи, семян, камней из потока зерна, а также для сортирования продукта по удельному весу на тяжелый и смешанный продукты, которые затем проходят различную обработку. Машина выполняет функции концентратора для классификации продукта по удельному весу и камнеотборника. Она работает следующим образом.

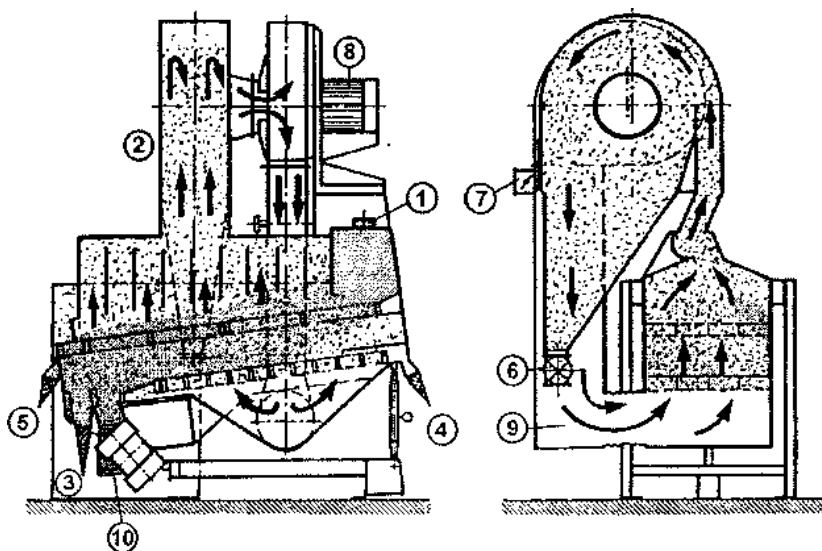


Рис. 1.32. Схема работы комбинатора с рециркуляцией воздуха:

- 1 — прием продукта; 2 — осадочная камера; 3 — смешанный продукт; 4 — выпуск камней; 5 — сход сита; 6 — шлюзовой затвор; 7 — присоединение к системе аспирации; 8 — вентилятор; 9 — возвратный воздушный канал; 10 — зерно

Равномерно поступающее зерно (рис. 1.32) распределяется питающим устройством 1 (рис. 1.32) по всей ширине машины и продувается поступающим снизу потоком воздуха по всей рабочей зоне. Поток воздуха в первой рабочей зоне вызывает расслоение зерна по удельному весу. Во второй рабочей зоне самая тяжелая фракция, смешанная с камнями, поступает через крупные отверстия непосредственно на деку камнеотборника. Остальное смешанное зерно после этого проходит через отверстия сита и направляется непосредственно к выпуску 3. Легкая фракция выводится через отдельный выпуск 5. Разгрузка происходит через резиновые клапаны.

Приемное сито с небольшими круглыми или треугольными отверстиями, а сходовое – с круглыми отверстиями большого размера. Размер отверстий сит выбирают в зависимости от исходного зерна.

Такой порядок операций значительно снижает нагрузку на камнеотборник. Регулирующие клапаны формируют поток смешанного зерна, не нарушая процессы сортирования и отбора камней.

Ситовой корпус опирается на резиновые амортизаторы и приводится в вибрационное движение с помощью одного или двух синхронных вибраторов.

Наклон деки и расход воздуха, а также окончательное сортирование могут индивидуально регулироваться для оптимального отбора камней. Измерение разрежения в вытяжном колпаке с помощью манометра.

Отсасываемые воздушным потоком легкие частицы 2 циркулируют и осаждаются в специальной камере с системой пластин. При этом частицы пыли, оболочки и другие аспирационные отходы отделяются от потока воздуха и выводятся через шлюзовой затвор 6 в отходы. Воздух центробежным вентилятором 8 отсасывается и снова подается по возвратному каналу 9 в рециркуляционный отсек машины.

Комбинированная зерноочистительная машина фирмы «BUHLER» (1.33) с рециркуляцией воздуха [15] является многофункциональным агрегатом, выполняющим 4 технологические операции: очистка зерна от крупных и мелких примесей; сортирование зерна по удельному весу; выделение минеральных примесей; очистка зерна от легких примесей.

Эти операции выполняются последовательно на сепараторе, концентраторе, камнеотборнике, вертикальном пневмосепарирующем канале, установленных в одном общем корпусе. Машина работает следующим образом.

Первой операцией по очистке зерна является выделение всех крупных и мелких примесей в сепараторе. Сито сортировочное удаляет крупные примеси (рис. 1.33, поз. В и 2), которые дополнительно сортируются на решетке с резиновым фартуком на сходовом конце сита и делятся на крупные и мелкие.

Зерно при проходе сортировочного сита делится поровну на два подсевных сита для более эффективного отделения песка, битого зерна и других мелких примесей (рис. 1.33, поз. С и 3). После очистки в сепараторе зерно поступает в концентратор (рис. 1.33, поз. 4). Зерно аэрируется поступающим снизу потоком воздуха. В первой рабочей зоне поток воздуха вызывает расслоение по удельному весу. Во второй рабочей зоне самая тяжелая фракция (рис. 1.33, поз. Е), смешанная с камнями, поступает через крупные отверстия непосредственно на деку камнеотборника (рис. 1.33, поз. 6). Остальной смешанный продукт направляется к пневмосепарирующему каналу (рис. 1.33, поз. 9). Эффект отделения пыли, оболочек, остей, щуплых зерен и семян и т.п. может регулироваться в пневмосепарирующем

канале с помощью стенки с двойной регулировкой и за счет точно регулируемого расхода воздуха.

Такой порядок операций значительно снижает нагрузку на камнеотборник как на последнюю рабочую операцию с тяжелым продуктом, смешанным с камнями. Эффективность выделения камней можно регулировать.

Вывод всех фракций происходит через клапаны.

Ситовой корпус опирается на резиновые амортизаторы и приводится в вибрационное движение с помощью двух синхронных вибраторов 8.

Предусмотрено бесступенчатое регулирование наклона ситового корпуса 5. Измерение разрежения в вытяжном колпаке с помощью манометра. Отсасываемые воздушным потоком легкие частицы циркулируют и осаждаются в специальной камере с системой пластин 13. При этом частицы пыли, оболочки и другие аспирационные отходы отделяются от потока воздуха и выводятся через шлюзовой затвор 10 в отходы (поз. G). Воздух центробежным вентилятором отсасывается и снова подается по возвратному каналу 11 в рециркуляционный отсек машины. Для поддержания чистоты внутри машины предусмотрена аспирация 12.

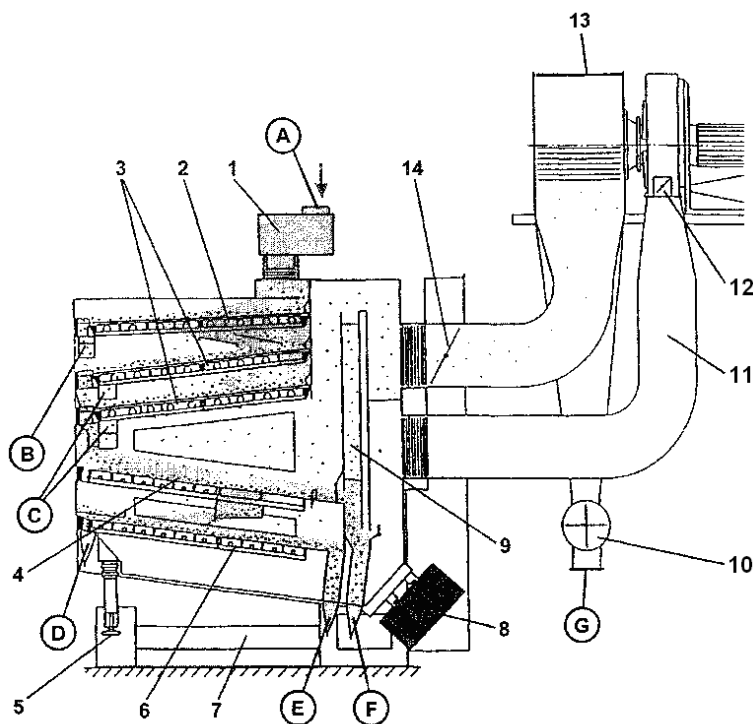


Рис. 1.33. Разрез комбинированной зерноочистительной машины с рециркуляцией воздуха: А – исходное зерно; В – крупные примеси; С – мелкие примеси; D – минеральные примеси; E – тяжелая фракция зерна; F – легкая фракция зерна; G – аспирационные отходы; 1 – приемная камера; 2 – сортировочное сито; 3 – подсевные сита; 4 – концентратор; 5 – механизм регулирования угла наклона корпуса; 6 – камнеотборник; 7 – станина; 8 – вибратор; 9 – пневмосепарирующий канал; 10 – шлюзовой затвор; 11 – возвратный воздушный канал; 12 – присоединение к системе аспирации; 13 – осадочная камера; 14 – дроссельная заслонка

Оригинальная компоновка различных функциональных элементов в одном корпусе обеспечивает существенные преимущества: экономия занимаемого объема производственного помещения, снижение фильтрующей поверхности и протяженности воздуховодов, снижение энергозатрат, упрощение и снижение трудоемкости монтажных работ, уменьшение количества самотечных труб, аспирационных линий, электрокабелей, снижение расходов на техническое обслуживание (отсутствие смазки, простота замены сит и др.).

1.5 Постановка вопроса и задачи исследований

Анализ способов разделения зерновых смесей по комплексу физико-механических свойств, в том числе по плотности, показывает, что наиболее целесообразным является разделение семян в вибропневмооживленном слое с использованием вибропневмосепараторов. Перспективными являются вибропневмосепараторы с прямоточной декой, работающие при больших удельных нагрузках и имеющие меньшее количество регулируемых параметров, что упрощает их настройку.

Известные вибропневмосепараторы с прямоточной декой не обеспечивают достаточной четкости разделения материала на фракции ввиду несовершенства конструкции делителей потока, поскольку слои различной плотности располагаются по вертикали один над другим. Повышение качества разделения на фракции возможно при расположении потоков материала отличающихся по свойствам по ширине разгрузочной кромки деки. Известные методы анализа разделения семян, разработанные И.И. Блехманом, В.Я. Хайнманом [7,8,9], В.А. Членовым и Н.В. Михайловым [105], позволяют оценить состояние виброкипящего слоя и определить толщину, на которую проникают колебания. Из них следует, что кипение слоя начинается при режимах колебаний, когда возможны отрывы материала от рабочей поверхности. В работе [7] неопределенной остается сила сопротивления среды относительно перемещению частицы. Использование уравнения, приведенного в работе [8] для описания процесса расслоения в вибропневмооживленном слое на деке пневмосортировального стола, затруднено потому, что перераспределение частиц в слое происходит с разными скоростями на разных участках деки, а свойства частиц по площади деки отличаются между собой. В работе [90] предложен критерий, определяющий влияние воздушного потока и вибраций на состояние слоя. Модель, полученная в результате исследований [105] описывает движение в слое частицы, отличающейся плотностью. Однако известный критерий и модель не учитываются влияние аэростатической силы, которая, как отмечено Б.В. Желтухиным

[50], намного больше аэродинамической силы, поэтому эти модели требуют уточнения.

Из обзора теоретических работ по сепарации в вибропневмооживленном слое выявлено, что в настоящее время отсутствуют математические модели для описания поведения частиц, движущихся при различных режимных параметрах колебаний и воздушного потока, различных удельных нагрузках. В имеющейся научной литературе не приводятся оценки работы вибропневмосепараторов при угле поперечного наклона деки равном 0 градусам, что существенно бы упростило подготовку машины к работе. Кроме этого, с целью снижения потерь полноценных семян в отходы и сокращения затрат энергии на подготовку семян целесообразно исследовать возможность использования вибропневмосепараторов в линиях фракционной очистки семян.

Учитывая вышеизложенное, целью работы является повышение эффективности сепарации семян в вибропневмооживленном слое и разработка машин окончательной очистки малых партий семян для использования в линиях фракционной подготовки посевного материала.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

- обосновать технологию сепарации семян путем разработки математических моделей движения компонентов под действием вибрации и воздушного потока;
- разработать технические средства для сепарации семян в вибропневмооживленном слое и дать оценку их работы в производственных условиях;
- разработать рекомендации по использованию вибропневмосепараторов;
- дать энергетическую и технико-экономическую оценки использования разработанных технических средств в составе поточных линий.

В каждой естественной науке
 заключено столько истины,
 сколько в ней есть математики.
 И. Кант

Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ В ВИБРОПНЕВМООЖИЖЕННОМ СЛОЕ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ РАЗДЕЛЕНИЯ

2.1. Технологические процессы сепарации семян в вибропневмоожигенном слое

Сепарация семян в вибропневмоожигенном слое осуществляется под действием вибрации и воздушного потока [45, 46, 3]. Разделение происходит с учетом различий семян и примесей по комплексу физико-механических свойств (плотность, размеры, форма и свойства поверхности). При этом исходный материал должен быть предварительно обработан на воздушно-решетных, триерных машинах и иметь кондиционную влажность.

Основным сепарирующим рабочим органом является колеблющаяся дека с перфорированной поверхностью, продуваемой воздушным потоком.

Технологический процесс разделения семян (рис. 2.1) осуществляется следующим образом.

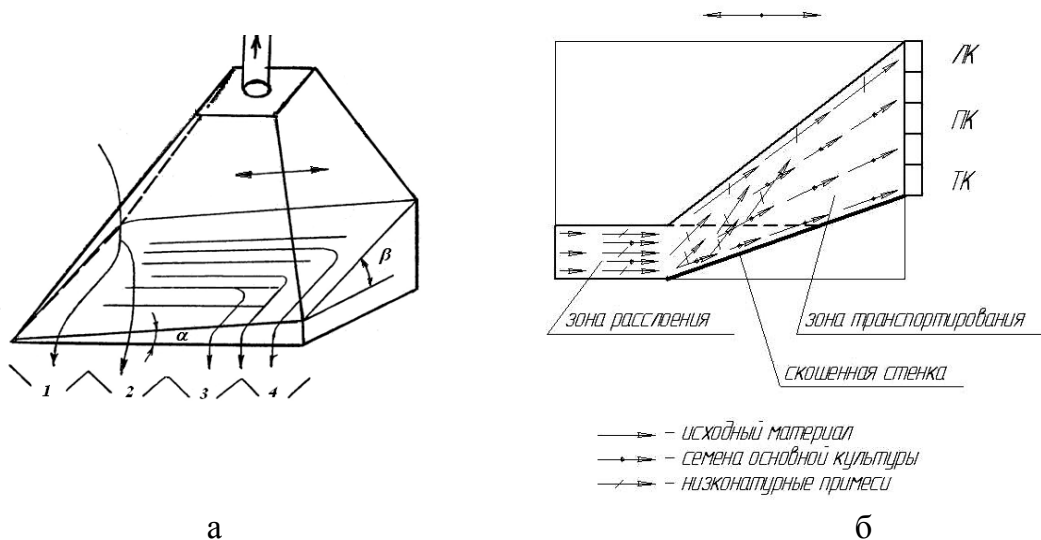


Рис. 2.1. Схемы процессов сепарации семян в вибропневмоожигенном слое:
 а – на деке трапециевидной формы под действием вибрации и вертикального воздушного потока: 1– приемник легких компонентов; 2 – приемник легких компонентов и семян основной культуры; 3 – приемник семян основной культуры; 4 – приемник тяжелых компонентов; б – на прямооточной деке (в плане) со скошенной стенкой под действием вибрации и наклонного воздушного потока: ЛК- приемники легких компонентов; ПК– приемники легких компонентов и семян основной культуры; ТК- приемники семян основной культуры с тяжелыми компонентами

Очищаемый материал подается на перфорированную поверхность деки, продуваемую воздушным потоком и совершающую колебательные движения под углом к горизонтальной плоскости. При одновременном воздействии колебаний поверхности деки и воздушного потока частицы с большим удельным весом (условно называемые тяжелыми компонентами) опускаются на поверхность деки, а с меньшим (легкие компоненты) — всплывают.

Нижний слой материала, имея сцепление с перфорированной поверхностью деки, движется в направлении колебаний (тяжелые компоненты). Верхний слой материала, имея незначительную связь с нижележащими слоями, стекает под действием составляющей силы тяжести под уклон (легкие компоненты). В результате на разгрузочной кромке деки можно получить несколько фракций, плотность частиц которых увеличивается от первой к последней.

2.2. Аналитическое определение средней скорости движения сыпучего материала под действием вибрации и воздушного потока

Пусть на материал, находящийся на колеблющейся перфорированной поверхности, имеющей отверстия, размер которых меньше размеров компонентов зернового материала, и наклоненной под углом к горизонту, действуют силы: сила веса $G = m \cdot g$; сила инерции $U = j \cdot m$; сила трения $F = N \cdot \operatorname{tg} \varphi$; сила воздушного потока P_B , направленная вдоль силы инерции.

Ввиду того, что направление сил инерции и трения меняется в зависимости от направления ускорения поверхности, составим дифференциальные уравнения отдельно для правого и левого интервалов. Направление действия сил на материал, находящиеся на колеблющейся поверхности, в правом интервале представлены на рисунке 2.2:

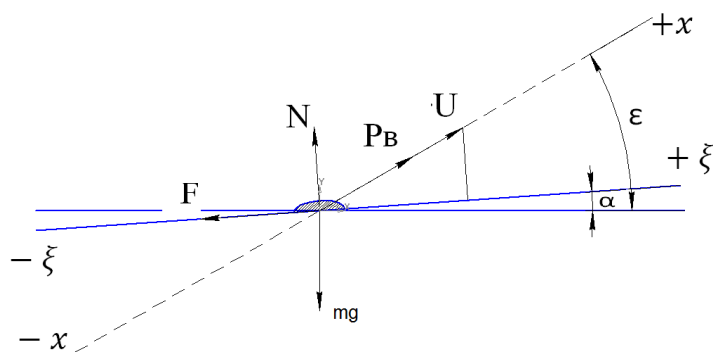


Рис. 2.2. Схема сил, действующих на материал (правый интервал)

В связи с тем, что сила инерции направлена в противоположную ускорению сторону, то она в этом интервале ориентирована вправо и стремится сдвинуть материал вверх по поверхности.

Дифференциальное уравнение относительного перемещения материала по поверхности, составленное с использованием принципа Д'Аламбера [28,21], примет вид:

$$m \cdot \frac{d^2 \xi_{BB}}{dt^2} = u \cdot \cos(\varepsilon - \alpha) - mg \cdot \sin \alpha - (-u \cdot \sin(\varepsilon - \alpha) + mg \cdot \cos \alpha - P_B \cdot \sin(\varepsilon - \alpha)) \times$$

$$\times \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} + P_B (-u \cdot \sin(\varepsilon - \alpha) - mg \cdot \cos \alpha - P_B \cdot \sin(\varepsilon - \alpha)) \cdot \cos(\varepsilon - \alpha).$$

$$m \cdot \frac{d^2 \xi_{BB}}{dt^2} = u \cdot \cos(\varepsilon - \alpha) - mg \cdot \sin \alpha -$$

$$- \frac{(-u \cdot \sin(\varepsilon - \alpha) + mg \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi - P_B \cdot \sin(\varepsilon - \alpha) \cdot \sin \varphi)}{\cos \varphi} + P_B \cdot \cos(\varepsilon - \alpha).$$

После преобразований, получим:

$$m \cdot \frac{d^2 \xi_{BB}}{dt^2} = u \cdot (\cos(\varepsilon - \alpha) \cdot \cos(\varphi) + \sin(\varepsilon - \alpha) \cdot \sin(\varphi))$$

$$- mg(\sin(\alpha) \cdot \cos(\varphi) + \cos(\alpha) \cdot \sin(\varphi)) + P_B \cdot (\sin(\varepsilon - \alpha) \cdot \sin \varphi + \cos(\varepsilon - \alpha) \cdot \cos \varphi)$$

$$\frac{d^2 \xi_{BB}}{dt^2} \cdot \frac{\cos(\varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha - \varphi)} = \omega^2 r \cdot \cos(\omega t) - g \cdot \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha - \varphi)} + k_{\pi} \cdot V_B^2 \quad (2.1)$$

В левом интервале сила инерции направлена справа налево, а материал стремится быть сдвинутым вниз по поверхности (рис.2.3).

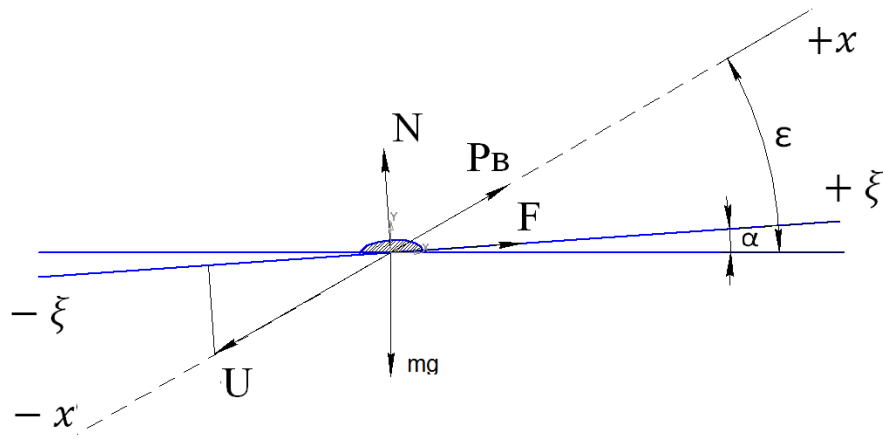


Рис. 2.3. Схема сил, действующих на материал (левый интервал)

Дифференциальное уравнение относительного перемещения материала по поверхности примет вид:

$$m \cdot \frac{d^2 \xi_{BB}}{dt^2} = (mg \cdot \cos(\alpha) + u \cdot \sin(\varepsilon - \alpha) - P_B \cdot \sin(\varepsilon - \alpha)) \cdot \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)} - u \cdot \cos(\varepsilon - \alpha) + P_B \cdot \cos(\alpha + \varepsilon) - mg \cdot \sin \alpha.$$

После преобразований, получим:

$$m \cdot \frac{d^2 \xi_{BH}}{dt^2} = u \cdot (-\sin(\varepsilon - \alpha) \cdot \sin \varphi + \cos(\varepsilon - \alpha) \cdot \cos \varphi) - mg \cdot (\sin \alpha \cdot \cos \varphi - \cos \alpha \cdot \sin \varphi) - P_B \frac{d^2 \xi_{BH}}{dt^2} \cdot \frac{\cos \varphi}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)} = \omega^2 r \cdot \cos \omega t - g \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)} - k_n \cdot V_B^2 \quad (2.2.)$$

Обозначим:

$$\sigma = \frac{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)}{\cos(\varphi)}$$

$$\delta = \frac{\cos(\varepsilon - \alpha - \varphi)}{\cos(\varphi)}$$

Тогда дифференциальные уравнения относительных перемещений примут вид:

$$\frac{d^2 \xi_{\varepsilon\varepsilon}}{dt^2} \cdot \frac{1}{\delta} = \omega^2 r \cdot \cos(\omega t) - g \cdot \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha - \varphi)} + k_n \cdot V_B^2, \quad (2.3)$$

$$\frac{d^2 \xi_{\varepsilon\varepsilon}}{dt^2} \cdot \frac{1}{\sigma} = \omega^2 r \cdot \cos(\omega t) - g \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)} - k_n \cdot V_B^2. \quad (2.4)$$

Для определения скорости относительного перемещения проинтегрируем дифференциальные уравнения(2.3) и (2.4).

Для того чтобы определить скорость в любой произвольный момент времени t, интегрирование необходимо вести в пределах от времени начала сдвигов t_1 до t.

Скорость при сдвигах вниз будет равна:

$$\frac{1}{\sigma} \int_{t_1}^t \frac{d^2 \xi_{\varepsilon\varepsilon}}{dt^2} dt = \int_{t_1}^t (\omega^2 r \cdot \cos(\omega t)) dt - \int_{t_1}^t g \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)} + \frac{k_n \cdot V_B^2}{g} \right) dt =$$

$$= \omega r \cdot ((\sin(\omega t) - \sin(\omega t_1))) - g \cdot (t - t_1) \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)} + \frac{k_n \cdot V_B^2}{g} \right)$$

$$\frac{d \xi_{BH}}{dt} \cdot \frac{1}{\sigma} = \omega r \cdot (\sin \omega t - \sin \omega t_1) - g \cdot (t - t_1) \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)} + \frac{k_n \cdot V_B^2}{g} \right) \quad (2.5)$$

Относительная скорость частиц при перемещении материала вверх может быть определена аналогичным образом:

$$\frac{d \xi_{\varepsilon\varepsilon}}{dt} \cdot \frac{1}{\delta} = \omega r \cdot (\sin(\omega t) - \sin(\omega t_1)) - g \cdot (t - t_1) \cdot \left(\frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha - \varphi)} - k_n \cdot V_B^2 \right) \quad (2.6)$$

Для того чтобы не перепутать моменты начала сдвигов вниз (t_1) – вн и вверх (t_1) – вв, обычно вводят понятия фаз начала сдвигов вниз $(\omega t_1)_{\varepsilon\varepsilon} = \theta_1$ и вверх $(\omega t_1)_{\varepsilon\varepsilon} = \psi_1$

С учетом этих обозначений уравнения относительных скоростей частиц могут быть приведены к виду:

$$\frac{d \xi_{\text{BH}}}{dt} \cdot \frac{1}{\sigma} = \omega r \cdot (\sin(\omega t) - \sin(\theta_1)) - g \cdot \left(\frac{\omega t - \theta_1}{\omega} \right) \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)} + \frac{k_{II} \cdot V_B^2}{g} \right) \quad (2.7)$$

$$\frac{d \xi_{\text{BB}}}{dt} \cdot \frac{1}{\delta} = \omega r \cdot (\sin(\omega t) - \sin(\psi_1)) - g \cdot \left(\frac{\omega t - \psi_1}{\omega} \right) \cdot \left(\frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha - \varphi)} - k_{II} \cdot V_B^2 \right) \quad (2.8)$$

Для фаз θ_1, ψ_1 характерным является отсутствие относительных ускорений частиц:

$$\frac{d^2 \xi_{\text{BH}}}{dt^2} \cdot \frac{1}{\sigma} = \omega^2 r \cdot \cos(\omega t) - g \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)} - k_{II} \cdot V_B^2 = 0.$$

Откуда:

$$\cos \theta_1 = \frac{g}{\omega^2 r} \cdot \left(\frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha - \varphi)} + \frac{k_{II} \cdot V_B^2}{g} \right) \quad (2.9)$$

$$\cos \psi_1 = \frac{g}{\omega^2 r} \cdot \left(\frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha - \varphi)} - \frac{k_{II} \cdot V_B^2}{g} \right) \quad (2.10)$$

После определения фаз начала сдвигов, находят скорость движения частиц.

Средняя скорость перемещения материала по колеблющейся поверхности зависит от величины сдвигов частиц вверх и вниз за время одного периода колебаний T :

$$V_{cp} = \frac{\xi_{BH} + \xi_{BB}}{T} \quad (2.11)$$

Поэтому, для определения средней скорости необходимо найти величины сдвигов вверх и вниз путем интегрирования уравнений относительной скорости в пределах от момента начала сдвигов t_1 до конца t_2 .

Для сдвигов вниз будем иметь:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sigma} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{d \xi_{\text{BH}}}{dt} dt &= \int_{t_1}^{t_2} \omega r (\sin(\omega t) - \sin(\theta_1)) dt \\ &- \int_{t_1}^{t_2} g \cdot \left(\frac{\omega t - \theta_1}{\omega} \right) \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)} + \frac{k_{II} \cdot V_B^2}{g} \right) dt \end{aligned}$$

Первый интеграл правой части примет вид:

$$\begin{aligned} \int_{t_1}^{t_2} \omega r (\sin(\omega t) - \sin(\theta_1)) dt \\ = -r \cdot \cos(\theta_2) + r \cdot \cos(\theta_1) - t_2 (r\omega) \cdot \sin(\theta_1) + t_1 (r\omega) \cdot \sin(\theta_1) = \\ = r \cdot [(\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2)) - (\theta_2 - \theta_1) \cdot \sin(\theta_1)] \end{aligned}$$

Второй интеграл правой части уравнения определится:

$$\begin{aligned}
g \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{(\omega t - \theta_1)}{\omega} \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\alpha + \varepsilon - \varphi)} + \frac{k_n \cdot V_B^2}{g} \right) dt &= \\
= g \cdot \frac{t_2^2}{2} \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\alpha + \varepsilon - \varphi)} + \frac{k_n \cdot V_B^2}{g} \right) - g \frac{t_1^2}{2} \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\alpha + \varepsilon - \varphi)} + \frac{k_n \cdot V_B^2}{g} \right) & \\
- g \cdot t_2 \cdot \frac{\theta_1}{\omega} \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\alpha + \varepsilon - \varphi)} + \frac{k_n \cdot V_B^2}{g} \right) + g \cdot t_1 \cdot \frac{\theta_1}{\omega} & \\
\cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\alpha + \varepsilon - \varphi)} + \frac{k_n \cdot V_B^2}{g} \right) = & \\
= g \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\alpha + \varepsilon - \varphi)} + \frac{k_n \cdot V_B^2}{g} \right) \cdot \left(\frac{t_2^2}{2} - \frac{t_1^2}{2} - t_2 \cdot \frac{\theta_1}{\omega} + t_1 \cdot \frac{\theta_1}{\omega} \right) = & \\
= g \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\alpha + \varepsilon - \varphi)} + \frac{k_n \cdot V_B^2}{g} \right) \cdot \left(\frac{t_2^2}{2} - \frac{t_1^2}{2} - t_2 \cdot t_1 + t_1 \cdot t_1 \right) = & \\
= g \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\alpha + \varepsilon - \varphi)} + \frac{k_n \cdot V_B^2}{g} \right) \cdot \left(\frac{t_2^2}{2} - t_2 \cdot t_1 + \frac{t_1^2}{2} \right) & \\
= g \cdot \frac{(t_2 - t_1)^2}{2} \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)} + \frac{k_n \cdot V_B^2}{g} \right). &
\end{aligned}$$

В конечном итоге уравнение примет вид:

$$\xi_{\varepsilon n} = \sigma \cdot r \cdot [\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2) - (\theta_2 - \theta_1) \cdot \sin(\theta_1) - 1/2 \cdot (\theta_2 - \theta_1)^2 \cos(\theta_1)] \quad (2.12)$$

Аналогично определяется величина сдвигов вверх для правых интервалов:

$$\xi_{\varepsilon \varepsilon} = \sigma \cdot r \cdot [\cos(\psi_1) - \cos(\psi_2) - (\psi_2 - \psi_1) \cdot \sin(\psi_1) - 1/2 \cdot (\psi_2 - \psi_1)^2 \cos(\psi_1)] \quad (2.13)$$

Использование данных уравнений возможно лишь после предварительного определения фаз конца сдвигов θ_2 и ψ_2 .

Для моментов конца сдвигов характерным является равенство нулю относительных скоростей частиц.

Для левых интервалов будем иметь:

$$\frac{d \xi_{\varepsilon n}}{dt} \cdot \frac{1}{\sigma} = \omega r \cdot ((\sin(\theta_2) - \sin(\theta_1)) - g \cdot \left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{\omega} \right) \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)} + \frac{k_n \cdot V_B^2}{g} \right)) = 0$$

Так, как:

$$\cos(\theta_1) = \frac{g}{\omega^2 r} \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\varepsilon - \alpha + \varphi)} + \frac{k_n \cdot V_B^2}{g} \right)$$

то:

$$\sin(\theta_2) - \theta_2 \cdot \cos(\theta_1) = \sin(\theta_1) - \theta_1 \cdot \cos(\theta_1). \quad (2.14)$$

Для правых интервалов:

$$\sin(\psi_2) - \psi_2 \cdot \cos(\psi_1) = \sin(\psi_1) - \psi_1 \cdot \cos(\psi_1) \quad (2.15)$$

Уравнения (2.14) и (2.15) являются трансцендентными, их решение относительно фаз θ_2 и ψ_2 может быть осуществлено приближенно, в том числе с использованием ЭВМ.

Кроме того следует отметить, что уравнения (2.14) и (2.15) справедливы в том случае, когда режим работы является устойчивым с самого начала и в каждом колебании сохраняется расчетное значение фаз.

Однако, между фазами конца сдвигов вниз θ_2 и начала сдвигов вверх ψ_1 , конца сдвигов вверх ψ_2 и начала перемещения вниз могут быть различные соотношения. При некоторых из них режим работы будет устойчив, а при иных, происходит нарушение периодичности сдвигов.

Условием устойчивого режима является:

$$\theta_2 \leq \psi_1 \text{ и } \psi_2 \leq 2\pi + \theta_1 \quad (2.16)$$

В этом случае движение материала вниз заканчивается в фазе θ_2 , в промежутке между θ_2 и ψ_1 частицы находятся на поверхности в состоянии относительного покоя. Затем, начиная от ψ_1 и до ψ_2 , следует сдвиг вверх, после чего наступает период относительного покоя между фазами ψ_2 и $2\pi + \theta_1$.

Если же соотношения (2.16) нарушены (например, случай, когда $\theta_2 > \psi_1$), то действительное значение фазы ψ_1 будет отличаться от расчетного.

В общем случае несовпадение расчетных и фактических значений фаз может быть не только при сдвигах вниз, но и при перемещениях вверх.

Если продолжить наблюдение за сменой фаз при последующих колебаниях, то можно убедиться, что в результате наступит устойчивый режим с повторяемостью фаз начала и концов сдвигов. Но сами значения предельных фаз:

$$\begin{aligned} \theta_{2\text{пред}} &= \psi_{1\text{пред}} \\ \psi_{2\text{пред}} &= 2 \cdot \pi + \theta_{1\text{пред}} \end{aligned} \quad (2.17)$$

не будут совпадать с начальными расчетными величинами, вычисленными по уравнениям (2.14) и (2.15).

Для определения величин сдвигов частиц вверх и вниз по поверхности по уравнениям (2.12) и (2.13) в этом случае необходимо вместо значений начальных (расчетных) фаз использовать их предельные значения.

Вычисление предельных значений фаз может быть произведено аналитически или методом последовательного приближения.

Конечные формулы, по которым могут быть вычислены значения предельных фаз, представляют собой трансцендентные уравнения:

$$\sin(\theta_{2\text{пред}} - \chi) - \sin(\theta_{2\text{пред}}) = \chi \cdot \cos(\theta_0); \quad (2.18)$$

$$\chi = \frac{2\pi \cdot \cos(\psi_0)}{\cos(\theta_0) - \cos(\psi_0)}$$

$$\sin(\psi_{2\text{пред}}) - \psi_{2\text{пред}} \cdot \cos(\psi_0) = \sin(\psi_{1\text{пред}}) - \psi_{1\text{пред}} \cdot \cos(\psi_0). \quad (2.19)$$

Метод последовательного приближения состоит в вычислении значений фаз при каждом колебании до тех пор, пока разность между предыдущим и последующим значением не станет меньше величины, заданной точностью решения.

По исходным данным: угол наклона поверхности к горизонту- $\alpha=0^0$; угол направленности колебаний- $\varepsilon=30^0$; углы трения зернового материала о поверхность: $\varphi_1=35^0$; $\varphi_2=45^0$; радиус кривошипа- $r=0,0075\text{м}$; коэффициент парусности семян пшеницы - $k_{\text{п}}=0,1\text{м}^{-1}$ определили средние скорости - $V_{\text{ср}}$. материала, перемещающегося по поверхности для различных скоростей воздушного потока – $V_{\text{в}}$, которые приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

Расчетные значения средней скорости

$V_{\text{в}}, \text{м/с}$	$V_{\text{ср}}, \text{м/с}$	$Z_{\text{вн}}, \text{м}$	$Z_{\text{вв}}, \text{м}$	α^0	ε^0	φ_1^0	φ_2^0	$\omega, \text{рад/с}$
0	0,108489	0,001474	0,011818	0	30	35	45	51,28
1	0,126205	0,001454	0,014008					
2	0,148078	0,001500	0,016641					
3	0,172683	0,001599	0,019556					
0	0,127568	0,001682	0,013333	0	30	35	45	53,38
1	0,144882	0,001653	0,015400					
2	0,165428	0,001674	0,017798					
3	0,188484	0,001737	0,020449					
0	0,143695	0,001835	0,014441	0	30	35	45	55,47
1	0,160464	0,001793	0,016382					
2	0,180144	0,001793	0,018611					
3	0,201751	0,00182	0,021031					
0	0,157718	0,001943	0,015271	0	30	35	45	57,56
1	0,174404	0,001895	0,01714					
2	0,193547	0,001878	0,019247					
3	0,214253	0,001879	0,021506					

2.3 . Анализ движения компонентов в вибропневмооживленном слое

С учетом исследований, проведенных В.В. Гортинским, И.И. Блехманом, В.Я. Хайнманом, применительно к виброоживленному слою сыпучего материала [1], уравнение относительного перемещения частицы в вибропневмооживленном слое имеет вид [19,20]:

$$m_1 \cdot \ddot{z} = (1 - \Delta) \cdot [m_0 \cdot (g \cdot \cos \beta + u_z) + R_g] - F_{\partial}, \quad (2.20)$$

где m_0 – эффективная масса частицы, складывающаяся из массы частицы и массы среды в половине её объема; \ddot{z} – проекция относительного ускорения частицы; g – ускорение свободного падения; Δ – отношение плотности рассматриваемой частицы к плотности частиц образующих слой; R_g – сила воздушного потока; u_z – проекция ускорения решета на ось z ; F_{∂} – сила сопротивления относительному перемещению.

Сила воздушного потока R_6 включает статическую R_{cm} и динамическую R_d составляющие.

Статическая составляющая воздействия воздушного потока определяется по известному выражению:

$$R_{cm} = V \cdot gradP, \quad (2.21)$$

где V – объем, занимаемый частицей в монослое. $gradP$ – градиент напора.

Градиент напора представляет собой:

$$gradP = \frac{\Delta P}{H}, \quad (2.22)$$

где ΔP – перепад давления воздуха в слое семян высотой H .

Перепад давления по уравнению Эргана составит:

$$\Delta P = 150 \cdot \frac{(1-\eta)^2}{\eta^3} \cdot \frac{\mu \cdot v}{d_s^2} \cdot H + 1.75 \cdot \frac{1-\eta}{\eta^3} \cdot \frac{\rho_6 \cdot v^2}{d_s} \cdot H, \quad (2.23)$$

где η – порозность вибропневмоожиженного слоя; ρ_6 – плотность воздуха; μ – динамическая вязкость газа; d_s – эквивалентный диаметр частиц.

Объем частиц, форма которых аппроксимирована трехосным эллипсоидом, определяется по формуле:

$$V = \frac{\pi \cdot a \cdot b \cdot l}{6}, \quad (2.24)$$

где a, b, l – соответственно, толщина, ширина и длина частиц.

Эквивалентный диаметр частиц определяется по формуле:

$$d_s = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V}{\pi}}. \quad (2.25)$$

Динамическая составляющая R_d зависит от скорости воздушного потока. В диапазоне скоростей до 2,0 м/с, сила действия его на частицу сыпучего материала определяется по формуле Ньютона:

$$R_d = \rho_u \cdot c \cdot F_q \cdot v^2, \quad (2.26)$$

где c – коэффициент учитывающий свойства поверхности частицы ($c = 0,184-0,265$); F_q – площадь Миделева сечения частицы.

Площадь Миделева сечения частиц, при условии, что их продольная ось располагается параллельно колеблющейся поверхности и их размер a будет определять толщину монослоя (как наиболее устойчивое положение), можно определить как площадь эллипса:

$$F_q = \frac{\pi \cdot b \cdot l}{4}. \quad (2.27)$$

По методике анализа процесса виброперемещения слоя семян, предложенной профессором В.С. Быковым, но с учетом воздействия воз-

душного потока, сила сопротивления поперечному перемещению частицы F_{∂} определится по выражению:

$$F_{\partial} = \frac{m_0 \cdot (g \cdot \cos \beta - R_{\epsilon} / m_0 + u) \cdot n' \cdot \operatorname{tg}(\beta' - \rho_{\text{вн}})}{1 + f_{\text{вн}} \cdot \operatorname{tg}(\beta' - \rho_{\text{вн}})}, \quad (2.28)$$

где β' - насыпной угол, характеризующий расположение семян в насыпи; m_0 - масса частиц, образующих слой; n' - число вышерасположенных монослоев; $f_{\text{вн}} = \operatorname{tg} \rho_{\text{вн}}$ - коэффициент внутреннего трения.

Проекция ускорения рабочей поверхности определится по формуле:

$$u_z = \omega^2 \cdot r \cdot \cos \omega t \cdot \sin \varepsilon. \quad (2.29)$$

Количество монослоев над рассматриваемой частицей можно выразить через её координату z :

$$n' = \frac{H - a/2 - z}{a}. \quad (2.30)$$

Величины ускорения деки и скорости воздушного потока ограничены условием безотрывного движения плотных частиц.

Решением дифференциального уравнения (2.20) численным методом при $m_0 = 32$ мг, $a = 2,65$ мм, $b = 2,8$ мм, $l = 6,5$ мм, $\omega = 52$ с⁻¹, $r = 2,5$ мм, $\beta = 5^\circ$, $\beta' = 18^\circ$, $\rho_{\text{вн}} = 16^\circ$, $\rho_{\text{сл}} = 0,780$ г/см³, $\varepsilon = 22^\circ$ определены время и скорость перемещения частицы из нижнего слоя на его поверхность. При этом должно соблюдаться условие:

$$(1 - \Delta) \cdot [m_0 \cdot (g \cdot \cos \beta + u) + R_{\epsilon}] \geq \frac{m_0 \cdot (g \cdot \cos \beta - j_{\epsilon} + u) \cdot n' \cdot \operatorname{tg}(\beta' - \rho_{\text{вн}})}{1 + f_{\text{вн}} \cdot \operatorname{tg}(\beta' - \rho_{\text{вн}})} \quad (2.31)$$

Скорость относительного перемещения низконатурных частиц в вибропневмооживленном слое зависит от соотношения плотности рассматриваемой частицы к плотности частиц, образующих слой. От этой же величины зависит скорость воздушного потока, при которой начинаются внутрислоевые перемещения (рис.2.4.).

При одинаковой скорости воздушного потока перемещение частицы с малой глубины происходит интенсивнее.

Результаты, полученные путем расчета, достаточно хорошо согласуются с данными экспериментальных исследований В.Д Бабченко, В.М. Дринчи, Л.М. Суконкина и В.А. Веденева [45, 46].

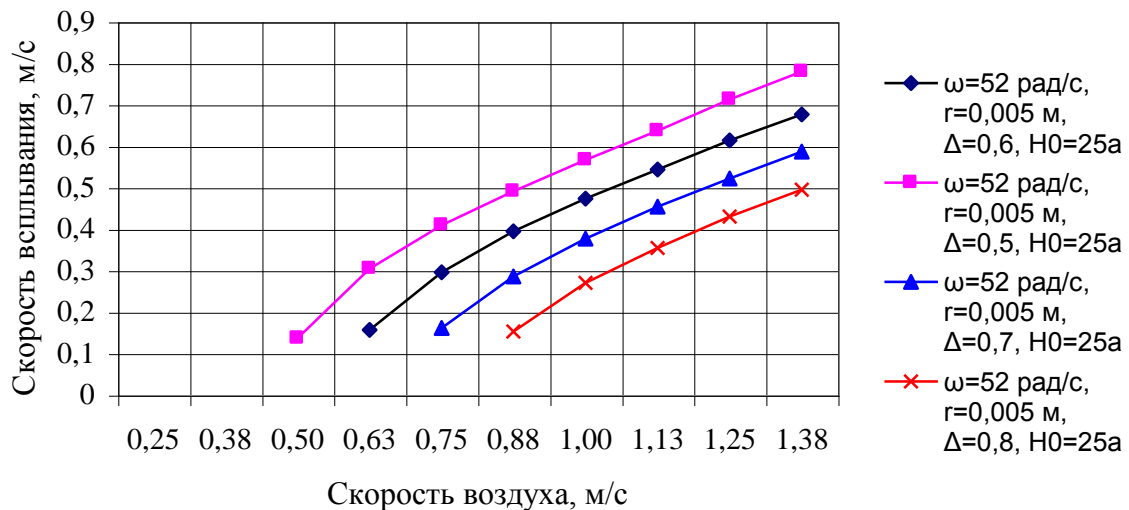


Рис. 2.4. Зависимость скорости движения низконатурных компонентов в вибропневмооживленном слое от скорости воздушного потока

Из графика следует, что скорость перемещения частиц в верхние слои зависит, при прочих равных условиях, от скорости воздушного потока и соотношения плотностей отделяемых компонентов и частиц, образующих слой.

Теоретические исследования показали, что повышение удельной производительности сепарации семян в вибропневмооживленном слое, по сравнению с классической технологией, реализуемой трапециевидными деками с вертикальным воздушным потоком, возможно за счет увеличения скорости движения компонентов, движущихся по прямооточной деке со скошенной стенкой с наклонным воздушным потоком.

Глава 3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАШИНЫ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ СЕМЯН ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 0,5 т/ч

3.1. Устройство и процесс работы вибропневмосепаратора производительностью 0,5 т/ч

Вибропневмосепаратор (ВПС) предназначен для очистки семян зерновых культур от трудноотделимых примесей, отличающихся от семян основной культуры по плотности, форме и свойствам поверхности.

Вибропневмосепаратор с нагнетательной пневмосистемой и открытой декой состоит из рамы 18 (рис. 3.1) [7,8,49,50], колеблющейся рамки 7, деки 6, пневмосистемы с двумя вентиляторами 22, 23 и воздуховывравнивающей решеткой 26, вибропривода.

Колеблющаяся рамка 7 шарнирно подвешена к раме с помощью стоек. Место крепления стоек на раме можно изменять. Дека крепится к колеблющейся рамке в трех точках. В первой точке с помощью шаровой опоры, без возможности изменения положения крепления, а двух других точках – с помощью сферических шарниров: механизмов регулирования угла наклона деки.

Механизмы регулировки углов наклона 15, 16 представляют собой пластины с прямоугольным вырезом, со сферическими шарнирами. В вырез пластины входит резьбовой стержень, приваренный к колеблющейся раме. На стержень закручивается маховик с внутренней резьбой, с помощью которого пластина прижимается к колеблющейся раме. За счет силы трения между пластиной и рамой фиксируется положение деки. Продольный угол регулируется в пределах от 0° до 8°, поперечный – от 0° до 6°.

Дека представляет собой раму из алюминиевых уголков, к которым прикреплены: рабочая поверхность (просечно-вытяжное решето с круглыми отверстиями и жалюзийными выступами, направленными параллельно колебаниям деки), борта по периметру деки, 5 приемников фракций, воздуховывравнивающая решетка и два гибких воздуховода.

Площадь рабочей поверхности деки составляет 0,27 м² и разделена на две зоны: предварительного расслоения А (0,042 м²) и отдельного транспортирования Б (0,238 м²), каждая из которых соединена с вентиляторами. Причем воздуховод зоны расслоения находится внутри воздуховода зоны транспортирования. В зоне транспортирования избыточное давление создается внутри рамы вибропневмосепаратора с помощью вентилятора 23. В зону расслоения воздух нагнетается непосредственно под рабочую поверх-

ность дополнительным вентилятором 22. Скорость воздушных потоков регулируется с помощью заслонок вентиляторов.

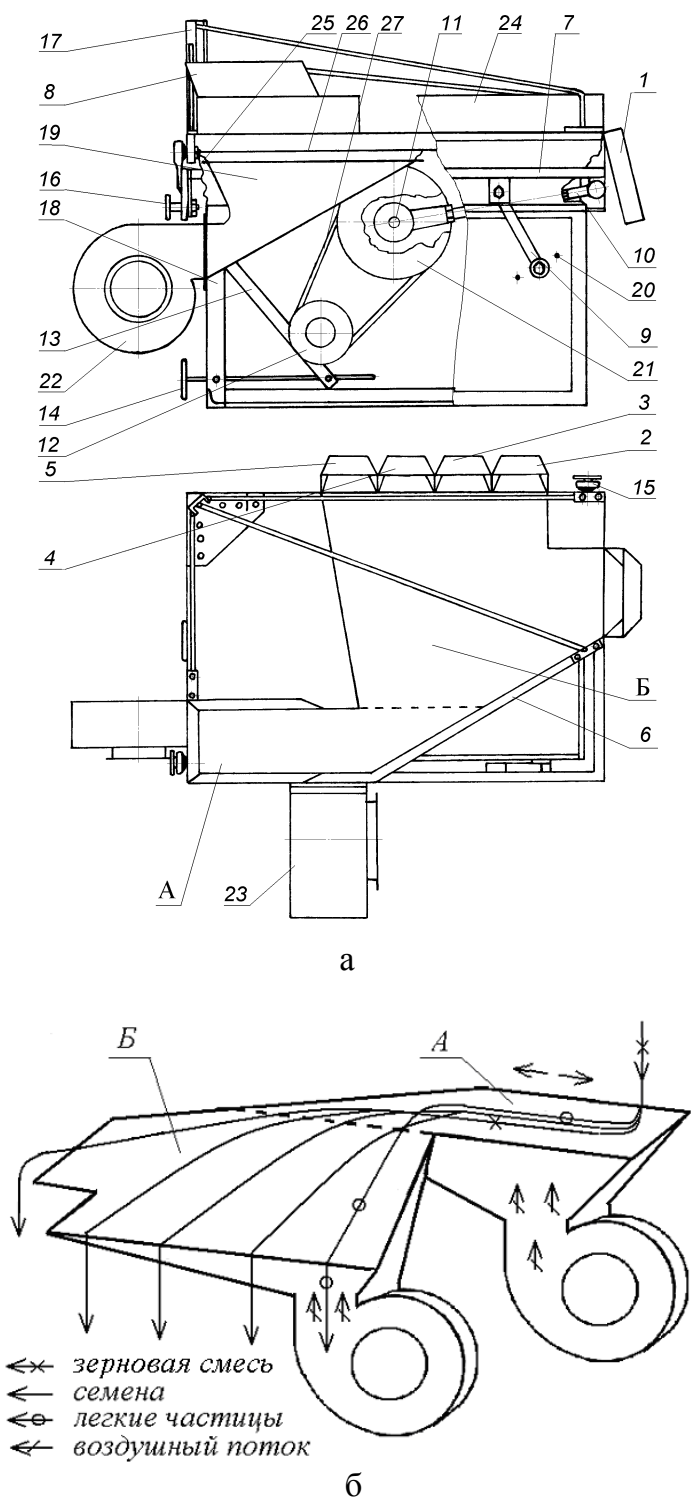


Рис. 3.1. Общий вид (а) и технологическая схема (б) вибропневмосепаратора:

1-5 – приемники конечных фракций; 6 – дека; 7 – колеблющаяся рамка; 8 – приемник семян; 9 – стойка; 10 – шатун; 11 – эксцентриковый вал; 12 – электродвигатель с вариатором; 13 – кронштейн; 14 – винт регулировки частоты колебаний деки; 15,16 – механизмы регулирования углов продольного и поперечного наклона; 17 – рама жесткости; 18 – рама вибропневмосепаратора; 19, 25 – воздухопроводы; 20 – отверстия крепления стойки; 21 – плавающий шкив; 22, 23 – вентиляторы зоны расслоения и транспортирования деки; 24 – боковины; 26 – воздуховывравняющая решетка; 27 – ременная передача; А – зона расслоения; Б – зона транспортирования.

Дека совершает прямолинейные колебания за счет эксцентрикового механизма 11, который соединен с помощью шатуна 10 колеблющейся рамкой 7. Механизм вибропривода представляет собой вал с эксцентриком 11, который через шариковый подшипник соединен с нижней головкой ша-

туна. Вал получает вращение через клиноременную передачу от асинхронного электродвигателя переменного тока 12 с вариатором. Электродвигатель закреплен к кронштейну шарнирно соединенному с рамой.

Положение кронштейна регулируется винтовым механизмом 14 с кулачком на конце. Частота вращения вала эксцентрика регулируется вариатором в пределах от 300 до 700 мин⁻¹.

Угол направленности колебаний регулируется изменением положения крепления осей качения стоек 9 в отверстиях 20 и длины шатуна 10 вибропривода.

Для загрузки ВПС используется бункер емкостью около 80 дм³, устанавливаемый на отдельной раме. Подача материала регулируется путем изменения размера выходного отверстия на днище бункера шиберной заслонкой.

Технологический процесс ВПС осуществляется следующим образом.

Зерновая смесь из бункера поступает на поверхность зоны предварительного расслоения деки равномерным слоем. Под действием вибрации и воздушного потока легкие частицы всплывают на поверхность слоя материала, а более тяжелые опускаются вниз. При этом материал перемещается в зону транспортирования, где продолжается перераспределение частиц по плотности. Тяжелые частицы, оказавшиеся в нижних слоях материала, двигаются в направлении колебаний к приемнику 1. Более легкие частицы, оказавшиеся на поверхности слоя, менее подвержены колебаниям рабочей поверхности, поэтому за счет силы тяжести и углов наклона, они «стекают» вдоль правого борта к приемникам 4,5. В приемниках 2,3 оказывается материал с промежуточными свойствами, при этом их плотность от левого края к правому (если смотреть со стороны схода) снижается, а засоренность низконатурными примесями возрастает.

3.2. Применяемые приборы и аппаратура, подготовка исходного материала, методики оценки свойств разделяемого материала, рабочих поверхностей машин

3.2.1. Приборы и аппаратура, применяемые для лабораторных опытов и производственных исследований

При лабораторных исследованиях процесса разделения зерновой смеси на вибропневмосепараторе измерялись следующие параметры:

- подача зернового материала;
- количество материала, поступающего в разные приемники;
- частота колебаний деки;
- угол установки деки;
- натурная масса материала.

Приборы и аппаратура, применяемые в процессе опытов приведены на рисунке 3.2.



Рис. 3.2. Приборы и аппаратура, использованные при проведении опытов

Перечень приборов и аппаратуры, использованные при экспериментальных исследованиях, приведен в таблице 3.1, они на основании периодической поверки признаны годными применению ФГУ Пермским Центром стандартизации и метрологии.

Таблица 3.1

Приборы и аппаратура для экспериментальных исследований

Наименование	Марка	Назначение
Тахометр	СК Тип 751	Контроль и измерение частоты вращения эксцентрикового вала
Весы лабораторные	Тип 782 РП – 200 Ш 13	Измерение массы проб материала при определении подачи
Весы лабораторные	ВЛКТ-500г-М	Определение массы проб
Секундомер	СДС-пр1	Определение времени опыта
Уровень – угломер	ТУ50 – 252 – 80	Измерение углов наклона деки, определение угла направленности колебаний рабочего органа
Влагомер	ПВЗ – 10 Д	Определение влажности зерна
Анемометр цифровой переносной	АП1М	Контроль и измерение скорости воздушного потока
Литровая пурка	ПХ-1	Определение натурной массы

Анализ отобранных проб проводили на плоскорешетном (рис. 3.3 а) и парусном (рис. 3.3 б) классификаторах.



а



б

Рис. 3.3. Лабораторные машины: а – решетный классификатор; б – парусный классификатор фирмы «Petkus»

3.2.2. Методика определения фрикционных свойств рабочей поверхности деки и стенки вибропневмосепаратора

В качестве рабочей поверхности на вибропневмосепараторе используется просечно-вытяжное решето с круглыми отверстиями и жалюзийными выступами. Угол внешнего трения поверхности зависит от направления выступов. При теоретических исследованиях процесса сепарирования зерновой смеси на вибропневмосепараторе необходимо знать коэффициенты трения движущегося материала о поверхность, в зависимости от направления движения. Поэтому задачей исследования является установление функциональной зависимости между направлением выступов и соответствующего этому направлению коэффициента трения путем определения углов трения.

Определение коэффициентов внешнего трения проведено с помощью прибора (рис. 3.4). Он состоит из корпуса, платформы для крепления рабочих поверхностей, подъемного механизма и угломера. На корпусе закреплен электродвигатель, рычаг подъемного механизма и шкала. Платформа со съемной передней стенкой шарнирно присоединена к корпусу. На ней имеется приспособление для крепления сменных поверхностей и закреплена стрелка угломера. Платформа поворачивается при помощи рычага подъемного механизма, усилие которому передается через трос от вала электродвигателя.

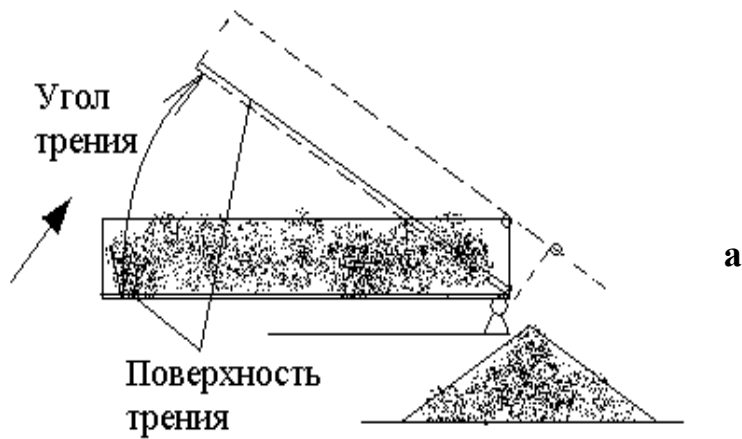
Прибор устанавливается на горизонтальную поверхность. Стрелка угломера должна находиться на отметке “0”. На платформу крепится исследуемая поверхность. Вставляется передняя стенка, а натяжной трос подсоединяется к рычагу.

Зерновая смесь, состоящая из семян основной культуры и примесей равномерно, засыпается на платформу. Излишек материала срезается линейкой. После этого снимается передняя стенка и включается электродвигатель для поднятия платформы. Двигатель выключается в момент, когда материал сползает с исследуемой поверхности. Стрелка угломера показывает угол наклона платформы или угол схода. Измерения проводили с пятикратной повторностью.

Для определения величины и зависимости изменения угла трения от направления жалюзийных выступов изготовлены образцы с разными углами направления выступов с шагом 15 градусов.

Для определения угла трения семенной смеси о стенку изготовили образец, выполненный из того же материала что и стенка деки.

Коэффициент внешнего трения f' находится, как тангенс угла схода зерна по расслаивающей поверхности. Угол схода фиксируется по угломеру, закрепленному на приборе. Абсолютная погрешность определения f' не превышает $\pm 0,04$. Обработка результатов опытов и установление искомой зависимости проводили с помощью табличного редактора Excel на ЭВМ.



**Рис.3.4. Прибор для определения углов внешнего и внутреннего трения:
а – схема прибора; б – общий вид прибора**

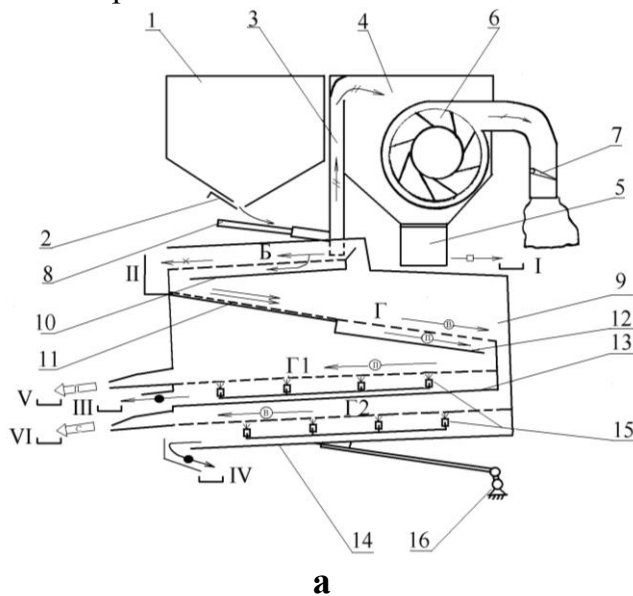
3.2.3. Методика подготовки материала перед сепарацией в вибропневмооживленном слое

Для подготовки зернового материала на кафедре сельскохозяйственных машин Пермской ГСХА была разработана воздушно-решетная машина, реализующая фракционную схему разделения семян (рис. 3.5). Она включает бункер 1 с дозирующей заслонкой 2, пневмоканал 3, осадочную камеру 4 с уплотнительным клапаном 5, вентилятор 6 с регулировочной заслонкой 7, виброток 8, решетный стан 9, который подвешен к раме на

подвесках, содержащий первый ярус с решетом Б и поддоном 10, второй ярус с расслоительной поверхностью 11, представляющая собой решето с отверстиями продолговатой формы $1,4 \times 20$ мм, фракционным решето Г и поддоном 12, третий ярус с сортировальным решето Г₁ и поддоном 13, четвертый ярус с сортировальным решето Г₂ и поддоном 14, механизм 15 щеточной очистки решет, привод решетного стана 16.

Выходные части решета Г и поддона 12 второго яруса сообщены, соответственно, с решето Г₁ третьего яруса и с решето Г₂ четвертого яруса.

Очистка решет от застрявших в отверстиях зерен осуществляется щеточным механизмом 15. Привод установки осуществляется механизмом 16, который включает в себя электродвигатель 4АМ100Л6У3 мощностью 2,2 кВт и номинальной частотой вращения вала 955 мин^{-1} , клиноременный вариатор, эксцентриковый механизм колебательного привода решетного стана, кривошипно-ползунный механизм щеточной очистки решет, ременные и цепную передачи привода решетного стана, вентилятора и механизма очистки решет.



- > - поток очищаемого материала;
- > - расслоенный материал;
- п - проходная фракция;
- с - сходовая фракция;
- > - воздушный поток с пылью;
- > - воздушный поток с легкими примесями;
- X> - крупные примеси;
- > - щуплое зерно и зерновая примесь;
- > - легкие примеси;
- > - очищенное зерно



Рис. 3.5. Воздушно-решетная машина: а – схема технологического процесса: 1 – бункер; 2 – дозирующая заслонка; 3 – пневмоканал; 4 – осадочная камера; 5 – уплотнительный клапан; 6 – вентилятор; 7 – регулировочная заслонка; 8 – вибророток; 9 – решетный стан, 10, 12, 13, 14 – поддоны; 11 – расслоительная поверхность, 15 – механизм щеточной очистки решет; 16 – привод решетного стана; I... V – выходы; б – общий вид.

Конструкция машины позволяет регулировать нагрузку на фракционное решето до $105 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$ изменением сечения выходного окна бункера, частоту колебаний – в пределах $150 \dots 700 \text{ мин}^{-1}$ с помощью клиноременного вариатора, амплитуду колебаний – от $0,005,0$ до $0,010$ м при установке сменных эксцентриков, устанавливать сменные решета с различными размерами отверстий (табл. 3.2). Угол наклона решет к горизонту составляет 6° .

Таблица 3.2

Параметры решетных полотен лабораторной установки

Наименование решет	Размер, мм	Форма и размеры отверстий, мм
Колосовое Б	550×350	Ø5,0; 5,5; 6,0
Фракционное Г	550×350	Ø4,5; 4,75; 5,0
Сортировальное Г ₁	990×350	□ 2,0; 2,2×25
Сортировальное Г ₂	990×350	□ 2,2×25

Установка работает следующим образом.

Зерновая смесь, из бункера 1 дозируется заслонкой 2 и подается вибрлотком 8 в пневмоканал 3, где очищается потоком воздуха, создаваемым вентилятором 6. Легкие примеси и пыль осаждаются в осадочной камере 4 и выводятся через клапан 5 из машины (выход I). Скорость воздуха в канале 3 регулируется заслонкой 7 и контролируется по началу выноса зерна в отходы.

Далее зерновая смесь поступает на решето Б первого яруса стана 9, где сходом выделяются крупные примеси (выход II). Проход через решето Б первого яруса поступает на расслоительную поверхность 11 второго яруса. Под действием вибрации решетного стана, зерновой материал, движущийся по поверхности 11, распределяется на слои по плотности. При дальнейшем движении расслоенного материала по фракционному решету Г, имеющего отверстия круглой формы, диаметр которых больше ширины семян основной культуры, в проход поступает зерновой материал из нижних слоев, который формирует I-ю фракцию. В состав этой фракции входят, наряду с семенами основной культуры, короткие, мелкие примеси и допустимое количество длинных и трудновыделимых примесей. Эта фракция по конечной части поддона 12 поступает на решето Г₁ третьего яруса. Сходом с фракционного решета Г движется II-я фракция, формируемая из зернового материала верхних слоев. В состав этой фракции входят семена основной культуры с преимущественным содержанием длинных и трудновыделимых примесей и допустимым содержанием коротких.

II-я фракция с решета Г поступает на решето Г₂ четвертого яруса. Через решета Г₁ и Г₂ проходит мелкое и щуплое зерно основной культуры и по поддонам 13 и 14 выводятся за пределы машины (выходы III, IV). Сходовая фракция с решета Г₁ (выход V) представляет собой конечный про-

дукт. Сходовую фракцию решета Г₂ (выход VI), после отделения на лабораторном триере, использовали, после добавления примесей, как исходный материал для исследований вибропневмосепаратора.

В качестве материала при проведении лабораторных исследований использовали искусственную зерновую смесь из семян яровой пшеницы сорта «Иргина» кондиционной влажности объемной массой 690 кг/м³ и прошедших разделение по аэродинамическим свойствам и размерам (толщине, ширине и длине). В качестве низконатурной примеси были взяты членики редьки дикой средним значением объемной массы 400 кг/м³.

Кривые плотности вероятности распределения семян пшеницы по толщине и скорости витания приведены на рисунке 3.6.

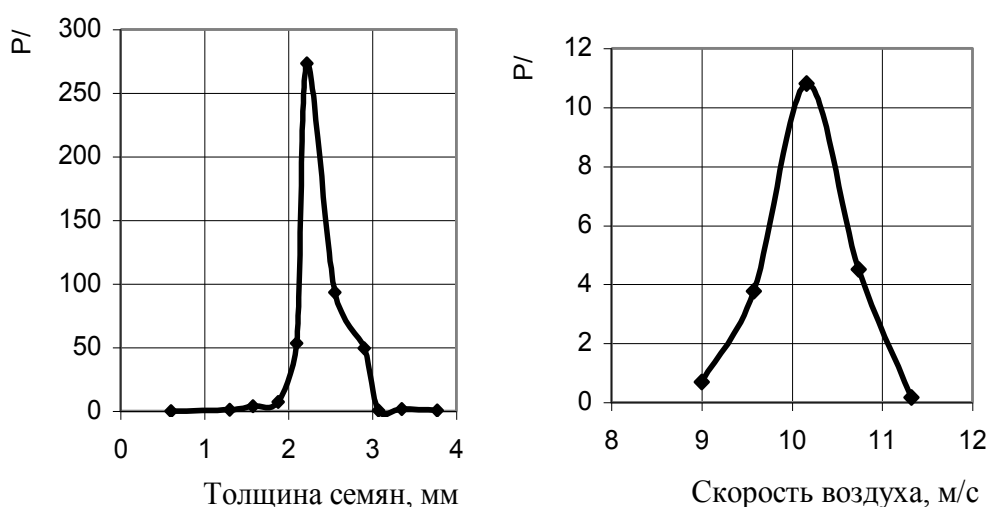


Рис. 3.6. Кривые плотности вероятности распределения семян пшеницы по толщине и скорости витания перед обработкой в вибропневмооживленном слое

3.2.4.Оценки эффективности сепарации семян в вибропневмооживленном слое

Оценками сепарации семян в вибропневмооживленном слое приняты [48] полнота выделения члеников редьки дикой, выход семян категории ЭС, доля семян, доочистка которых возможна при повторной обработке на вибропневмосепараторе, потери полноценных семян в отходы, полнота выделения члеников редьки дикой при 10% потерях семян основной культуры.

Разгрузочная кромка деки была разделена на участки, с которых в течение 1 мин отбирали зерновой материал и взвешивали. Затем определяли массовую долю и проводили анализ семян на содержание сорняков в каждой пробе. При этом семена, собранные с участков и соответствующие требованиям ГОСТ по чистоте, объединяли. Участки, с которых собранные семена, имели засоренность выше допустимой по ГОСТ, но меньшей чем в

исходном материале, собирали для повторной очистки. Фракции семян, собранные с участков, засоренность которых превышает исходную, объединяли в отходы. Опыты проводили в трехкратной повторности.

Полноту выделения примесей определяли по формуле:

$$\varepsilon = \left[1 - \frac{S_{kn}}{S_{um}} \right] \cdot 100, \% \quad (3.2.1)$$

или при 10% потерях семян в отходы:

$$\varepsilon' = \left[1 - \frac{S'_{kn}}{S_{um}} \right] \cdot 100, \% \quad (3.2.2)$$

где S_{kn} – содержание семян сорняков в конечном продукте, шт/кг; S_{um} – содержание семян сорняков в исходном материале, шт/кг; ε' – полнота выделения сорняков при 10% потерях семян, %; S'_{kn} – содержание семян сорняков в конечном продукте при 10% потерях семян, шт/кг;

Содержание семян сорняков в конечном продукте определяли как среднюю засоренность фракций, соответствующих требованиям ГОСТ по чистоте:

$$S_{kn} = \frac{\sum_{i=1}^{n-m-r} S_i \cdot \delta_i}{\sum_{i=1}^{n-m-r} \delta_i}, \text{ шт/кг} \quad (3.2.3)$$

где S_i – засоренность семян на i -ом участке шт./кг; δ_i – массовая доля семян оказавшихся на i -ом участке, дол. Ед.; n – количество участков; m – количество участков, семена на которых имели засоренность, превышающую исходную; r – количество участков, доочистка семян которых возможна при подаче материала на рециркуляцию.

При 10% потерях семян в отходы содержание сорняков в конечном продукте определяли по формуле:

$$S'_{kn} = \frac{\sum_{i=1}^{n-m} S_i \cdot \delta_i + S_n \cdot (0,9 - \sum_{i=1}^{n-m} \delta_i)}{0,9}, \text{ шт/кг} \quad (3.2.4)$$

Уравнение 3.6,а справедливо для случаев, когда $m=1$, а $\delta_n > 0,1$.

Если δ_n оказывается меньше 0,1, расчет производим по формуле:

$$S'_{kn} = \frac{\sum_{i=1}^{n-m-1} S_i \cdot \delta_i + S_{n-m} \cdot (0,9 - \sum_{i=1}^{n-m-1} \delta_i)}{0,9}, \text{ шт/кг} \quad (3.2.5)$$

Выход семян элиты определяется как сумма массовых долей семян с участков с засоренностью, соответствующей требованиям ГОСТ:

$$V = \sum_{i=1}^{n-m-r} \delta_i, \% \quad (3.2.6)$$

Содержание семян, доочистка которых возможна при повторной подаче определяется по формуле:

$$R = \sum_{i=n-m-r}^{n-m} \delta_i, \% \quad (3.2.7)$$

Потери семян определяются:

$$P = 1 - V - R = 1 - \sum_{i=1}^{n-m} \delta_i, \% \quad (3.2.8)$$

3.3. Результаты исследований машины производительностью 0,5 т/ч

3.3.1 Фрикционные свойства рабочей поверхности вибропневмосепаратора

В качестве рабочей поверхности на вибропневмосепараторе используется просечно-вытяжное решето с круглыми отверстиями и жалюзийными выступами.

Результаты исследования зависимости коэффициента внешнего трения от направления выступов поверхности для очищаемой семенной смеси, представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Значения углов внешнего трения и коэффициента трения в зависимости от направления выступов поверхности

Направление выступов		Угол внешнего трения, град.					среднее значение	Коэффициент трения
		повторность опыта						
град.	Рад.	1	2	3	4	5		
0	0,00	38,00	36,33	37,80	36,66	35,50	36,86	0,75
15	0,26	37,00	37,00	35,00	36,00	37,00	36,40	0,74
30	0,52	34,00	35,80	33,66	35,50	35,50	34,89	0,70
45	0,79	34,00	37,00	35,33	36,33	36,40	35,81	0,72
60	1,05	36,00	35,33	36,66	35,00	35,83	35,76	0,72
75	1,31	34,00	34,00	34,00	33,53	35,00	34,11	0,68
90	1,57	33,16	35,33	33,50	34,00	34,05	34,01	0,67
105	1,83	37,50	38,66	37,80	38,00	37,00	37,79	0,78
120	2,09	39,00	39,00	40,16	39,16	39,66	39,40	0,82
135	2,36	42,80	42,00	43,86	43,00	41,33	42,60	0,92
150	2,62	44,50	43,33	43,86	42,55	45,50	43,95	0,96
165	2,88	47,33	47,00	48,96	47,16	48,00	47,69	1,10
180	3,14	49,00	49,00	47,66	48,33	47,00	48,20	1,12

По полученным данным построен график зависимости коэффициента трения материала по рабочей поверхности вибропневмосепаратора от направления жалюзийных выступов (рис. 3.7).

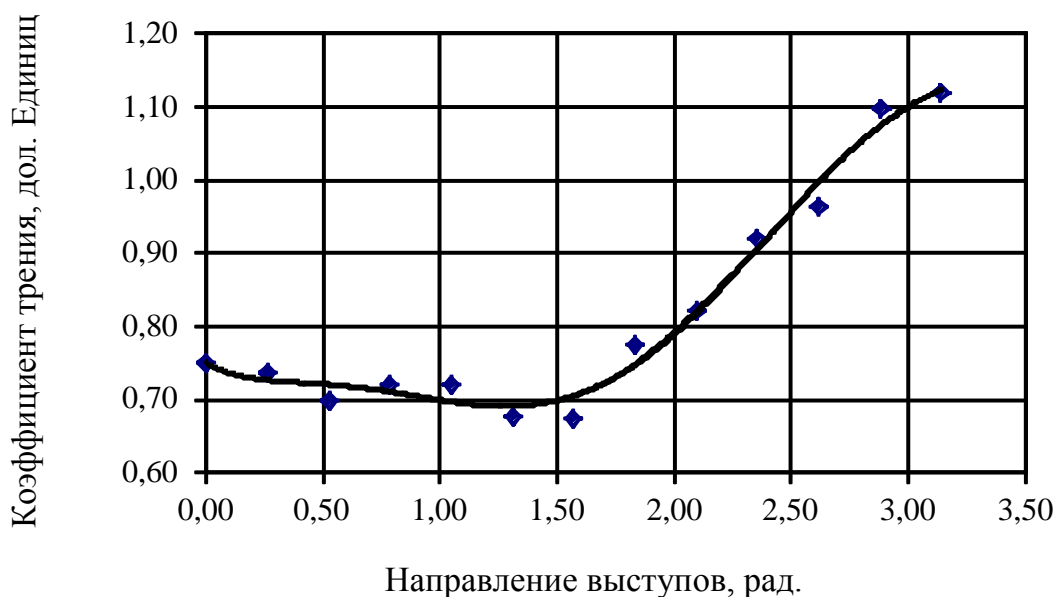


Рис. 3.7. Зависимость коэффициента трения от направления выступов поверхности

Получено эмпирическое уравнение, выражающее связь коэффициента трения от направления выступов в виде полинома шестой степени:

$$f_{xy} = 0,0124 \cdot \sigma^6 - 0,1307 \cdot \sigma^5 + 0,4903 \cdot \sigma^4 - 0,7757 \cdot \sigma^3 + 0,5426 \cdot \sigma^2 - 0,1907 \cdot \sigma + 0,7512 \quad (3.3.1)$$

где f_{xy} – коэффициент трения; σ – направление выступов, рад.

Достоверность аппроксимации средних значений экспериментальных данных коэффициента трения с полученным выражением (3.3.1) составляет $R^2=0,982$.

Из графика следует, что коэффициент трения зерновой смеси по поверхности просечно-вытяжного решета с круглыми отверстиями и жалюзийными выступами зависит от направления движения материала. При этом его значение, при направлении выступов от 0 до 90 градусов, снижается. Это объясняется снижением сопротивления выступов из-за снижения угла подъема, которое необходимо преодолеть частицам и их прохождением между выступами. При направлении выступов от 90 до 180 градусов, при движении назад, если рассматривать процесс движения материала, значение коэффициента трения резко возрастает. Это объясняется увеличением взаимодействия частиц с кромками выступов.

Данные исследования подтверждают предположение о различии коэффициентов трения зерна по поверхности в зависимости от направления его движения. Полученное выражение (3.3.1) позволяет с достаточно высо-

кой достоверностью рассчитывать промежуточные значения угла трения при исследовании движения материала по поверхности деки.

3.3.2. Оптимизация рабочего процесса вибропневмосепаратора

Целью исследования являлось определение оптимальных параметров и режима работы вибропневмосепаратора.

Задачу решали при реализации семифакторного эксперимента по трехуровневому почти рототабельному плану Бокса-Бенкина. План опыта и оценки представлены в работе [30,49].

На основе опытов получены уравнения регрессии второго порядка (3.3.2) и (3.3.3). Расчет коэффициентов регрессии и статистическая проверка моделей проведены с помощью прикладного программного пакета STATGRAPHICS Plus на ЭВМ.

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 58.925 + 10.3665 \cdot x_1 + 8.31611 \cdot x_2 - 2.30282 \cdot x_3 - 15.0755 \cdot x_4 + 1.49165 \cdot x_5 + \\
 & + 10.3406 \cdot x_6 - 0.857215 \cdot x_7 + 0.330129 \cdot x_1^2 - 6.18146 \cdot x_1 \cdot x_2 - 2.30124 \cdot x_1 \cdot x_3 + \\
 & + 6.70809 \cdot x_1 \cdot x_4 + 8.67127 \cdot x_1 \cdot x_5 - 6.61767 \cdot x_1 \cdot x_6 + 23.2827 \cdot x_1 \cdot x_7 + 3.83945 \cdot x_2^2 + \\
 & + 3.33199 \cdot x_2 \cdot x_3 - 6.55159 \cdot x_2 \cdot x_4 - 6.37891 \cdot x_2 \cdot x_5 + 24.6056 \cdot x_2 \cdot x_6 - 17.8684 \cdot x_2 \cdot x_7 - (3.3.2) \\
 & - 6.21167 \cdot x_3^2 - 21.8653 \cdot x_3 \cdot x_4 - 19.3273 \cdot x_3 \cdot x_5 + 9.79123 \cdot x_3 \cdot x_6 - 6.90021 \cdot x_3 \cdot x_7 - \\
 & - 14.379 \cdot x_4^2 - 36.8211 \cdot x_4 \cdot x_5 + 2.11098 \cdot x_4 \cdot x_6 - 5.82135 \cdot x_4 \cdot x_7 + 5.01153 \cdot x_5^2 - \\
 & - 5.67713 \cdot x_5 \cdot x_6 + 2.8544 \cdot x_5 \cdot x_7 - 16.861 \cdot x_6^2 - 23.5532 \cdot x_6 \cdot x_7 + 15.6105 \cdot x_7^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_2 = & 248.681 + 19.8074 \cdot x_1 - 13.025 \cdot x_2 - 17.5328 \cdot x_3 - 37.0742 \cdot x_4 - 19.074 \cdot x_5 + \\
 & + 56.8443 \cdot x_6 + 73.0734 \cdot x_7 + 5.39744 \cdot x_1^2 + 2.61381 \cdot x_1 \cdot x_2 - 3.95589 \cdot x_1 \cdot x_3 - \\
 & - 18.0498 \cdot x_1 \cdot x_4 + 5.82116 \cdot x_1 \cdot x_5 + 12.1316 \cdot x_1 \cdot x_6 - 10.0353 \cdot x_1 \cdot x_7 - 7.34259 \cdot x_2^2 - \\
 & - 2.96959 \cdot x_2 \cdot x_3 - 5.3571 \cdot x_2 \cdot x_4 + 5.95405 \cdot x_2 \cdot x_5 - 33.7141 \cdot x_2 \cdot x_6 + 7.74107 \cdot x_2 \cdot x_7 + (3.3.3) \\
 & + 1.78261 \cdot x_3^2 + 16.1734 \cdot x_3 \cdot x_4 - 5.90366 \cdot x_3 \cdot x_5 + 28.7871 \cdot x_3 \cdot x_6 - 35.5456 \cdot x_3 \cdot x_7 + \\
 & + 0.246868 \cdot x_4^2 + 21.993 \cdot x_4 \cdot x_5 - 10.7558 \cdot x_4 \cdot x_6 - 46.9014 \cdot x_4 \cdot x_7 + 24.5372 \cdot x_5^2 - \\
 & - 2.56096 \cdot x_5 \cdot x_6 - 17.1577 \cdot x_5 \cdot x_7 + 24.0042 \cdot x_6^2 + 7.41085 \cdot x_6 \cdot x_7 - 15.9326 \cdot x_7^2
 \end{aligned}$$

где Y_1 – полнота выделения низконатурных примесей при потерях 10%, %; Y_2 – мощность затрачиваемая на технологический процесс без учета коэффициента полезного действия, Вт; $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ – нормированные значения продольного и поперечного углов наклона деки, угла направленности, частоты и амплитуды колебаний деки, скорости воздушного потока в зонах расслоения и транспортирования, соответственно.

Достоверность аппроксимации моделей полиномом второй степени составила: для Y_1 – 87,9% ; для Y_2 – 91,5%.

Значимость коэффициентов моделей определяли по t -критерию Стьюдента. Результаты расчетов по каждой модели относительно табличного значения критерия $t=2,056$ приведены в виде диаграммы (рис 3.8).

Из диаграммы (рис.3.8а) следует, что с вероятностью 0,95 значимыми оказались 11 коэффициентов модели (3.3.2), в том числе коэффициенты следующих взаимодействий: $b_{45}, b_{35}, b_{34}, b_{17}, b_{67}, b_{26}, b_{27}$. Для модели (3.3.3), с вероятностью 0,95, значимыми оказались следующие 9 коэффициентов: $b_7, b_6, b_4, b_1, b_{55}, b_{47}, b_{37}, b_5, b_3$. По полученной модели полноты выделения низконатурных примесей вибропневмосепаратором при выходе семян 90% построены двумерные сечения поверхностей откликов критерия оптимизации по значимым взаимодействиям факторов, при фиксации остальных на нулевом уровне [49].

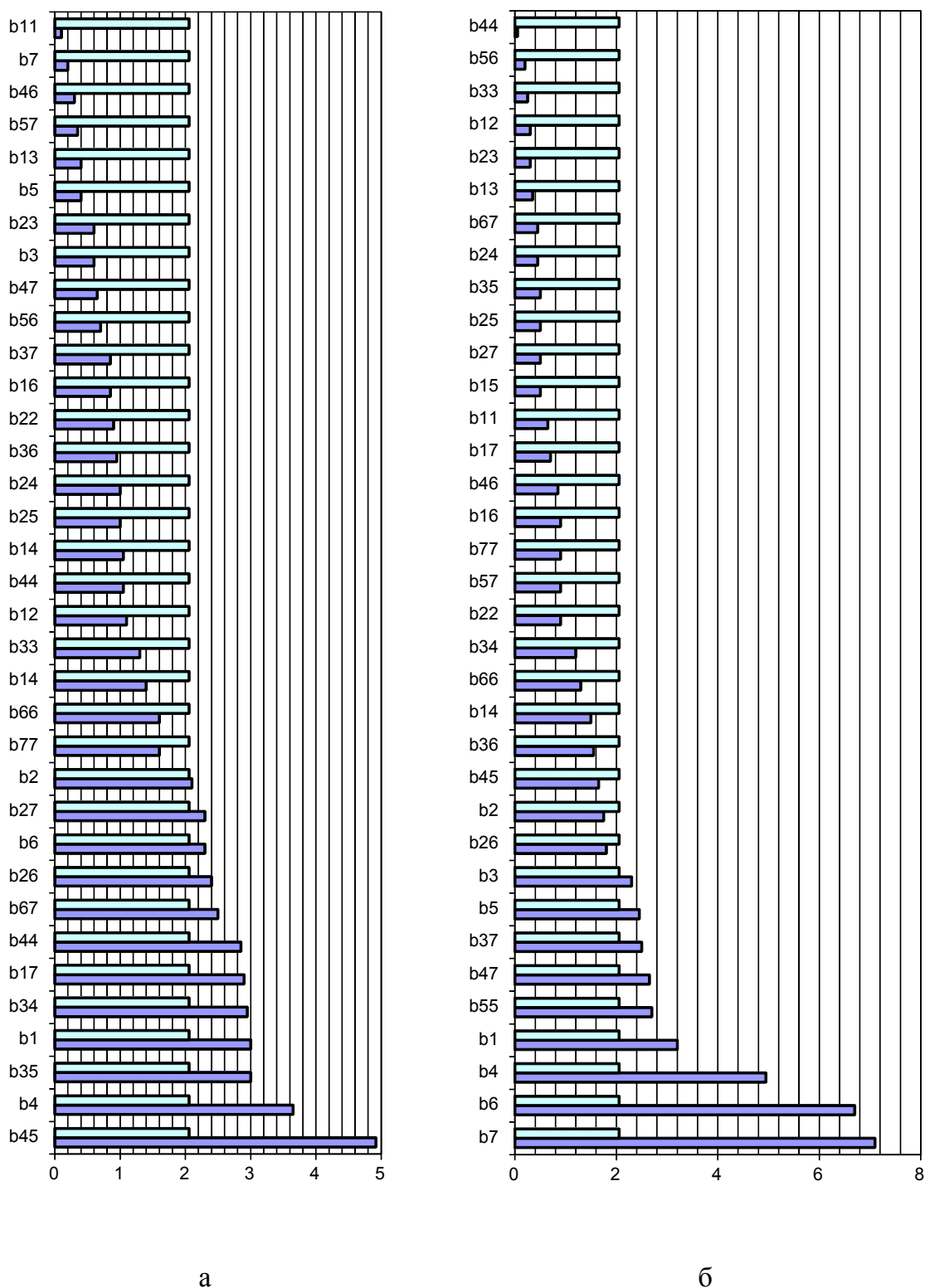
На основе анализа двумерных сечений определены оптимальные значения факторов, а с помощью программы MathCAD 2001 модель (3.3.2) исследована на условный экстремум при соблюдении ограничительных условий. Результат решения приведен в виде матрицы:

$$\begin{pmatrix} X1 \\ X2 \\ X3 \\ X4 \\ X5 \\ X6 \\ X7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ 0.181 \\ -1 \end{pmatrix}$$

Результаты, полученные при исследовании двумерных сечений, позволяют рекомендовать для исследуемого вибропневмосепаратора следующие оптимальные параметры и режимы работы: продольный угол наклона деки $\beta=6$ градусов, поперечный – $\gamma=3$ градуса; угол направленности колебаний $\varepsilon^*=33$ градусов, частота $n=500$ мин⁻¹, амплитуда $r=0,005$ м; скорость воздушного потока в зоне предварительного расслоения $v_p=1,4 - 1,5$ м/с и в зоне транспортирования - $v_m=0,86 - 1,0$ м/с.

3.3.3. Семяочистительная приставка и результаты её производственной проверки

На основании проведенных исследований предложена усовершенствованная технологическая схема фракционной очистки и сортирования семян, засоренных низконатурными примесями (рис.3.9) [6, 36]. Очистка семенного материала происходит следующим образом.



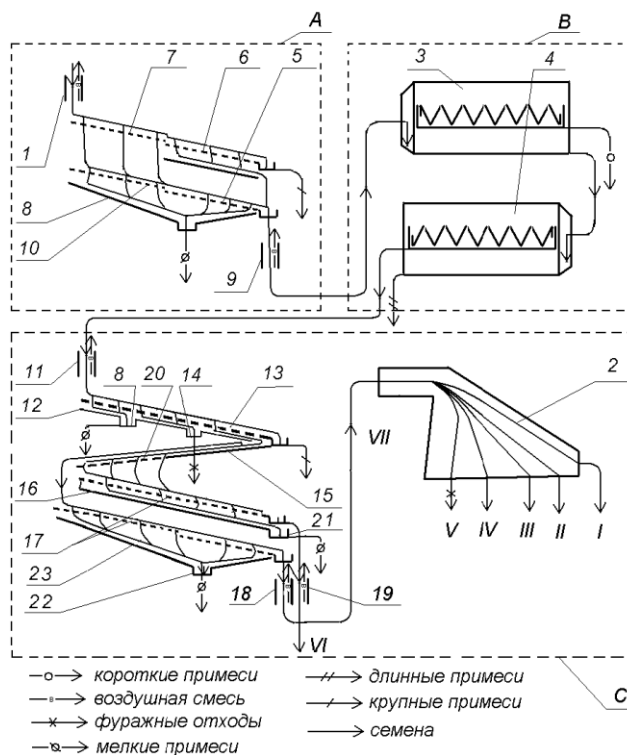
**Рис. 3.8. Значения t -критерия коэффициентов регрессий:
а – модели (3.3.2), б – модели (3.3.3).**

Зерновой материал, прошедший предварительную очистку, сушку, первичную очистку, разделение по длине подается в воздушно-решетную машину. Здесь зерновая смесь проходит через канал до решетной аспирации, где выделяются легкие примеси, и подается на решето 13. На поддон

12 выделяются мелкие сорные примеси и мелкие шуплые зерна основной культуры, которые выводятся за пределы машины по лоткам 8 и 14. Сходом с решета 13 выделяются крупные примеси.

Проходоная фракция конечного участка решета 13, движущаяся, в том числе и по конечной части поддона 12 направляется на неперфорированную поверхность 15 решета 20.

Под действием вибраций на неперфорированной поверхности 15 происходит расслоение зерновой смеси. Менее плотные компоненты, в том числе низконатурные примеси, например, членики редьки дикой, попадают в верхние слои, а более плотные семена опускаются вниз. На фракционном решете 20 происходит разделение зерновой смеси. Материал из нижних слоев проходит сквозь решето 20 и попадает на верхнее подсевное решето. Материал из верхних слоев направляется на нижние подсевные решета. На решетках 17 осуществляется сортирование зерновой смеси по крупности. Мелкие зерна попадают на поддоны 16 и 23 и выводятся за пределы машины по поперечным лоткам 21 и 22.



а

б

Рис. 3.9. Семеочистительная приставка (а), реализующая усовершенствованную фракционную схему очистки и сортирования семян (б):

А – машина первичной очистки; В – триерный блок; С – семяочистительная приставка;
 1, 9, 11, 18, 19 – аспирационные каналы; 2 – вибропневмосепаратор; 3 – кукольный триер;
 4 – овсюжный триер; 5, 10, 17 – подсевные решета; 6, 7 – разгрузочные решета;
 8, 21, 22 – лотки мелких примесей; 12 – поддон с выходной частью; 13 – верхнее решето;
 14 – лоток фуражного зерна; 15 – расслоительная поверхность; 16, 23 – поддоны;
 20 – фракционное решето; I, II, III, IV, V, VI, VII – конечные продукты.

Сходовая фракция с верхнего подсевного решета, после обработки воздушным потоком в канале аспирации 19, выводится из машины в качестве конечного продукта. Сходовая фракция с нижнего подсевного решета, после обработки воздушным потоком в канале 18, направляется для очистки от низконатурных примесей на вибропневмосепаратор 2, который доводит её до требуемой чистоты.

Для реализации предложенной технологической схемы очистки на кафедре сельскохозяйственных машин создана семеочистительная приставка производительностью 1 т/ч [4,6,36], состоящая из воздушно-решетной машины производительностью 1 т/ч и вибропневмосепаратора 0,5 т/ч.

Устройство ВПС [35] представлено на рисунке 3.10. Он состоит из деки, загрузочной воронки 1, зоны расслоения 2 и транспортирования 3, двигателя 4, соединенного одним концом вала с вентилятором 5, а другим с эксцентриковым валом 6 с помощью клиноременного вариатора 7, эластичных воздухопроводов 8 и 9 с заслонками 10 и 11, приемников фракций 12, 13, 14, 15, рукоятки 16 для регулирования частоты колебаний деки, маховичков 17, 18 для регулирования углов наклона деки, рычагов 19 для управления заслонками 10 и 11, находящихся в выходных окнах вентилятора.

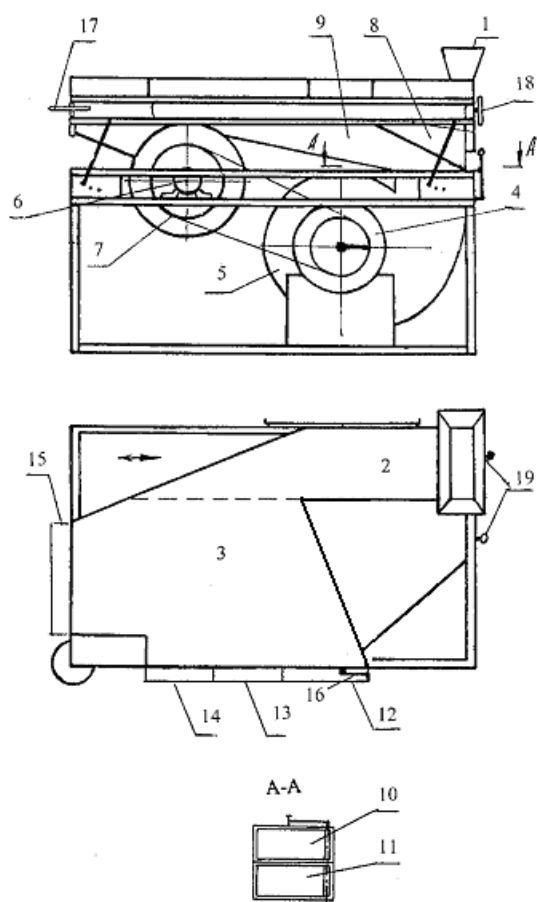
ВПС работает следующим образом. Зерновая смесь поступает в воронку 1, из которой подается в зону расслоения 2. Под действием колебаний деки и воздушного потока, подаваемого через воздухопровод 8 вентилятором 5 происходит расслоение зерновой смеси. Наиболее плотные частицы опускаются вниз и двигаясь вдоль зоны расслоения, попадают в приемники 14 и 15. Низконатурные примеси всплывают вверх и под действием составляющей силы тяжести стекают в приемник фракций 12. Промежуточная фракция направляется в приемник фракций 13.

Регулировку качества разделения производят изменением частоты колебаний деки рукояткой 16, которая управляет клиноременным вариатором, изменением продольного и поперечного углов наклона деки маховичками 17 и 18 и регулировкой заслонок 10 и 11 в выходных окнах вентилятора путем воздействия рычагов 19.

В ходе производственных опытов проведены ведомственные испытания вибропневмосепаратора и исследования семеочистительной приставки в составе поточной линии.

По результатам опытов рассчитаны основные показатели агротехнической оценки работы машины при различных подачах материала. В качестве основных критериев агротехнической оценки приняли чистоту полученных фракций, содержание поштучно- учитываемых семян сорняков и семян других культур, полноту выделения примесей. Опыты проводили на пяти различных подачах: 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60 т/ч.

Результаты агротехнической оценки работы машины при различных подачах материала, рассчитанные по результатам анализа взятых проб приведены в таблице 3.4 и на рисунке 3.11, а условия и результаты производственной проверки семеочистительной приставки при настроечном значении подачи 1000 кг/ч – в таблице 3.5 и рисунке 3.12.



а

б

Рис. 3.10. Вибропневмосепаратор:

а – схема; б – общий вид; 1 – загрузочная воронка; 2 – зона расслоения; 3 – зона транспортирования; 4 – двигатель; 5 – вентилятор; 6 – эксцентриковый вал; 7 – клиноременный вариатор; 8, 9 – воздухопроводы; 10, 11 – заслонки; 12, 13, 14, 15 – приемники фракций; 16 – рукоятка регулирования частоты колебаний деки; 17, 18 – маховички регулирования углов наклона деки; 19 – рычаг регулирования заслонками.

Средняя плотность проходовой фракции на решетке круглыми отверстиями воздушно-решетной машины составила $1,283 \text{ г/см}^3$, а сходовой – $1,272 \text{ г/см}^3$; объемная масса проходовой фракции – $775,75 \text{ г/дм}^3$, а сходовой – $770,24 \text{ г/дм}^3$.

Проверку существенности отличий этих показателей проводили по t-критерию Стьюдента. По результатам проверки установлено, что с довери-

тельной вероятностью 0,999 и 0,99 полученные фракции отличаются, соответственно, по плотности и натурной массе.

Таким образом, на решетке с круглыми отверстиями, диаметр которых больше ширины семян, но меньше длины, при подаче на него предварительно расслоенного материала, одним из признаков разделения является плотность.

Разработанная семеочистительная приставка позволило выделить 64,4% семян категории ЭС всхожестью 95% при всхожести исходного материала 93%. Среднее значение потерь семян в фуражные отходы не превысило 4,9%.

Таблица 3.4.

Сводная ведомость основных оценочных показателей работы машины при различных подачах материала

Опыт	Подача, т/ч	Плотность, г/см ³	Натурная масса, г/дм ³	Масса 1000 семян, г	Чистота семян		
					чистота, %	дробленые, %	щуплые и мелкие, %
1	2	3	4	5	7	8	9
1	0,40	1,290	727,16	36,84	99,79	0,04	0,11
2	0,45	1,270	714,90	37,19	99,66	0,03	0,11
3	0,50	1,270	714,90	37,53	99,84	0,02	0,16
4	0,55	1,250	712,37	37,35	99,74	0,20	0,10
5	0,60	1,240	701,29	36,69	99,40	0,19	0,24

Продолжение таблицы 3.4

Опыт	По анализу примеси					Полнота выделения, %	Эффективность очистки, %	Класс по ГОСТ
	всего, %	органические, %	минеральные, %	количество сорняков, шт./кг	количество семян других культур, шт./кг			
10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0,21	0,05	0,03	4	6	93,9	79,0	I
2	0,34	0,08	0,01	3	4	94,5	78,0	I
3	0,16	0,03	0,09	2	7	96,4	80,8	I
4	0,26	0,09	0,02	2	7	95,8	85,7	I
5	0,60	0,11	0,01	3	3	93,9	66,1	I

В результате испытаний получены уравнения зависимости показателей работы вибропневмосепаратора:

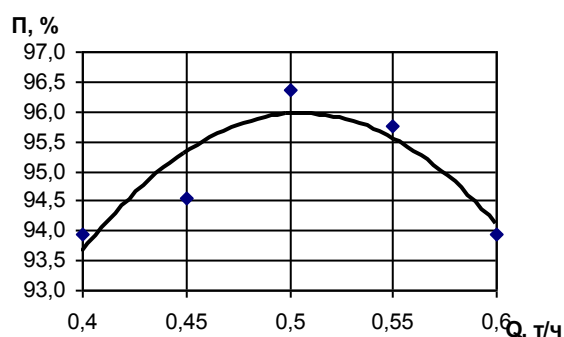
$$П = -207,79 \cdot Q^2 + 210,22 \cdot Q + 42,789, R^2=0,8095 \quad (3.3.4)$$

$$М = -72,571 \cdot Q^2 + 72,291 \cdot Q + 19,48, R^2=0,946 \quad (3.3.5)$$

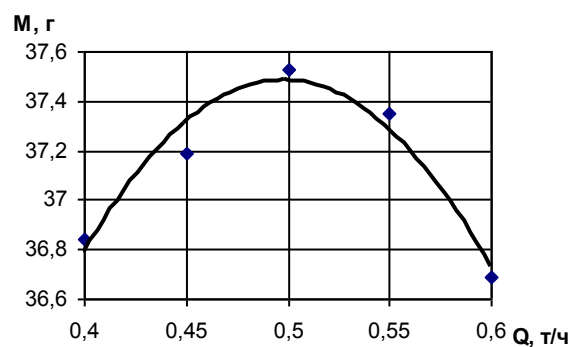
$$Н = -86,58 \cdot Q^2 + 210,22 \cdot Q + 42,789, R^2=0,869 \quad (3.3.6)$$

$$\rho = -0,24 \cdot Q + 1,384, R^2=0,9474 \quad (3.3.7)$$

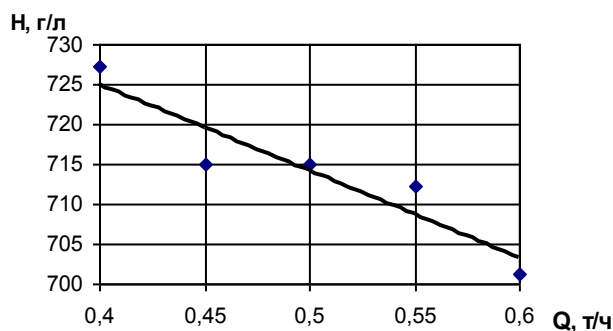
где П – полнота выделения примесей, %; М – масса 1000 зерен, г; Н – объемная масса семян, г/дм³; ρ – плотность семян, г/см³.



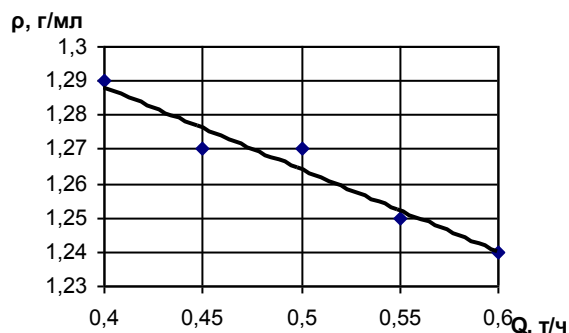
а



б



в



г

Рис. 3.11. Зависимости полноты выделения примесей (а), массы 1000 зерен (б), объемной массы (в) и плотности семян (г) полученных на вибропневмосепараторе от подачи материала при выходе 90%

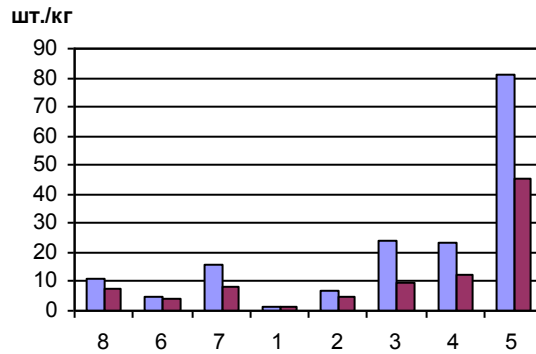
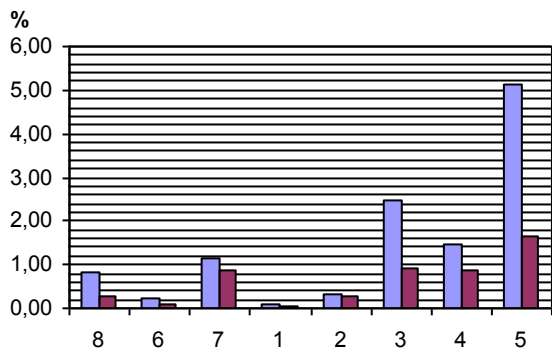
Из графических зависимостей следует, что для условий эксперимента, степень выделения примесей и масса 1000 зерен, в зависимости от подачи, носят экстремальный характер, а объемная масса и плотность семян снижаются с увеличением производительности.

Таблица 3.5

Условия и результаты производственной проверки семеочистительной приставки при настроечном значении подачи 1000 кг/ч

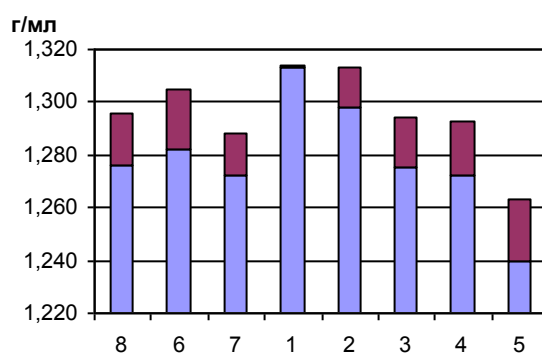
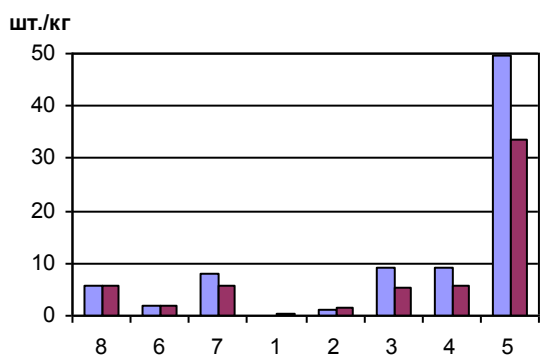
Показатели	Исходный материал	Фракция не обработанная на ВПС	Фракция, подаваемая на ВПС	Фракции, полученные на вибропневмосепараторе				
				I	II	III	IV	V
Место отбора проб (рис. 3.3)	8	6	7	1	2	3	4	5
Содержание примесей, %	$\frac{0,82^*}{0,26}$	$\frac{0,22}{0,07}$	$\frac{1,13}{0,86}$	$\frac{0,09}{0,06}$	$\frac{0,34}{0,26}$	$\frac{2,46}{0,93}$	$\frac{1,45}{0,88}$	$\frac{5,14}{1,66}$
Содержание семян других растений, шт./кг	$\frac{11}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{16}{8}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{7}{5}$	$\frac{24}{10}$	$\frac{24}{13}$	$\frac{81}{46}$
Содержание семян сорняков, шт./кг	$\frac{6}{6}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{8}{6}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{9}{6}$	$\frac{9}{6}$	$\frac{50}{34}$
Содержание дробленого зерна, %	$\frac{0,72}{0,23}$	$\frac{0,19}{0,07}$	$\frac{0,88}{0,52}$	$\frac{0,02}{0,01}$	$\frac{0,30}{0,24}$	$\frac{1,83}{0,79}$	$\frac{1,20}{0,65}$	$\frac{4,29}{1,49}$
Содержание семян зараженных болезнями, шт./кг	$\frac{8}{15}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{8}{10}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{8}{11}$	$\frac{13}{28}$	$\frac{100}{118}$
Плотность, г/см ³	$\frac{1,276}{0,020}$	$\frac{1,282}{0,023}$	$\frac{1,272}{0,016}$	$\frac{1,313}{0,000}$	$\frac{1,298}{0,015}$	$\frac{1,276}{0,019}$	$\frac{1,272}{0,021}$	$\frac{1,240}{0,023}$
Масса 1000 зерен, г	$\frac{36,10}{1,16}$	$\frac{35,12}{1,59}$	$\frac{39,70}{1,25}$	$\frac{39,99}{1,79}$	$\frac{39,01}{1,77}$	$\frac{38,37}{1,06}$	$\frac{39,25}{1,17}$	$\frac{38,22}{1,14}$
Объемная масса, г/дм ³	$\frac{772,90}{14,00}$	$\frac{775,70}{14,04}$	$\frac{770,24}{13,05}$	$\frac{782,30}{12,34}$	$\frac{776,10}{13,09}$	$\frac{765,30}{13,50}$	$\frac{755,10}{14,10}$	$\frac{730,30}{18,90}$
Всхожесть, %	93	95	91	95	91	91	90	88
Доля фракций, %	100,0	42,6	57,4	21,8	12,8	10,3	7,1	5,2
Класс семян	II	I	II	I	II	II	II	III
Вероятность сохранения поля допуска на засоренность семенами P, дол. Ед.:								
- сорных растений	0,964	0,866	0,954	1	0,954	0,932	0,932	0,858
- других растений	0,999	0,788	0,997	1	0,451	0,890	0,781	0,318

* - в числителе указано среднее значение, в знаменателе – среднеквадратическое отклонение.



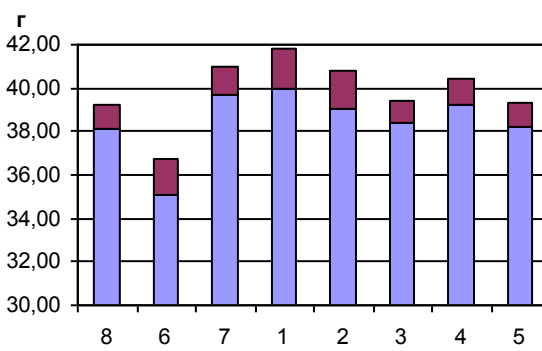
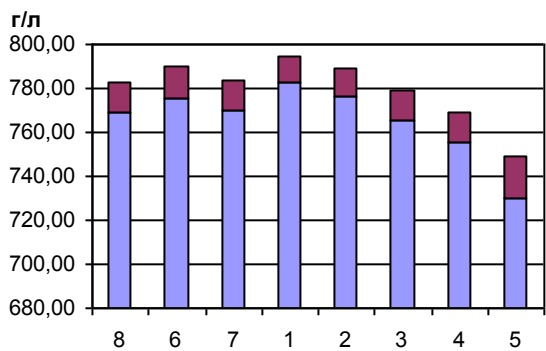
а

б



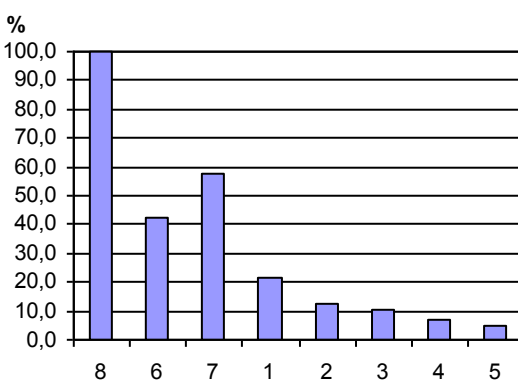
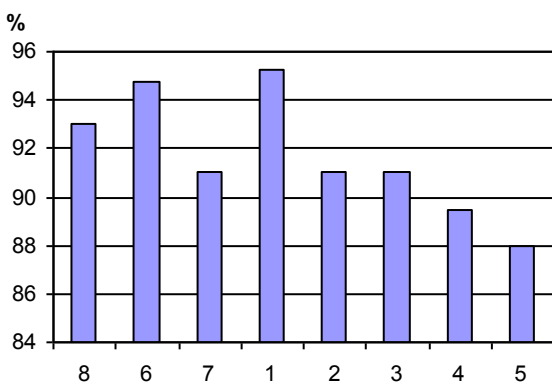
в

г



д

е



ж

з

Рис. 3.12. Показатели качества фракций (по номеру места отбора проб):
 а – содержание примесей; б – содержание семян других растений; в – содержание семян сорных растений; г – плотность семян; д – натурная масса семян; е – масса 1000 семян;
 ж – всхожесть семян; з – выход фракций.

3.3.4. Эффективность работы семяочистительных приставок, осуществляющих прямоточную и фракционную технологии очистки

Эффективность работы семеочистительных приставок, реализующих фракционную и прямоточную технологии очистки, представлена в виде диаграммы снижения потерь семян, в зависимости от засоренности очищаемого зернового материала (рис. 3.13).

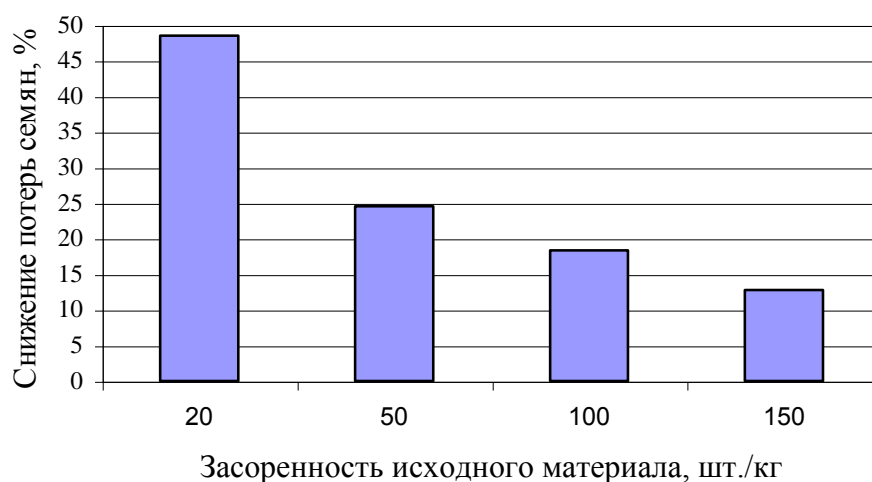


Рис. 3.13. Снижение потерь полноценных семян при использовании фракционной технологии по сравнению с прямоточной

При засоренности исходного материала низконатурными примесями до 20 шт./кг на машине вторичной очистки, в первом случае, можно получить 40-48 % семян, соответствующих требованиям к семенам категории ЭС по содержанию поштучно-учитываемых примесей без обработки на вибропневмосепараторе. Из диаграммы следует, что потери полноценных семян в фуражные отходы снижаются на 48,5 %. При засоренности исходного материала низконатурными примесями в количестве от 50 до 150 шт./кг использование фракционной технологии позволяет снизить потери семян в отходы по сравнению с прямоточной технологией от 12,8 % до 24,5 %.

Глава 4. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОПНЕВМОСЕПАРАТОРА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 1,0 т/ч

4.1. Устройство и процесс работы вибропневмосепаратора и экспериментальной семяочистительной линии

Вибропневмосепаратор состоит из рамы 1 (рис. 4.1) [10,11,12,24,38,51] подвижной рамки 15, деки 7 с приемниками 17 фракций, пневмосистемы с вентилятором, вибропривода. Подвижная рамка 15 шарнирно подвешена к раме 1 с помощью металлических подвесок 5. Дека 7 крепится к подвижной рамке в трех точках. Угол наклона деки изменяется с помощью механизма 16. Механизм регулировки угла наклона 16 представляет собой пластины с прямоугольным вырезом В вырез пластины входит резьбовой стержень, приваренный рамке. Пластину к колеблющейся рамке прижимает маховик с внутренней резьбой. Положение деки фиксируется за счет силы трения между пластиной и рамкой.

Пневмосистема установки выполнена в виде кожуха 2 закрывающего деку. Кожух соединен с декой гибким фартуком 6, предотвращающим подсос воздуха.

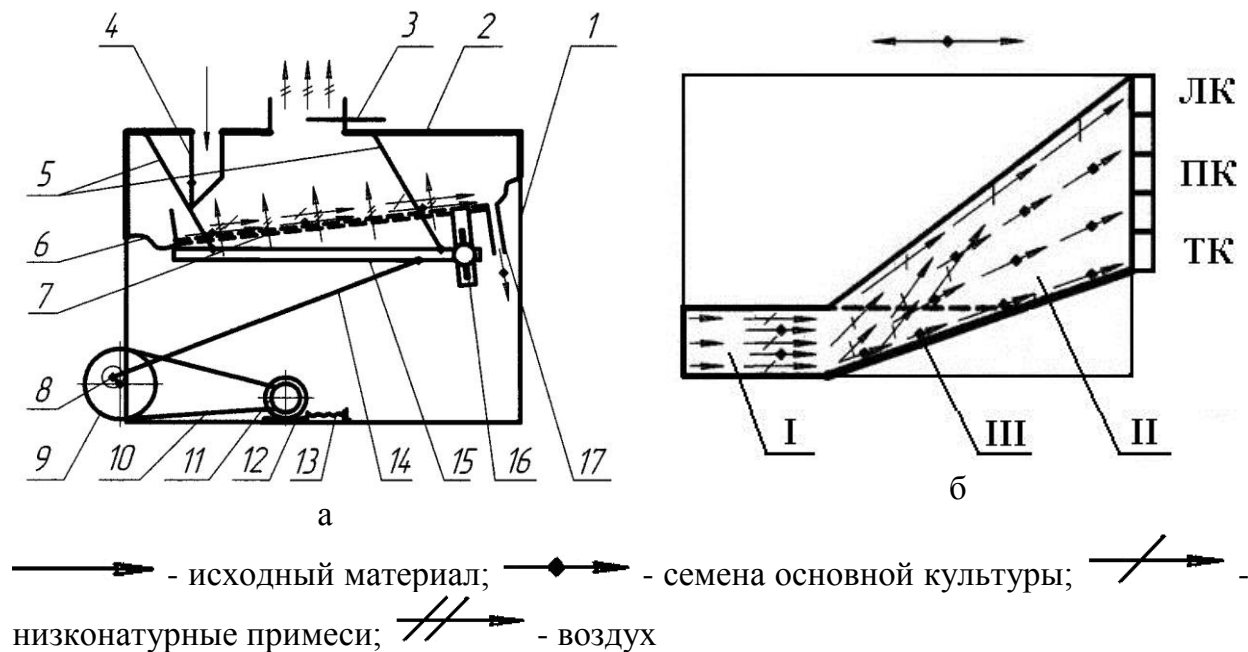


Рис. 4.1. Схема вибропневмосепаратора: а) – устройство: 1 – рама; 2 – кожух; 3 – заслонка; 4 – питатель; 5 – подвеска; 6 – воздухонепроницаемый фартук; 7 – дека; 8 – эксцентрик; 9 – шкив; 10 – ремень; 11 – вариатор; 12 – электродвигатель; 13 – механизм регулирования частоты колебаний деки; 14 – шатун; 15 – рамка; 16 – механизм регулирования продольного угла наклона деки; 17 – приемники фракций; б) – технологическая схема деки, вид сверху: I – зона предварительного расслоения; II – зона транспортирования; III – стенка, установленная под углом к направлению колебаний; ЛК – легкие компоненты; ПК – промежуточные компоненты; ТК – тяжелые компоненты

Продольный угол наклона деки регулируется в пределах от 0° до 8° . Дека имеет воздухо-выравнивающее устройство, на котором установлена рабочая поверхность (просечно-вытяжное решето с круглыми отверстиями и жалюзийными выступами, направленными параллельно колебаниям деки). Короткая стенка имеет возможность установки в 3-х фиксированных положениях относительно направления колебаний деки (20° , 25° ; 30°). Воздухо-выравнивающее устройство представляет собой отверстия разного диаметра в фанерном листе и стержни треугольного сечения, которые разделяют воздушные потоки различной скорости. Площадь рабочей поверхности деки составляет $0,248 \text{ м}^2$; $0,228 \text{ м}^2$; $0,208 \text{ м}^2$ в зависимости от угла установки короткой стенки и разделена на две зоны: предварительного расслоения ($0,048 \text{ м}^2$) и отдельного транспортирования ($0,20 \text{ м}^2$; $0,18 \text{ м}^2$; $0,16 \text{ м}^2$). Воздушный поток создается вентилятором. Скорость воздушного потока регулируется с помощью заслонки 3.

Дека совершает прямолинейные колебания за счет эксцентрикового механизма, который соединен с помощью двух шатунов с рамкой. Механизм вибропривода представляет собой вал с эксцентриками, которые через шариковые подшипники соединены с нижними головками шатунов. Вал получает вращение через клиноременную передачу от асинхронного электродвигателя переменного тока. Электродвигатель имеет возможность передвигаться по направляющим с помощью винтового механизма. Частота вращения вала электродвигателя 1500 мин^{-1} . Частота колебаний деки регулируется в пределах от 400 до 700 мин^{-1} при помощи клиноременного вариатора.

Для загрузки вибропневмосепаратора использован бункер емкостью около 80 дм^3 , установленный на отдельной раме. Подача материала регулируется путем изменения размера выходного отверстия на днище бункера.

Технологический процесс разделения зерновой смеси происходит следующим образом.

Зерновая смесь из бункера поступает на поверхность зоны предварительного расслоения деки равномерным слоем, где она подвергается вибрации и продувается восходящим воздушным потоком.

После расслоения, исходный материал поступает на участок со стенкой, установленной под углом к направлению колебаний. В результате взаимодействия материала со стенкой, происходит его сгуживание у правого борта. Дальнейшее движение слоя происходит вдоль стенки, так как направления колебаний и стенки деки не совпадают. В поперечном сечении слоя возникает наклон. Низконатурные примеси оказавшиеся, после расслоения, сверху слоя под действием силы тяжести скатываются к противоположному борту и двигаются вдоль него. Таким образом, происходит распределение материала и примесей по ширине деки.

Производственные исследования усовершенствованного вибропневмосепаратора проведены в линии, реализующей фракционную технологию очистки и сортирования семян, засоренных низконатурными примесями (рис.4.2) [9,37,39,40,44]. По этой технологии очистка семенного материала происходит следующим образом.

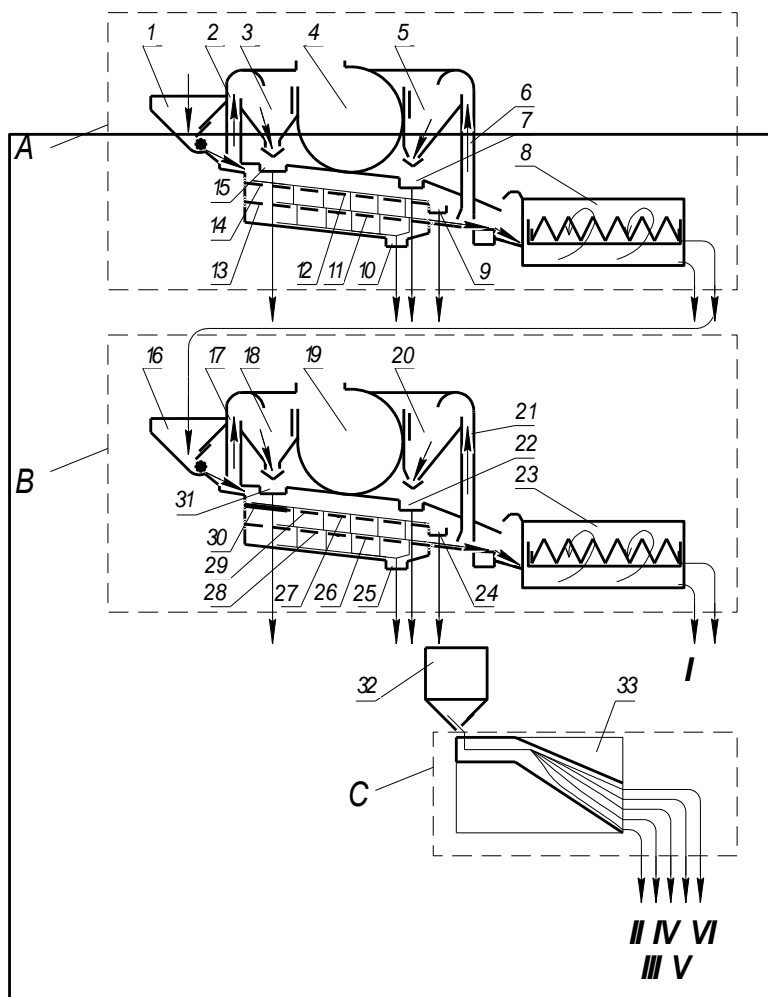


Рис. 4.2. Схема усовершенствованной технологии очистки и сортирования семян с использованием вибропневмосепаратора: А – комбинированная воздушно-решетно-триерная машина первичной очистки; В – комбинированная воздушно-решетно-триерная машина вторичной очистки с фракционированием; С – вибропневмосепаратор; 1, 16, 32 – бункеры; 2, 6, 17, 21 – аспирационные каналы; 3, 5, 18, 20 – осадочные камеры; 4, 19 – вентиляторы; 7, 15, 22, 31 – лотки вывода легких примесей; 8 – оvsюжный триер; 9 – лоток вывода крупных примесей; 10, 25 – лотки вывода мелких примесей; 11, 13, 26, 27, 28 – подсевные решета; 12, 14 – разгрузочные решета; 23 – кукольный триер; 24 – лоток вывода фракции для очистки на ВПС; 29 – фракционное решето; 30 – расслаивающая поверхность; 33 – дека вибропневмосепаратора; I, II, III, IV, V, VI – конечные продукты

Зерновой материал, прошедший предварительную очистку, сушку, первичную очистку, выделение длинных примесей подается в воздушно-решетно-триерную машину вторичной очистки с фракционированием. Зер-

новая смесь из бункера 16 проходит через канал дорешетной аспирации 17, где выделяются легкие примеси, и подается на расслаивающую поверхность 30 фракционного решета 29. Под действием вибраций на неперфорированной поверхности 30 происходит расслоение зерновой смеси. Менее плотные компоненты, в том числе низконатурные примеси, например, членики редьки дикой, попадают в верхние слои, а более плотные семена опускаются вниз. На фракционном решете 29 происходит разделение зерновой смеси. Материал из нижних слоев проходит сквозь решето 29 и попадает на нижние подсевные решета 26 и 28.

Сходовая фракция с верхнего подсевного решета 27 выводится по лотку 22 и направляется для очистки от низконатурных примесей на вибропневмосепаратор С, который доводит её до требуемой чистоты.

Сходовая фракция с нижних подсевных решет, после обработки воздушным потоком в канале аспирации 21, выводится из машины в качестве конечного продукта.

Изготовленный опытный образец вибропневмосепаратора был установлен в линию пункта послеуборочной обработки семян ФГУП Учебно-опытное хозяйство «Липовая Гора» Пермской ГСХА после машины К-531А, настроенной для работы по фракционной технологии (рис.4.3).

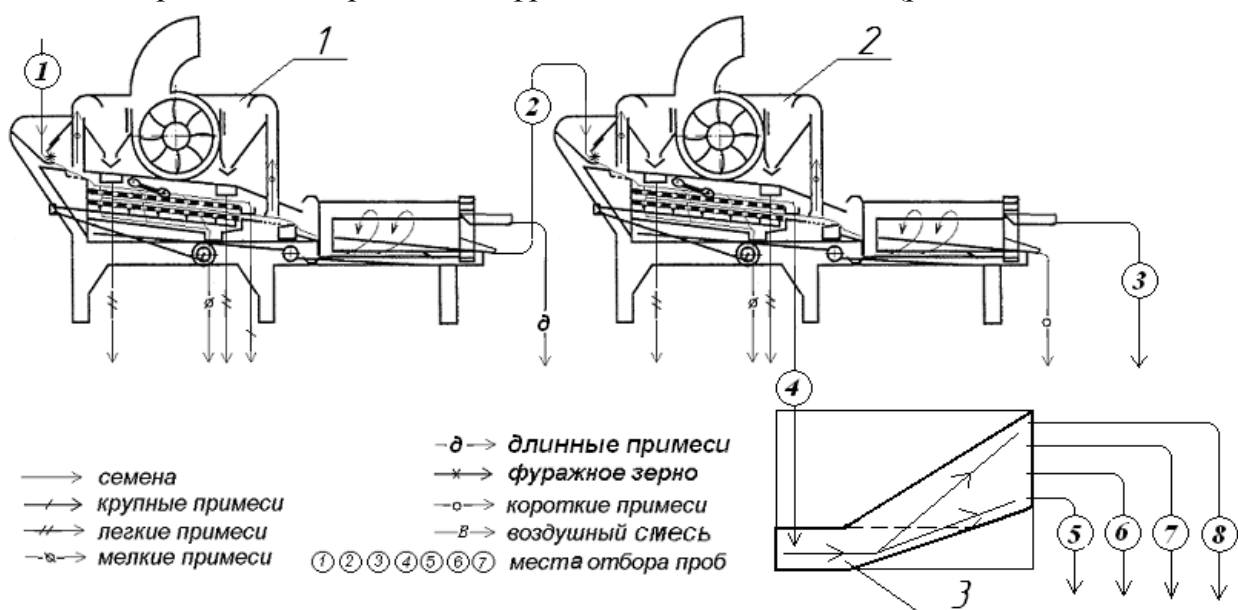


Рис. 4.3. Схема экспериментальной поточной линии ФГУП УОХ «Липовая гора»: 1 – машина первичной очистки К-531А;
2 – машина вторичной очистки с фракционированием К-531А;
3 – вибропневмосепаратор

Технологический процесс очистки семян на экспериментальной линии происходит следующим образом. Зерновая смесь из бункера БВ-25 подается в машину К-531А – фракция 1. Семена прошедшие первичную

очистку – фракция 2, подаются в бункер – дозатор машины К-531А, работающей по фракционной технологии, на которой выделяется фракция 3 семян с допустимым содержанием примесей. Сходовая фракция 4 с фракционного решета воздушно-решетной машины поступает на вибропневмосепаратор, где разделяется на 4 фракции – 5 – 8. Все фракции собирались в мешки.

4.2. Методика лабораторных исследований

4.2.1 Проверка работоспособности вибропневмосепаратора

Целью экспериментов явилась проверка работоспособности вибропневмосепаратора, оборудованного декой с поперечным углом наклона равным нулю и стенкой, установленной под углом к направлению колебаний.

Для проверки работоспособности предлагаемой схемы были проведены однофакторные эксперименты.

Материалом при проведении опытов служила искусственная зерновая смесь, состоящая из семян основной культуры – пшеница сорта «Иргина» кондиционной влажности и средним значением объемной массы – 670 г/дм³ и низконатурной примеси – членики редьки дикой со средними значениями объемной массы – 390 г/дм³ и средним значением засоренности – 200 шт/кг.

В качестве факторов при проведении экспериментов приняли: продольный угол наклона деки β (6°; 7°; 8°) и настроечное значение подачи материала Q (500; 600; 650; 750 кг/ч), что обеспечило удельные зерновые нагрузки: 0,798; 0,958; 1,038; 1,197 кг/с·м². Остальные регулируемые факторы не изменяли и фиксировали на следующих уровнях:

- амплитуда колебаний, м	0,010;
- угол установки стенки, град	25;
- частота колебаний деки, мин ⁻¹	480;
- угол направленности колебаний, град	27.

Оценками разделения приняли полноту выделения члеников редьки дикой, выход семян категории ЭС, содержание семян, доочистка которых возможна при повторной обработке на вибропневмосепараторе и потери полноценных семян в отходы. Комплексную оценку качества процесса проводили, определяя полноту выделения члеников редьки дикой при 10% потерях семян основной культуры.

Разгрузочная кромка деки была разделена на участки, с которых в течение 1 мин отбирали зерновой материал и взвешивали. Затем определяли массовую долю и проводили анализ семян на содержание сорняков в каждой пробе. При этом семена, собранные с участков и соответствующие требованиям ГОСТ по чистоте, объединяли. Участки, с которых собранные

семена, имели засоренность выше допустимой по ГОСТ, но меньшей чем в исходном материале, собирали для повторной очистки. Фракции семян, собранные с участков, засоренность которых превышает исходную, объединяли в отходы.

Опыты проводили в трехкратной повторности.

4.2.2.Методика определения рациональных параметров и режимов вибропневмосепаратора при повышенной засоренности семенного материала

Предварительными опытами было установлено, что факторами, определяющими количественные и качественные показатели процесса разделения на вибропневмосепараторе, являются: угол продольного наклона деки, угол установки стенки, угол направленности колебаний, частота и амплитуда колебаний рабочего органа. На основании этих данных для дальнейших исследований были определены диапазоны варьирования значений факторов.

Целью экспериментов было определение рациональных регулируемых параметров работы вибропневмосепаратора.

Для установления степени влияния факторов на оценочные показатели и определения их рациональных значений был проведен трехфакторный трехуровневый эксперимент по плану Бокса-Бенкена[30]. План опытов и их результаты представлены в приложении Д. Эксперимент активно-пассивный, потому что скорости воздушного потока в двух зонах деки не фиксировались на определенных уровнях, а только меняли положение заслонки вентилятора. Значения скоростей воздуха устанавливали в соответствии с теоретически определенными и измеряли анемометром.

В качестве факторов приняты: угол установки короткой стенки, частота колебаний деки и продольный угол наклона деки.

Остальные регулируемые параметры в ходе опытов оставались неизменными и были установлены на следующих уровнях:

- поперечный угол наклона деки 0 градусов;
- амплитуда колебаний деки $A=0,0075$ м;
- угол направленности колебаний $\varepsilon=30$ градусов;
- настроечное значение подачи материала $Q=550$ кг/ч.

Задача выбора рационального режима работы вибропневмосепаратора при очистке семян от низконатурных примесей решена с использованием методики, разработанной в ВИМе д.с.-х.н. Н.Н. Ульрихом и к.т.н. Ю.А. Космовским [26,27,48]. В качестве оценочного показателя приняли полноту выделения примесей при потерях семян в отходы 10%. Результаты эксперимента обрабатывали по изложенной выше методике.

План эксперимента и результаты исследования представлены в таблице 4.3.

Расчёт оценок коэффициентов регрессии математических моделей, оценка их значимости, проверка адекватности полученных моделей и построение двумерных сечений поверхностей откликов проведено с помощью компьютерной программы STATGRAPHICS Plus 3.0 для Windows. Оценки коэффициентов регрессии считали значимыми с 95% доверительной вероятностью, если величина P-Value, приведённая в таблице дисперсионного анализа не превышает 0,05.

Анализ уравнений проведен путем исследования двумерных сечений поверхностей отклика, а рациональные значения факторов определены с использованием математического пакета MathCAD [29,47].

4.2.3. Методика определения рациональных параметров и режимов работы вибропневмосепаратора при повышенной удельной нагрузке

Целью эксперимента являлось определение рациональных значений регулируемых параметров работы вибропневмосепаратора при увеличении удельной нагрузки. Проверка возможности использования разработанного вибропневмосепаратора с производительностью 1000 кг/ч.

Проведенными исследованиями установлено, что при увеличении амплитуды колебаний деки производительность вибропневмосепаратора возрастает. Проведены эксперименты при увеличенной амплитуде колебаний деки до $A=0,015$ м и настроенном значении подачи зернового материала $Q=1000$ кг/ч. Значение амплитуды 0,015 м выбрано как наиболее распространенное для работы решетных станков воздушно-решетных машин, и позволит создавать комбинированные агрегаты для очистки семян.

Для определения рациональных значений режимов работы был проведен трехфакторный трехуровневый эксперимент по плану Бокса-Бенкина [30]. План опытов и их результаты представлен в приложении Е. Эксперимент активно-пассивный, потому что скорости воздушного потока в двух зонах деки не фиксировались на определенных уровнях, а только меняли положение заслонки вентилятора. Значения скоростей воздуха измеряли анемометром.

В качестве факторов приняты: угол установки короткой стенки, частота колебаний деки и продольный угол наклона деки.

Остальные регулируемые параметры в ходе опытов оставались неизменными и были установлены на следующих уровнях:

- поперечный угол наклона деки 0 градусов;
- амплитуда колебаний деки 0,015 м;
- угол направленности колебаний 30 градусов;

- подача материала 1000 кг/ч.

Выбор рационального режима работы вибропневмосепаратора проведен по описанной выше методике, разработанной в ВИМе. В качестве оценочных показателей приняли полноту выделения низконатурных примесей, выход семян, потери семян в отходы. В качестве комплексного показателя приняли полноту выделения низконатурных примесей при потерях семян в отходы 10%.

4.3 Методика производственных исследований

Исследования проведены на семенах пшеницы сорта «Московская 39» кондиционной влажности. Места отбора проб отмечены на рисунке 4.3. Отбор проб массой около 1 кг при настроенной подаче 2500 кг/ч проводили в течение 8 часов работы линии с интервалом 10 мин. Для агротехнической оценки в пробах определены:

- чистота по ГОСТ 12037-81;
- объемная масса по ГОСТ 10840-64;
- масса 1000 семян по ГОСТ 12042-80;

Кроме указанных показателей для каждой конечной фракции определены средние значения массовой доли по ОСТ 70.10.2-83 и категория семян по ГОСТ Р 52325-2005.

Процесс соответствует заданному допуску, если допуск на отклонение процесса укладывается в доверительный интервал математического ожидания [2]:

$$P(a < x < b) = \Phi\left(\frac{a - \bar{x}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{b - \bar{x}}{\sigma}\right) \quad (4.1)$$

где P – вероятность сохранения поля допуска; Φ – функция Лапласа; σ – дисперсия измеренных значений; \bar{x} – среднее арифметическое значение; a – нижнее значение интервала, $a=0$ шт/кг; b – верхнее значение интервала, $b=5$ шт/кг.

Погрешность математического ожидания:

$$\bar{x} = m \pm \Delta m \quad (4.2)$$

где m – математическое ожидание; Δm – ошибка оценки математического ожидания

$$\Delta m = t(\alpha) \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4.3)$$

$t(\alpha)$ – табличное значение t – критерия Стьюдента, которое зависит от уровня вероятности α и числа измерений n .

С учетом погрешности математического ожидания получим:

$$P(a < x < b) = \Phi\left(\frac{a - m \pm \Delta m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{b - m \pm \Delta m}{\sigma}\right) \quad (4.4)$$

Проверка существенности отличий оценок математических ожиданий проведена с помощью t - критерия Стьюдента [25].

Для этого определялась величина:

$$t = \frac{|m_{x1} - m_{x2}|}{\tilde{\sigma} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad (4.5)$$

где $\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_{x1}^2 + (n_2 - 1)\sigma_{x2}^2}{n_1 + n_2 - 2}}$ - несмещенная оценка среднеквадратиче-

ского отклонения; $m_{x1}, m_{x2}, \sigma_{x1}, \sigma_{x2}$ - соответственно оценки числовых характеристик первого и второго распределений; n_1 и n_2 - количество измерений при определении оценок параметров распределения.

Затем по таблице t_β критерия Стьюдента находится критическое значение $t_{крит}$ по числу степеней свободы $R = n_1 + n_2 - 2$ и принятой доверительной вероятности β . Если $t < t_{крит}$, разница между m_{x1} и m_{x2} несущественна.

При обработке опытных данных проверка гипотезы о принадлежности к выборке сомнительных значений проведена с помощью критерия Грэмса–Смирнова [25]. Для этого по результатам опытов, в том числе и по тем из них, которые подозреваются как ошибочные, определены m_x, σ_x – среднеарифметическое значение и смещенная оценка среднеквадратичного отклонения:

$$m_x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad \sigma_x^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}{n}}. \quad (4.6)$$

Затем подсчитывается величина:

$$V = \frac{x_{\max} - m_x}{\sigma_x^*} \quad \text{или} \quad V = \frac{m_x - x_{\min}}{\sigma_x^*} \quad (4.7)$$

и в зависимости от того, какое из экстремальных значений (x_{\max} или x_{\min}) проверяется. После этого по таблице V – критерия [25] в зависимости от принятой величины β и числа измерения n находится максимально возможные значение V_{\max} , при которых результаты измерений x_{\max} и x_{\min} можно считать следствием статистического разброса величины x . Если $V \leq V_{\max}$, то подозреваемое значение сохраняется, а если $V > V_{\max}$, то оно исключается из анализа как ошибочное.

Испытание разработанного вибропневмосепаратора, при разных подачах, проведено по методике ОСТ 70.10.2 –83.

4.4. Результаты экспериментальных исследований

4.4.1 Фрикционные свойства рабочих поверхностей деки и стенки вибропневмосепаратора

В качестве рабочих поверхностей вибропневмосепаратора используется просечно-вытяжное решето с круглыми отверстиями и жалюзийными выступами и стенка деки.

Результаты исследования зависимости коэффициента внешнего трения от направления выступов поверхности для очищаемой зерновой смеси, представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Значения углов внешнего трения и коэффициента трения

Направление выступов		Угол внешнего трения, град.					среднее значение	Среднее значение коэффициента трения
		повторность опыта						
град.	Рад.	1	2	3	4	5		
0	0,00	38,00	36,33	37,80	36,66	35,50	36,86	0,75
15	0,26	37,00	37,00	35,00	36,00	37,00	36,40	0,74
30	0,52	34,00	35,80	33,66	35,50	35,50	34,89	0,70
45	0,79	34,00	37,00	35,33	36,33	36,40	35,81	0,72
60	1,05	36,00	35,33	36,66	35,00	35,83	35,76	0,72
75	1,31	34,00	34,00	34,00	33,53	35,00	34,11	0,68
90	1,57	33,16	35,33	33,50	34,00	34,05	34,01	0,67
105	1,83	37,50	38,66	37,80	38,00	37,00	37,79	0,78
120	2,09	39,00	39,00	40,16	39,16	39,66	39,40	0,82
135	2,36	42,80	42,00	43,86	43,00	41,33	42,60	0,92
150	2,62	44,50	43,33	43,86	42,55	45,50	43,95	0,96
165	2,88	47,33	47,00	48,96	47,16	48,00	47,69	1,10
180	3,14	49,00	49,00	47,66	48,33	47,00	48,20	1,12
Углы и коэффициент трения зернового материала о стеку деки								
Значения углов и коэффициента трения		21,000	24,333	23,767	28,333	23,167	24,12	0,45

Опытные данные позволили получить уравнение для расчета коэффициента трения в зависимости от направления выступов рабочей поверхности:

$$f_{xy} = 0,0923 \cdot \sigma^2 - 0,1644 \cdot \sigma + 0,7632, \quad (4.8)$$

где f_{xy} – коэффициент трения; σ – направление выступов, рад.

Достоверность аппроксимации средних значений экспериментальных данных коэффициента трения с полученным выражением (4.1) составляет $R^2=0,9629$.

Из таблицы следует, что коэффициент трения зерновой смеси по поверхности просечно-вытяжного решета с круглыми отверстиями и жалю-

зийными выступами зависит от направления движения материала. При направлении выступов от 0 до 90 градусов значение коэффициента трения уменьшается, из-за меньшего сопротивления выступов, так как угол подъема, который необходимо преодолеть частицам снижается, а семена проходят между выступами. При направлении выступов от 90 до 180 градусов (при движении назад, если рассматривать процесс движения материала), значение коэффициента трения возрастает.

Полученные данные подтверждают предположение о различии коэффициентов трения зерна по поверхности в зависимости от направления его движения. Выражение (4.8) позволяет с достаточно высокой достоверностью рассчитывать промежуточные значения угла трения при исследовании движения материала по поверхности деки.

Значение угла трения материала о поверхность стенки позволит выбрать область значений угла установки стенки деки.

4.4.2. Оценка работоспособности вибропневмосепаратора

Целью исследования – оценка работоспособности вибропневмосепаратора оборудованного усовершенствованной декой.

Задачу решали проведением однофакторных опытов. План опыта и результаты представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2.

Матрица плана, уровни варьирования и результаты эксперимент (A=0,010м)

№ опыта	Значения факторов		Среднее значение полноты выделения, %	Среднее значение выхода семян, %	Среднее значение доли семян на рециркуляцию, %	Среднее значение потерь семян, %	Среднее значение полноты выделения примесей при 10% потерях, %
	Продольный угол, град	Настроечное значение подачи, кг/ч					
1	8	750	100	74,16	0	25,84	32
2		650	100	91,385	0	8,6154	100
3		600	99,5	94,9	0	5,1	99,5
4		500	99	93,6	0	6,4	99,5
5	7	750	100	76,08	0	23,92	35,5
6		650	100	97,938	0	2,0615	100
7		600	99,5	94,4	0	5,6	99,5
8		500	100	75,84	0	24,16	58,5
9	6	750	100	92,56	0	7,44	100
10		650	100	96,831	0	3,1692	100
11		600	96,5	70,8	21,8	7,4	97
12		500	100	72,12	0	27,88	63,5

По полученным данным построены графики (рис. 4.4-4.5) зависимостей показателей качества очистки от настроечного значения подачи при различных продольных углах наклона деки.

Из рисунка 4.4 следует, что во всем диапазоне значений исследуемых факторов полнота выделения составляет более 99%. Поскольку данный показатель не отображает всей информации необходимо рассматривать его совместно со значениями потерь полноценных семян в отходы.

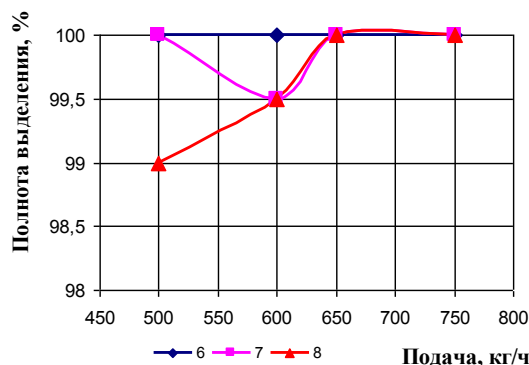


Рис. 4.4. Зависимость полноты выделения члеников редьки дикой от величины подачи материала

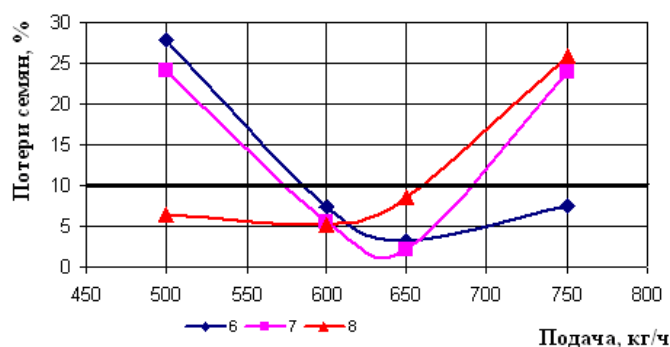


Рис. 4.5. Зависимость потерь семян в отходы от подачи материала

Из рисунка 4.5 следует, что потери семян превышают допустимое значение (10%) при больших значениях подачи и продольного угла установки деки и при малых значениях подачи и угла деки. Такой характер зависимости можно объяснить изменением толщины слоя обрабатываемого материала на поверхности деки. При увеличении продольного угла деки или подачи толщина слоя увеличивается, а качество очистки снижается.

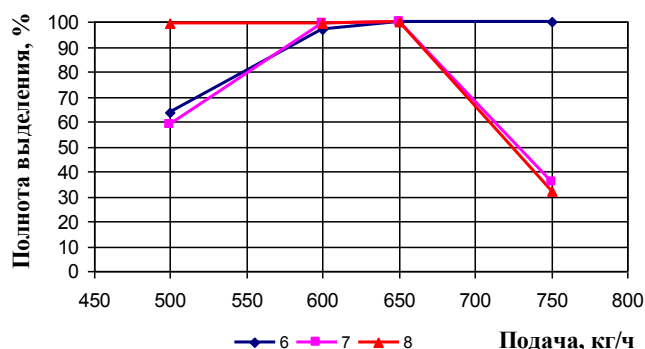


Рис. 4.6. Зависимость полноты выделения члеников редьки дикой от величины подачи материала, при 10% потерях семян

Из рисунка 4.6 следует, что полнота выделения низконатурных примесей более 95%, при потерях семян 10%, обеспечивается при подачах 600 и 650 кг/ч для всех исследуемых значений угла наклона деки. При подаче 500 кг/ч и значениях угла наклона деки $\beta=6$ и 7° полнота выделения составляет менее 70%. При подаче 750 кг/ч и значениях продольного угла наклона деки $\beta=7$ и 8° полнота выделения члеников редьки дикой не превышает 40%. Подобные изменения подтверждают предположение, что эффективность разделения компонентов зависит от толщины слоя материала на деке. При малой подаче и угле β толщина слоя зерна недостаточна и качество разделения невысокое. При средних значениях факторов в исследуемом диапазоне полнота выделения достигает 95% и более. С дальнейшим увеличением подачи или угла наклона деки толщина слоя увеличивается, что ведет к ухудшению качества работы вибропневмосепаратора.

4.4.3 Определение рациональных параметров вибропневмосепаратора при повышенной засоренности очищаемого семенного материала

Целью исследования являлось определение рациональных параметров и режима работы экспериментального вибропневмосепаратора с прямой декой усовершенствованной конструкции и углом поперечного наклона равным нулю.

Задачу решали при реализации трехфакторного эксперимента по трехуровневому почти рототабельному плану Бокса-Бенкина. План опыта и результаты представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3.

Матрица плана, уровни варьирования и результаты эксперимента при амплитуде колебаний $A=7,5$ мм и настроечном значении подачи $Q=550$ кг/ч

№ опыта	Факторы			Средние значения полноты выделения члеников редьки дикой (при 10% потерях), %
	Угол установки стенки, град	Продольный угол наклона деки, град	Частота колебаний деки, мин ⁻¹	
	x_1	x_2	x_3	
-1	20	4	630	
0	25	5,5	660	
1	30	7	690	
1	0	0	0	99
2	-1	-1	0	99
3	1	-1	0	99
4	-1	1	0	97
5	1	1	0	84
6	-1	0	-1	99
7	1	0	-1	92
8	0	0	0	99
9	-1	0	1	99
10	1	0	1	91
11	0	-1	-1	100
12	0	1	-1	93
13	0	-1	1	94
14	0	1	1	95
15	0	0	0	99

Результаты опытов получены в виде уравнения регрессии второго порядка (4.9). Расчет коэффициентов регрессии и статистическая проверка моделей проведены с помощью прикладного программного пакета STAT-GRAPHICS Plus на ЭВМ.

Для полноты выделения низконатурных примесей (члеников редьки дикой) получены следующие уравнения регрессии в закодированном виде:

$$Y = 99,0 - 3,5 \cdot x_1 - 2,875 \cdot x_2 - 0,625 \cdot x_3 - 2,25 \cdot x_1^2 - 3,25 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,25 \cdot x_1 \cdot x_3 - 2,0 \cdot x_2^2 + 2,0 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1,5 \cdot x_3^2 \quad (4.9)$$

при $R^2 = 93,995 \%$

где Y – полнота выделения члеников редьки дикой при потерях 10%, %;
 x_1, x_2, x_3 – натурные значения угла установки стенки деки, продольного угла наклона деки и частоты ее колебаний, соответственно.

Графики критериев Стьюдента относительно табличного значения $t=2,57$, определяющие значимость коэффициентов регрессии для уравнения (4.2), представлены на рис. 4.7

Standardized Pareto Chart for Y

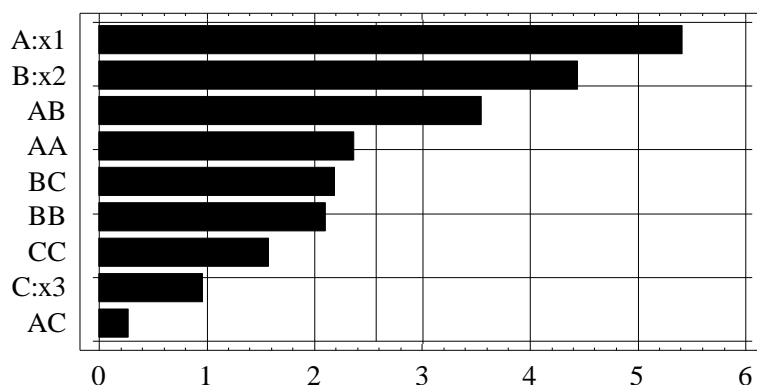


Рис. 4.7. Значения t – критерия коэффициентов регрессии моделей для полноты выделения члеников редьки дикой, при 10% потерях

Из графика на рисунке 4.7 следует, что некоторые коэффициенты регрессии оказались незначимыми, но исключать их из уравнений не следует, так как модели могут оказаться неадекватными. Исключение незначимых коэффициентов регрессии может быть осуществлено с последующим пересчетом всех коэффициентов регрессии по методу последовательного регрессионного анализа.

Для Y с вероятностью 0,95 значимыми оказались три коэффициента: угол установки стенки – x_1 , угол продольного наклона деки – x_2 и их произведение – x_1x_2 , остальные критерии оказались незначимы.

По полученным моделям полноты выделения низконатурных примесей вибропневмосепаратором при выходе семян 90% построены двумерные сечения поверхностей откликов критерия оптимизации Y по тем взаимо-

действиям факторов, которые оказались значимыми, при фиксации остальных на нулевом уровне.

Значимым из парных коэффициентов оказался коэффициент при взаимодействии угла установки стенки x_1 и угла продольного наклона деки x_2 . Поэтому рассмотрим двумерное сечение отклика в зависимости от этих факторов при фиксации других на нулевом уровне (рис. 4.8).

Двумерное сечение поверхности отклика критерия оценки Y (рис.4.8) относительно факторов x_1 – угол установки стенки и x_2 – угол продольного наклона деки при фиксации частоты колебаний x_3 на нулевом уровне представляет собой контурные кривые равных значений в виде семейства сопряженных эллипсов.

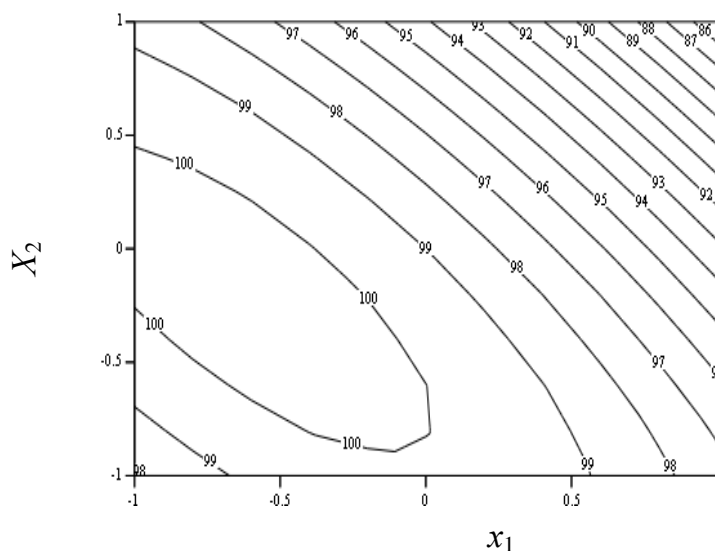


Рис. 4.8. Двумерное сечение отклика полноты выделения примесей, относительно угла установки стенки x_1 и угла продольного наклона деки x_2

Анализ графика показывает, что полнота выделения члеников редьки дикой достигает 95-100% при малых значениях рассматриваемых факторов, в исследуемых пределах. Наибольший эффект достигается в следующем диапазоне значений $x_1 = -1 \dots 0,5$; $x_2 = -1 \dots 0$; при $x_3 = 0$.

Влияние факторов на полноту выделения представлено на рисунке 4.9

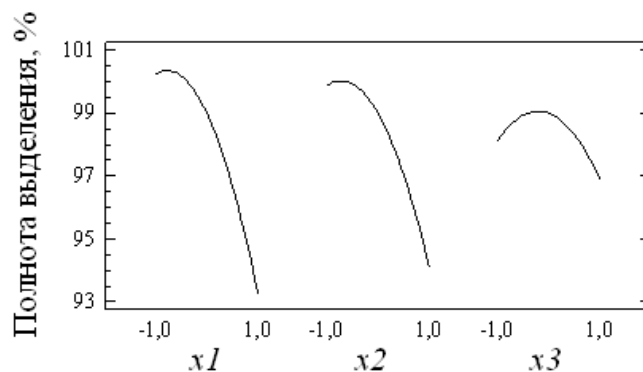


Рис. 4.9. Влияние исследуемых факторов на полноту выделения члеников редьки дикой

Для проверки полученных рациональных значений факторов, с помощью программы MathCAD модель (4.2) исследована на условный экстремум при соблюдении ограничительных условий. Результат решения приведен в виде матрицы:

$$P = \begin{pmatrix} -0.5 \\ 0.2 \\ 0 \end{pmatrix} \quad Y(P_0, P_1, P_2) = 99.552$$

Общую картину изменения показателя в зависимости от факторов x_1 и x_2 можно представить в виде поверхности отклика (рис.4.10), при $x_3=0$.

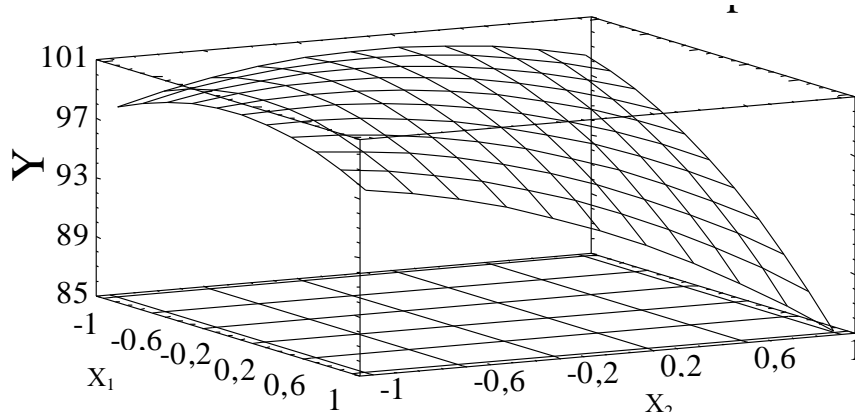


Рис. 4.10. Поверхность отклика модели полноты выделения члеников редьки дикой

Для удобства выбора рациональных действительных значений факторов представим уравнение полноты выделения члеников редьки дикой в раскодированном виде:

$$E = -594,097 + 7,28333 \cdot \alpha - 10,6389 \cdot \beta + 1,97639 \cdot n - 0,09 \cdot \alpha^2 - 0,433333 \cdot \alpha \cdot \beta - 0,00166667 \cdot \alpha \cdot n - 0,888889 \cdot \beta^2 + 0,0444444 \cdot \beta \cdot n - 0,00166667 \cdot n^2 \quad (4.10)$$

где E – полнота выделения члеников редьки дикой в %, при потерях семян в отходы 10 %;

α – угол установки стенки деки, град;

β – продольный угол наклона деки, град;

n – частота колебаний деки, мин⁻¹.

Двумерное сечение зависимости полноты выделения относительно численных значений факторов приведено на рисунке 4.11.

Из графика (рис. 4.11) следует, что полнота выделения члеников редьки дикой достигает значений более 95% при малых значениях рассматриваемых факторов, в исследуемых пределах. Наибольший эффект дости-

гается в диапазоне значений $\alpha = 20 \dots 26^\circ$; $\beta = 4 \dots 6^\circ$; при $n = 660 \text{ мин}^{-1}$. Выбранные значения подтверждены графически рисунком 4.12.

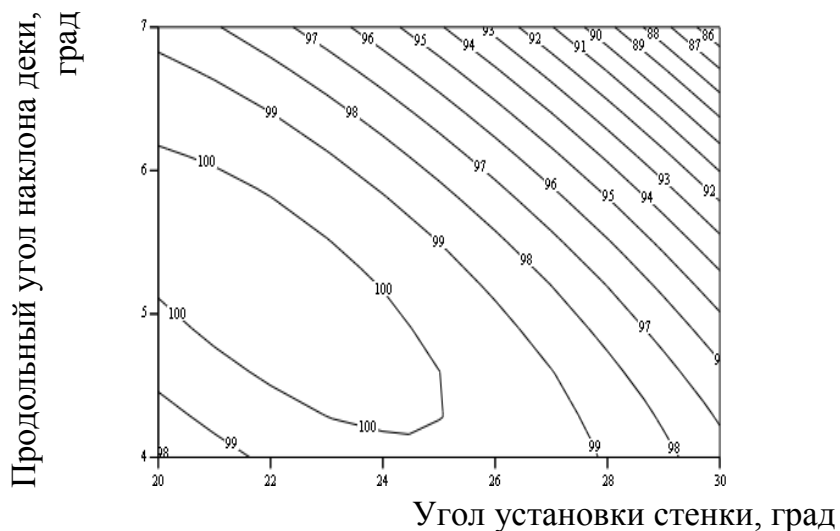


Рис. 4.11. Двумерное сечение полноты выделения члеников редьки дикой, при 10% потерях семян, %

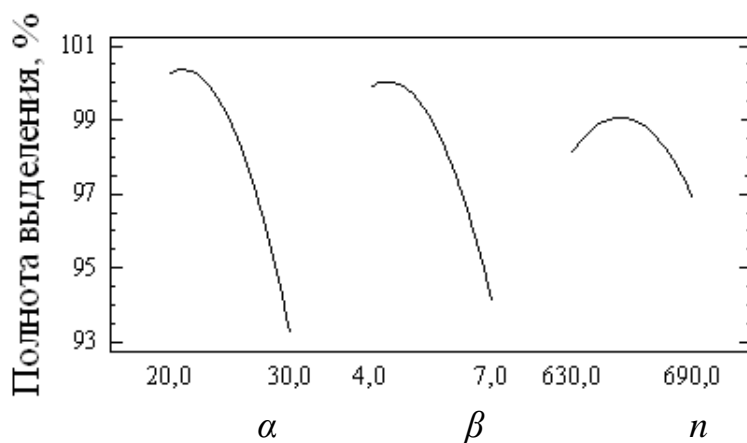


Рис. 4.12. Влияние факторов на полноту выделения члеников редьки дикой

Поверхность отклика данной модели представлена на рисунке 4.13

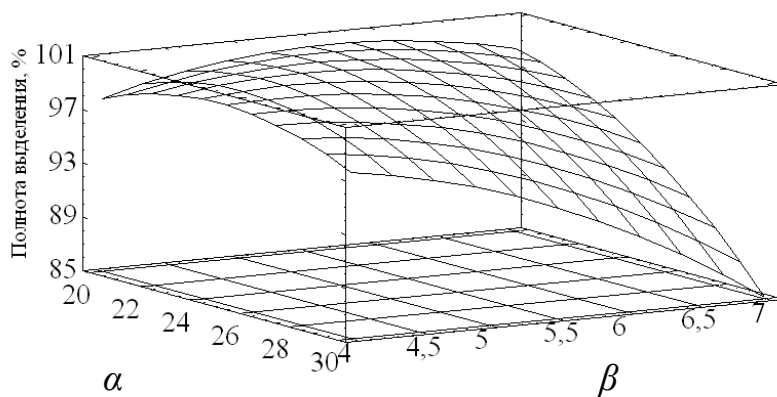


Рис. 4.13. Поверхность отклика полноты выделения члеников редьки дикой, при 10 % потерях семян, %

Анализ графиков (рис. 4.11 – 4.13) показывает следующее: максимальное значение полноты выделения члеников редьки дикой достигает 100%, а значение более 95% достигается во всем интервале α при $\beta=4\dots5^\circ$, или во всем интервале β при $\alpha=20\dots24^\circ$, при $n=660 \text{ мин}^{-1}$.

Для проверки полученных рациональных значений факторов, с помощью программы MathCAD модель (4.3) исследована на условный экстремум при соблюдении ограничительных условий. Результат решения приведен в виде матрицы:

$$P = \begin{pmatrix} 22.5 \\ 5.8 \\ 658.999 \end{pmatrix} \quad E(P_0, P_1, P_2) = 99.858$$

Таким образом, результаты, полученные при исследовании двумерных сечений отклика критерия оптимизации, подтверждены и для исследуемого вибропневмосепаратора могут быть рекомендованы следующие рациональные параметры и режимы работы: настроечное значение подачи $Q=550 \text{ кг/ч}$, амплитуда колебаний $A=7,5 \text{ мм}$, продольный угол наклона деки $\beta=4\dots6$ градусов, угол установки стенки деки $\alpha=20\dots26$ градусов, частота колебаний $n=640\dots660 \text{ мин}^{-1}$, при угле направленности колебаний деки $\varepsilon=30^\circ$.

4.4.4. Параметры и режимы работы вибропневмосепаратора при повышенной удельной нагрузке

Целью исследования являлось возможность повышения производительности вибропневмосепаратора.

На первой стадии исследований были изучены влияния основных конструктивных параметров и режимов работы на технологический процесс и определены рациональные значения изученных факторов.

На второй стадии ставили задачу изучения возможности повышения удельной нагрузки при малой засоренности исходного вороха трудноотделимыми примесями. В качестве основного критерия принимали полноту выделения члеников редьки дикой. В качестве основных факторов, влияющих на процесс разделения, приняты регулируемые параметры вибропневмосепаратора – угол продольного наклона, угол установки стенки и частота колебаний деки.

Задачу решали при реализации трехфакторного эксперимента по трехуровневому почти ротатабельному плану Бокса-Бенкина. Результаты опытов приведены в приложении Е. Матрица плана, уровни варьирования факторов и значения критериев приведены в таблице 4.4.

Для полноты выделения низконатурных примесей получено следующее уравнение регрессии в раскодированном виде:

$$E = 501,218 - 2,00833 \cdot \alpha + 44,8981 \cdot \beta - 1,87778 \cdot n - 0,211667 \cdot \alpha^2 - 0,233333 \cdot \alpha \cdot \beta + 0,0288889 \cdot \alpha \cdot n + 0,759259 \cdot \beta^2 - 0,0962963 \cdot \beta \cdot n + 0,00146091 \cdot n^2 \quad (4.11)$$

где E – полнота выделения низконатурных примесей при потерях семян в фуражные отходы 10 %, %; α – угол скоса стенки деки, град; β – угол продольного наклона деки, град; n – частота колебаний деки, мин⁻¹.

Таблица 4.4

Матрица плана, уровни варьирования и результаты эксперимента при амплитуде $A=15$ мм и настроечном значении подачи $Q=1000$ кг/ч

№ опыта	Факторы			Полнота выделения членков редьки дикой при 10% потерях, %	Потери семян в фуражные отходы, %	Выход семян элиты, %	Часть семян направляемых на рециркуляцию, %	Полнота выделения членков редьки дикой, %
	Угол установки стенки, град	Продольный угол наклона деки, град	Частота колебаний деки, мин ⁻¹					
	α	β	n					
1	30	7	540	-	-	-	-	-
0	25	5,5	495	-	-	-	-	-
-1	20	4	450	-	-	-	-	-
1	0	0	0	80	11,84	88,16	0	97
2	-1	-1	0	67	14,06	85,94	0	98
3	1	-1	0	70	12,31	75,81	11,88	96
4	-1	1	0	87	10,98	89,02	0	97
5	1	1	0	83	9,32	29,84	60,84	97
6	-1	0	-1	93	10,42	89,58	0	97
7	1	0	-1	89	8,33	34,51	57,17	99
8	0	0	0	67	13,73	86,27	0	96
9	-1	0	1	54	16,76	83,24	0	98
10	1	0	1	76	12,17	87,83	0	95
11	0	-1	-1	96	9,27	90,73	0	96
12	0	1	-1	91	4,95	58,23	36,83	98
13	0	-1	1	92	8,82	80,15	11,03	100
14	0	1	1	61	15,16	84,85	0	98
15	0	0	0	94	8,95	73,36	17,7	99

После расчета коэффициентов регрессии проверяли гипотезу адекватности моделей полноты выделения низконатурных примесей вибропневмосепаратором полиномами второго порядка. Результаты расчета представлены после каждого уравнения регрессии. Значимость коэффициентов регрессии рассчитывали по t -критерию Стьюдента.

Для потерь семян в фуражные отходы получено следующее уравнение регрессии:

$$\begin{aligned}
 P = & -20,7607 - 1,42429 \cdot \alpha - 14,5427 \cdot \beta + 0,325024 \cdot n + 0,0506359 \cdot \alpha^2 + \\
 & + 0,00299976 \cdot \alpha \cdot \beta - 0,00277978 \cdot \alpha \cdot n - 0,491294 \cdot \beta^2 + \\
 & + 0,0394635 \cdot \beta \cdot n - 0,000421448 \cdot n^2
 \end{aligned}
 \tag{4.12}$$

где P – потери семян в фуражные отходы %.

Для выхода семян элиты получено следующее уравнение регрессии:

$$\begin{aligned}
 V = & 659,64 + 1,8198 \cdot \alpha + 14,3542 \cdot \beta - 2,61274 \cdot n - 0,420686 \cdot \alpha^2 + 0,482961 \cdot \alpha \cdot \beta + \\
 & + 0,0275578 \cdot \alpha \cdot n - 2,87244 \cdot \beta^2 - 0,000866597 \cdot \beta \cdot n + 0,00214353 \cdot n^2
 \end{aligned}
 \tag{4.13}$$

где V – выход семян элиты, соответствующих требованиям ГОСТ по чистоте, %.

Для определения части семян поступающих на рециркуляцию получено уравнение регрессии:

$$\begin{aligned}
 R = & -538,88 - 0,395488 \cdot \alpha + 0,188461 \cdot \beta + 2,28772 \cdot n + 0,37005 \cdot \alpha^2 - 0,485961 \cdot \alpha \cdot \beta \\
 & - 0,0247781 \cdot \alpha \cdot n + 3,36373 \cdot \beta^2 - 0,0385969 \cdot \beta \cdot n - 0,00172209 \cdot n^2
 \end{aligned}
 \tag{4.14}$$

где R – часть семян, доочистка которых возможна при рециркуляции материала, %.

Графики критериев Стьюдента относительно табличного значения $t=2,57$, определяющие значимость коэффициентов регрессии для уравнений (4.4) – (4.5), представлены на рис. 4.14.

Из графиков на рисунке 4.14 следует, что некоторые коэффициенты регрессии оказались незначимыми.

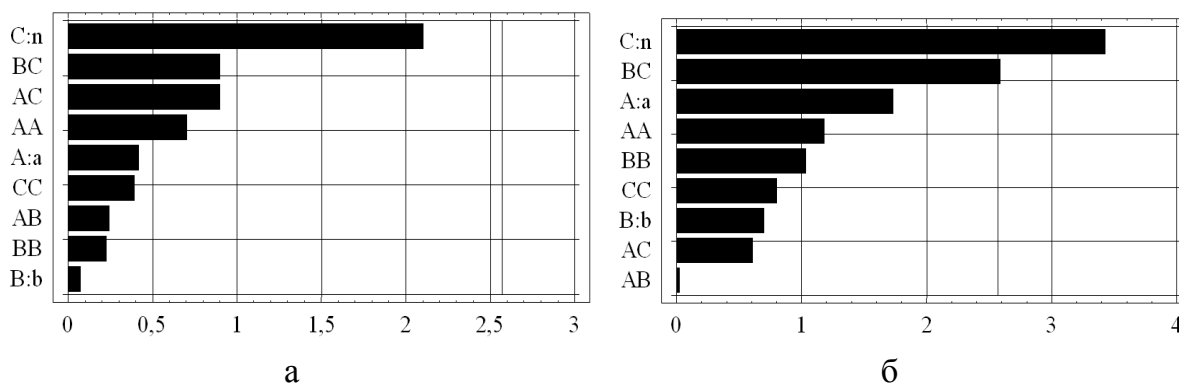


Рис. 4.14. Значения t – критерия коэффициентов регрессии моделей: а – полнота выделения низконатурных примесей; б – потери семян в отходы

Для проверки полученных рациональных значений факторов, с помощью программы MathCAD 2001 модели (4.11 – 4.14) исследованы на условный экстремум при соблюдении ограничительных условий. Результаты решения приведены в виде матриц:

Минимальные потери наблюдаются при:

$$Q = \begin{pmatrix} 26.209 \\ 7 \\ 450 \end{pmatrix} \quad P(Q_0, Q_1, Q_2) = 3.813$$

Максимальная полнота выделения примесей соответствует:

$$Q = \begin{pmatrix} 22.584 \\ 7 \\ 457 \end{pmatrix} \quad E(Q_0, Q_1, Q_2) = 99.578$$

Решение компромиссной задачи при ограничительных условиях – полнота выделения $E > 95\%$, потери семян $P < 10\%$:

$$D = \begin{pmatrix} 22.89 \\ 5.988 \\ 450 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} \text{град} \\ \text{град} \\ \text{мин}^{-1} \end{matrix} \quad ; \quad \begin{matrix} E(D_0, D_1, D_2) = 97.357 \% \\ P(D_0, D_1, D_2) = 7.506 \% \end{matrix}$$

Для увеличения полноты выделения необходимо уменьшить угол скоса стенки.

Результаты исследований подтвердили предположение о возможности повышения производительности вибропневмосепаратора при увеличении амплитуды колебаний. Для исследуемого вибропневмосепаратора могут быть рекомендованы следующие рациональные параметры и режимы: настроечное значение подачи $Q=1000$ кг/ч, амплитуда колебаний $A=0,015$ м, угол продольного наклона деки $\beta=6...7^\circ$, угол установки борта деки $\alpha=22...26^\circ$, частота колебаний $n=450...460$ мин⁻¹ при угле направленности колебаний $\varepsilon=30^\circ$.

4.4.5 Результаты ведомственных испытаний вибропневмосепаратора

Ведомственные испытания вибропневмосепаратора проведены в учхозе «Липовая гора» Пермской ГСХА.

По результатам анализа проб были рассчитаны основные показатели агротехнической оценки работы машины при различной подаче материала. В качестве основных критериев агротехнической оценки приняли чистоту полученных фракций, содержание поштучно учитываемых семян сорняков и семян других культур, полноту выделения примесей. Опыты проводили на четырех различных подачах: 0,80; 1,00; 1,10; 1,20 т/ч.

Результаты агротехнической оценки работы машины при различной подаче материала, рассчитанные по результатам анализа взятых проб приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5

Показатели работы машины при различной производительности

Подача	Средние значения засоренности (при 10 % потерях)		Средние значения полноты выделения семян свербиги (при 10 % потерях)	Средние значения полноты выделения семян культурных примесей (при 10 % потерях)	Средние значения массы 1000 зерен (при 10 % потерях)	Средние значения натурной массы (при 10 % потерях)	Категория по ГОСТ Р 52325-2005
	Сорными	Культурными					
т/ч	шт/кг	шт/кг	%	%	г	кг/м ³	
0,8	0	5	100	93,83	49,6	799,28	ОС
1,0	3	5	96,3	93,83	49,9	799,75	ОС
1,1	3	6	96,3	92,59	49,8	799,65	ЭС
1,2	4	7	95,06	91,36	49,7	799,67	РС

В результате испытаний получены уравнения для показателей работы вибропневмосепаратора:

$$P = 22,318 \cdot Q^2 - 56,312 \cdot Q + 130,7, \quad R^2=0,9635 \quad (4.15)$$

$$M = -5,6818 \cdot Q^2 + 11,568 \cdot Q + 43,986, \quad R^2=0,9545 \quad (4.16)$$

$$H = -4,0682 \cdot Q^2 + 9,0668 \cdot Q + 794,63, \quad R^2=0,9799 \quad (4.17)$$

где P – полнота выделения свербиги, %; M – масса 1000 зерен, г; H – натурная масса семян, кг/м³.

Качественные и количественные показатели работы машины приведены на рисунке 4.15.

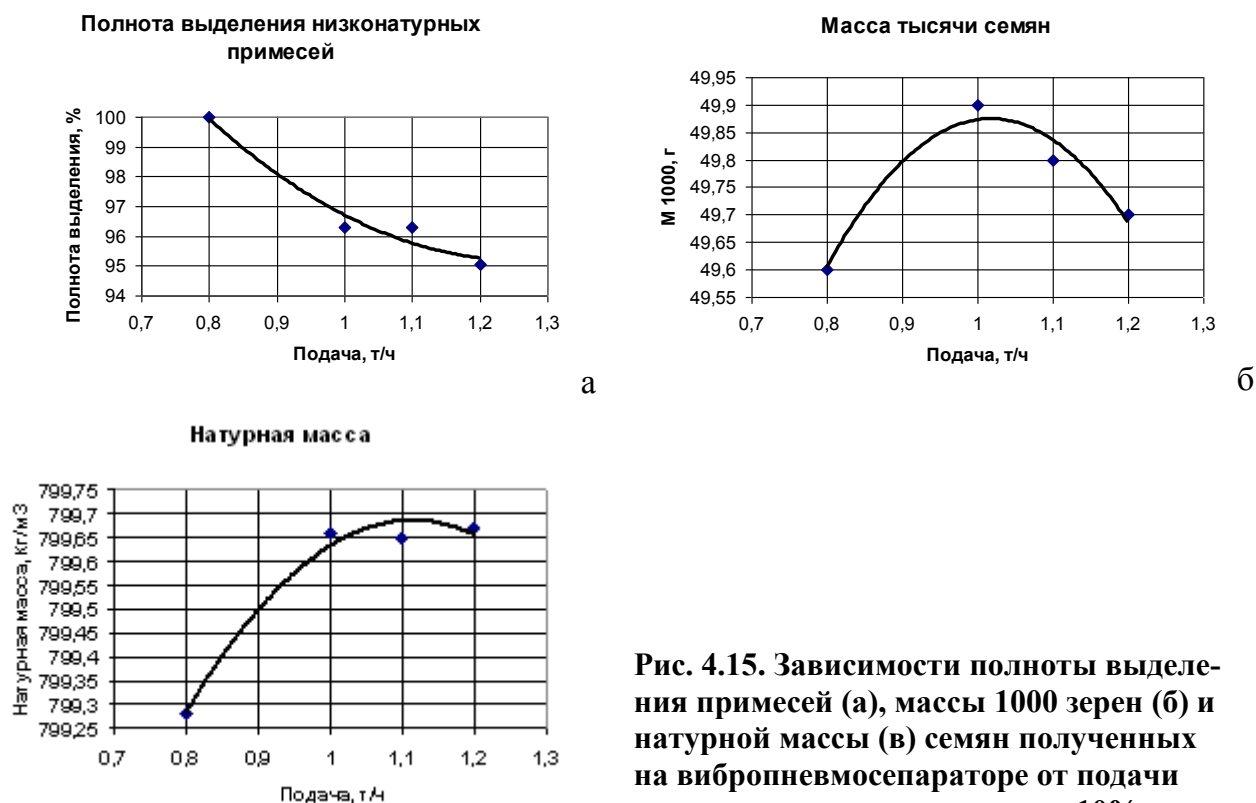


Рис. 4.15. Зависимости полноты выделения примесей (а), массы 1000 зерен (б) и натурной массы (в) семян полученных на вибропневмосепараторе от подачи материала при потерях семян 10%

**4.4.6. Результаты производственной проверки
технологической надежности рабочего процесса машины
в составе семяочистительной линии**

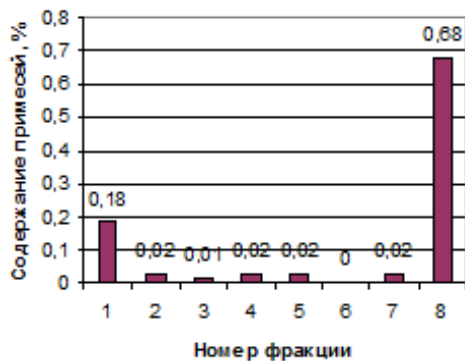
Условия и результаты производственной проверки семяочистительной линии при настроечном значении подачи 2500 кг/ч приведены в в таблице 4.6. По данным опытов построены графики (рис. 4.16).

Таблица 4.6

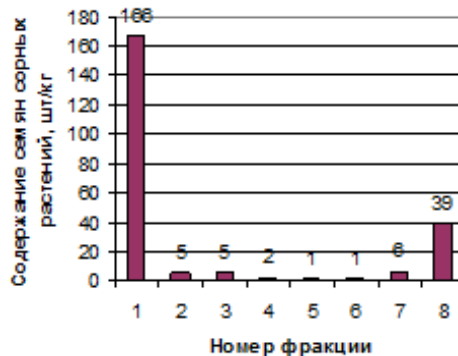
Условия и результаты производственной проверки семяочистительной линии

Показатели	Исходный материал	Фракция, обработанная на ВРМ-1	Фракция, полученная на ВРМ-2	Фракция, подаваемая на ВПС	Фракции, полученные на вибропневмосепараторе			
					I	II	III	IV
Место отбора проб (рис. 3.3)	1	2	3	4	5	6	7	8
Содержание примесей, %	<u>0,18*</u>	<u>0,02</u>	<u>0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0</u>	<u>0,02</u>	<u>0,68</u>
	0,04	0,02	0,01	0,03	0,03	0	0,01	0,1
Содержание семян других культурных растений, шт./кг	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>18</u>
	1	1	0	0	0	0	1	14
Содержание семян других растений, шт/кг	<u>167</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>6</u>	<u>232</u>
	31	3	3	2	1	1	4	52
Содержание дробленого зерна, %	<u>3,37</u>	<u>0,99</u>	<u>0,54</u>	<u>0,36</u>	<u>0,22</u>	<u>0,34</u>	<u>2,96</u>	<u>15,30</u>
	0,69	0,11	0,17	0,13	0,11	0,14	0,70	4,91
Масса 1000 зерен, г	<u>41,19</u>	<u>42,7</u>	<u>39,66</u>	<u>42,94</u>	<u>43,99</u>	<u>42,21</u>	<u>40,24</u>	<u>31,33</u>
	1,32	3,00	0,87	1,30	0,99	1,02	2,38	5,74
Объемная масса, кг/м ³	<u>747,19</u>	<u>750,38</u>	<u>753,42</u>	<u>749,18</u>	<u>757,78</u>	<u>754,20</u>	<u>722,20</u>	<u>648,32</u>
	3,514	5,13	5,08	3,90	5,21	3,07	3,98	10,86
Доля фракций, %:								
от подачи на линию	100,0	88,04	40,84	37,21	18,29	11,50	5,68	1,73
по выходу с ВРМ-2			52,33	47,67				
от подачи на ВПС				100	49,16	30,91	15,27	4,66
Категория семян		ЭС	ЭС	ОС	ОС	ОС	РС	
Вероятность сохранения поля допуска РД, дол. Ед. на засоренность конечного продукта поштучно-учитываемыми примесями: $\beta=0,95$			0,874	0,918	0,926	0,915	0,864	

- - в числителе указано среднее значение, в знаменателе – среднеквадратическое отклонение



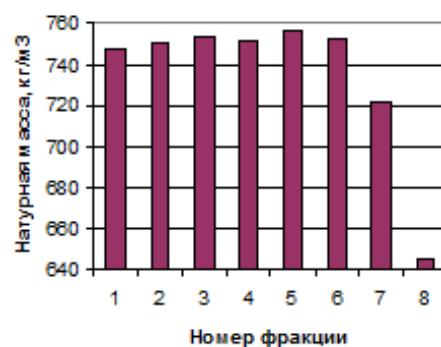
а



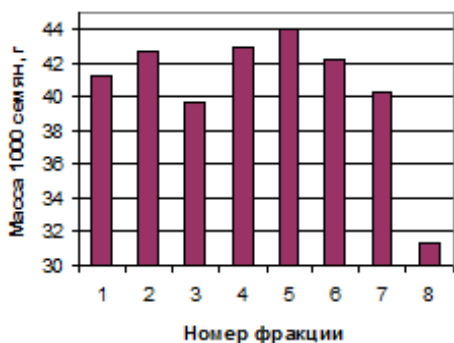
б



в



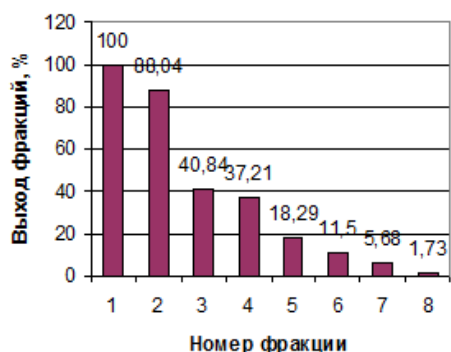
г



д



е



ж

Рис. 4.16 – Показатели качества фракций (по номеру места отбора проб):
 а – содержание примесей; б – содержание семян других растений;
 в – содержание семян сорных растений; г – натурная масса семян;
 д – масса 1000 семян; е – содержание дробленых зерен; ж – выход фракций

Средние значения объемных масс проходовой и сходовой фракции, полученных на решетке с круглыми отверстиями воздушно-решетной машины составили, соответственно, 0,753 кг/дм³ и 0,749 кг/дм³. Проверку существенности отличий этих показателей проводили по t-критерию Стьюдента. По результатам проверки установлено, что с доверительной вероятностью $\beta=0,95$ полученные фракции отличаются по объемной массе.

Таким образом, на решетке с круглыми отверстиями, диаметр которых больше ширины семян, при подаче предварительно расслоенного материала, одним из признаков разделения является плотность.

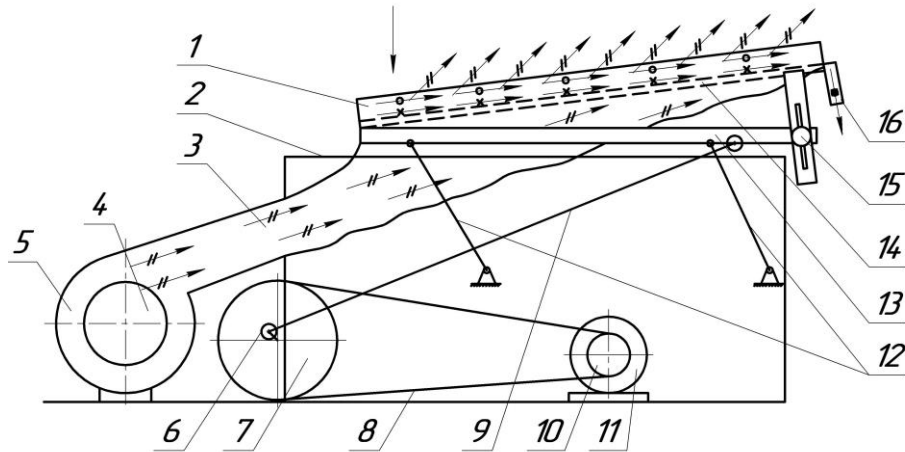
Предложенная семяочистительная линия позволяет, до подачи зернового материала на вибропневмосепаратор, выделить часть семян категории ЭС соответствующих требованиям стандарта по чистоте. Доля этой фракции составила 40,8% от материала подаваемого на очистку. Вибропневмосепаратор позволил выделить фракцию, которая по чистоте соответствует требованиям стандарта для оригинальных семян и ее доля составила более 29% от производительности линии.

Разработанная семяочистительная линия позволила выделить более 70% семян категории ЭС. Потери семян в фуражные отходы на вибропневмосепараторе составили 1,73%.

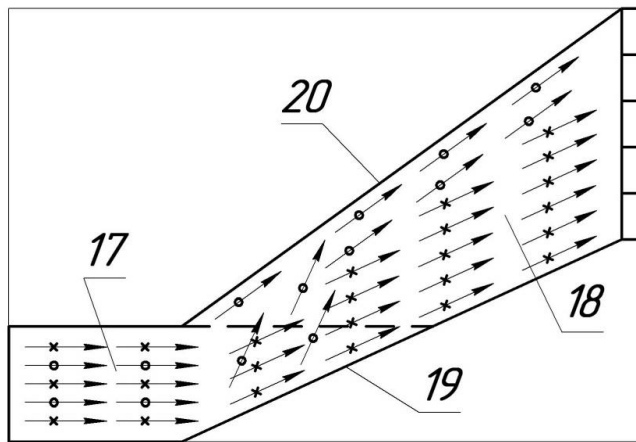
**Глава 5. РАЗРАБОТКА
И ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОПНЕВМОСЕПАРАТОРА
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 2,5 т/ч**

5.1 Устройство и процесс работы вибропневмосепаратора

Вибропневмосепаратор (рис. 5.1) [16,41,42,43] состоит из рамы 2, колеблющейся рамки 13, деки 1, пневмосистемы с вентилятором 5, вибропривода с эксцентриками 6.



а



б

—→ — исходный материал; —*→ — семена основной культуры;
—○→ — низконатурные примеси; —//→ — воздушный поток

Рисунок 5.1. Схема вибропневмосепаратора:

а) – устройство: 1 – дека; 2 – рама; 3 – воздуховод; 4 – заслонка; 5 – вентилятор; 6 – эксцентрик; 7, 10 – шкив; 8 – ремень; 9 – шатун; 11 – электродвигатель; 12 – стойка; 13 – рамка; 14 – воздуховыравнивающая поверхность; 15 – механизм регулирования продольного угла наклона деки; 16 – приемники фракций; б) – технологическая схема деки, вид сверху: 17 – зона предварительного расслоения; 18 – зона транспортирования; 19 – стенка, установленная под углом к направлению колебаний; 20 – противоположная стенка.

Рамка 13 шарнирно закреплена на раме 2 с помощью металлических

стоек 12. Дека 1 крепится к рамке в четырех точках. Угол наклона деки регулируется с помощью механизма 15. Механизм регулировки угла наклона 15 деки представляет собой пластины с прямоугольным вырезом. В вырез пластины входит резьбовой стержень, приваренный к колеблющейся рамке. На стержень закручивается маховик с внутренней резьбой и прижимает пластину рамке. Пневмосистема выполнена в виде вентилятора 5 и воздуховода 3 закрепленного к деке снизу. Продольный угол регулируется в пределах от 0° до 10° . Дека представляет собой рамную конструкцию, выполненную из алюминиевого швеллера, на поверхности которой установлена рабочая поверхность (просечно-вытяжное решето с круглыми отверстиями и жалюзийными выступами, направленными параллельно колебаниям деки), стенок по периметру рабочей поверхности деки, 5 приемников конечных фракций. К нижней части деки 1 закреплено воздуховывравнивающее устройство, которое представляет собой решето, на поверхности которого установлены дополнительные решета различного живого сечения. Площадь рабочей поверхности деки составляет $0,27 \text{ м}^2$. Воздушный поток создается вентилятором 5. Скорость воздушного потока регулируется с помощью заслонки 4. Дека совершает прямолинейные колебания за счет эксцентрикового механизма, который соединен с помощью двух шатунов 12 с колеблющейся рамкой 13. Механизм вибропривода представляет собой вал с эксцентриками 6, которые через шариковые подшипники соединены с нижними головками шатунов. Вал получает вращение через клиноременную передачу от асинхронного электродвигателя переменного тока 11. Частота колебаний деки регулируется в пределах от 400 до 700 мин^{-1} при помощи частотного регулятора. Подача материала регулируется путем изменения размера выходного отверстия на днище бункера.

Технологический процесс сепарации семян в вибропневмооживленном слое происходит следующим образом. Зерновая смесь из бункера поступает на деку 1 равномерным слоем. Под действием вибрации и наклонного воздушного потока материал перераспределяется по плотности и поступает на участок со стенкой 19, установленной под углом к направлению колебаний. В результате соприкосновения с ней в поперечном сечении слоя возникает наклон. Низконатурные примеси оказавшиеся, после расслоения, в верхней части слоя, скатываются к противоположной стенке 20 и двигаются вдоль неё. Таким образом, происходит распределение материала и примесей вдоль разгрузочной кромки деки 1. Расходная характеристика фракций при этом снижается от правого приемника к левому, а засоренность этих фракций низконатурными примесями увеличивается.

5.2 Методика лабораторных и производственных исследований и обработки опытных данных

С целью изучения влияния наклонного воздушного потока при различных удельных нагрузках на деку вибропневмосераратора на скорость движения материала по ее поверхности, проведены экспериментальные исследования.

При проведении экспериментов, замеряли время прохождения слоя семян, обладающих большей плотностью, и слоя с низконатурными компонентами. Затем, при известной длине траекторий движения различных компонентов, вычисляли скорости их движения.

Для определения времени движения компонентов по деке в движущийся слой семян одновременно вводили индикаторы, соответствующие свойствам компонентов смеси, и с помощью двух секундомеров определяли время, за которое индикаторы достигали разгрузочной кромки. Опыты проведены в трехкратной повторности. По известному пути и времени рассчитывали скорости движения семян основной культуры и низконатурных примесей в каждом опыте.

Для определения рациональных значений угла установки стенки деки и оптимизации параметров и режимов разделения материала на вибропневмосепараторе при малых удельных нагрузках, был проведен трехфакторный трехуровневый эксперимент по плану Бокса-Бенкина [30]. Скорости воздушного потока устанавливали такой, при которой слой «кипел», но без образования «фонтанов». При их возникновении скорость воздушного потока снижали. Значения скоростей воздуха устанавливали в соответствии с результатами теоретических исследований и измеряли анемометром.

Материалом при проведении опытов служила искусственная зерновая смесь в составе: основная культура – пшеница сорта «Иргина» кондиционной влажности со средним значением объемной массы 740 кг/м^3 ; низконатурная примесь – членики редьки дикой со средним значением объемной массы 430 кг/м^3 ; среднее значение засоренности члениками редьки дикой – 100 шт/кг.

В качестве факторов приняты: угол установки стенки деки, частота колебаний деки и продольный угол наклона деки.

Остальные регулируемые параметры в ходе опытов оставались неизменными и были установлены на следующих уровнях: поперечный угол наклона деки 0 градусов; амплитуда колебаний деки $A = 0,015 \text{ м}$; угол направленности колебаний $\varepsilon = 30$ градусов; подача материала $Q = 1000 \text{ кг/ч}$.

Задача выбора рационального режима работы вибропневмосепаратора при очистке семян от низконатурных примесей решена с использованием методики, разработанной в ВИМе д.с.-х.н. Н.Н. Ульрихом и к.т.н. Ю.А. Космовским [48].

Оценками разделения приняли полноту выделения члеников редьки

дикой, выход семян основной культуры, содержание семян, доочистка которых возможна при повторной обработке на вибропневмосепараторе и потери полноценных семян в отходы, полноту выделения члеников редьки дикой при 10% потерях семян основной культуры.

Расчёт оценок коэффициентов регрессии математических моделей, оценка их значимости, проверка адекватности полученных моделей и построение двумерных сечений поверхностей откликов проведено с помощью программного приложения STATGRAPHICS 5.0 для Windows.

Анализ уравнений проведен путем исследования двумерных сечений поверхностей отклика, а рациональные значения факторов определены с использованием математического пакета MathCAD 14.

Для установления степени влияния факторов на оценочные показатели и определения их рациональных значений при работе ВПС на малых подачах был проведен трехфакторный трехуровневый эксперимент по плану Бокса-Бенкина. В качестве факторов при проведении эксперимента приняли: продольный угол наклона деки β (4° ; $5,5^\circ$; 7°), величину подачи материала Q (800; 1000; 1200 кг/ч) и частоту колебаний деки n (440; 490; 540 мин⁻¹). Остальные параметры не изменяли и фиксировали на следующих уровнях: амплитуда колебаний деки $A = 0,015$ м; угол установки стенки деки $\alpha = 24$ градуса; угол направленности колебаний $\varepsilon = 30$ градусов. Рациональные параметры и оценочные показатели эффективности разделения зерновой смеси определяли по методике изложенной ранее.

Для определения технологических показателей процесса очистки семян при различных удельных нагрузках проведен эксперимент. В качестве факторов приняты: подача материала на рабочую поверхность ВПС в единицу времени, частота колебаний деки. Остальные регулируемые параметры в ходе опытов оставались неизменными и были установлены на следующих уровнях: амплитуда колебаний деки $A = 0,015$ м; угол установки стенки деки $\alpha = 24$ градуса; угол направленности колебаний $\varepsilon = 30$ градусов. В качестве оценок приняты полнота выделения примесей меньшей плотности и потери полноценных семян в фуражные отходы.

Для определения оптимальных значений основных регулируемых параметров вибропневмосепаратора при настройном значении подачи 2500 кг/ч реализован двухфакторный трехуровневый эксперимент. В качестве факторов приняты: частота колебаний деки, продольный угол наклона деки. Остальные регулируемые параметры в ходе опытов оставались неизменными и были установлены на следующих уровнях: амплитуда колебаний деки $A = 0,015$ м; угол установки стенки деки $\alpha = 24$ градуса; угол направленности колебаний $\varepsilon = 30$ градусов.

Выбор рационального режима работы вибропневмосепаратора проведен по описанной выше методике, разработанной в ВИМе. В качестве оценок приняли полноту выделения низконатурных примесей и потери семян в фуражные отходы. В качестве комплексного показателя приняли полноту выделения низконатурных примесей при потерях семян в отходы 10%.

Для оценки технологической надежности вибропневмосепаратора были проведены производственные исследования в составе семяочистительной линии (рис. 5.2).

Исследования проведены на семенах пшеницы сорта «Московская 39» кондиционной влажности. Места отбора проб отмечены на рисунке 5.2. Отбор проб массой около 1 кг при настроечной подаче 2500 кг/ч проводили в течение 10 часов работы линии с интервалом 10 мин.

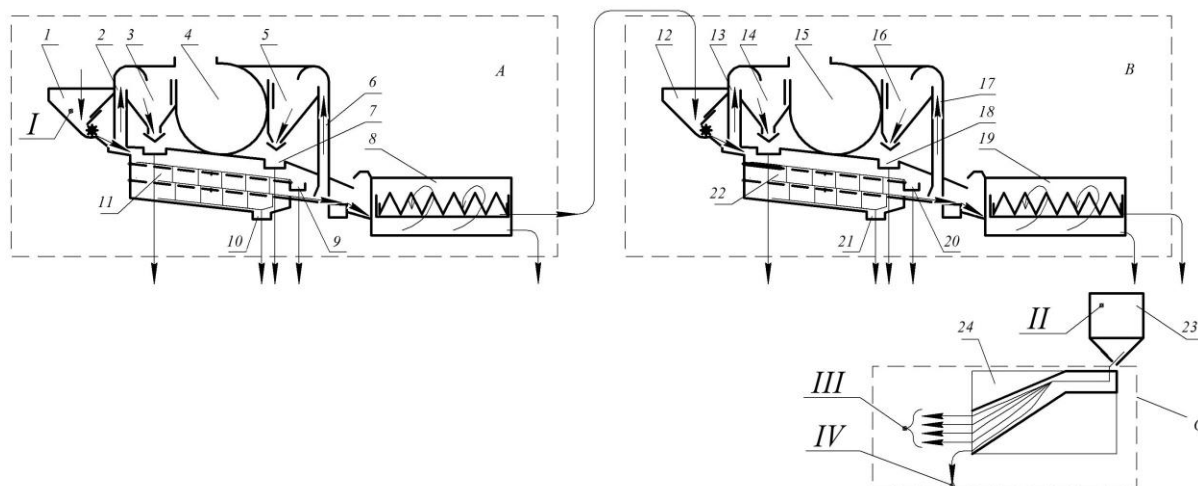


Рисунок 5.2. Схема семяочистительной линии с использованием вибропневмосепаратора:

А – комбинированная воздушно-решетно-триерная машина первичной очистки;
 В – комбинированная воздушно-решетно-триерная машина вторичной очистки;
 С – вибропневмосепаратор; 1, 12, 23 – бункеры; 2, 6, 13, 17 – аспирационные каналы; 3, 5, 14, 16 – осадочные камеры; 4, 15 – вентиляторы; 7, 18 – лотки вывода легких примесей; 8 – овсюжный триер; 9, 20 – лотки вывода крупных примесей; 10, 21 – лотки вывода мелких примесей; 11, 22 – решетные станы; 19 – кукольный триер; 24 – дека вибропневмосепаратора; I, II, III, IV – места отбора проб при проведении производственных опытов.

5.3. Результаты лабораторных исследований

5.3.1. Влияние наклонного воздушного потока на скорость движения семян по поверхности деки

С целью выявления влияния наклонного воздушного потока на скорость движения материала по деке проведены опыты.

При различных удельных нагрузках были определены скорости движения тяжелых и легких частиц смеси. Для каждого значения подачи материала, ранее опытным путем были установлены рациональные частоты колебаний.

Скорости компонентов зернового материала, движущегося по деке, помещены в таблице 5.1.

Таблица 5.1.

Скорости перемещения материала по деке

Удельная нагрузка, кг/с·м ²	Частота колебаний деки, мин ⁻¹	Среднее значение скорости движения семян основной культуры (тяжелые частицы), м/с	Среднее значение скорости движения примесей (легкие частицы), м/с
1,55	490	0,111	0,156
2,00	510	0,129	0,191
2,45	530	0,155	0,241
2,90	550	0,190	0,292

Оценку влияния воздушного потока проводили путем определения скорости движения материала по поверхности деки с воздушным потоком и без него при продольном угле равном 0°.

Результаты определения скорости перемещения семян по деке помещены в таблицу 5.2 и представлены на рисунке 5.3, а значение скоростей полученные в опытах и расчетом, помещены в таблицу 5.3.

Таблица 5.2

Влияние наклонного воздушного потока на скорость перемещения материала по деке

Удельная нагрузка, кг/с·м ²	Частота колебаний деки, мин ⁻¹	Среднее значение скорости движения семян основной культуры, м/с	
		без воздушного потока	с воздушным потоком
1,55	490	0,089	0,128
2,00	510	0,108	0,162
2,45	530	0,117	0,239
2,90	550	0,149	0,306

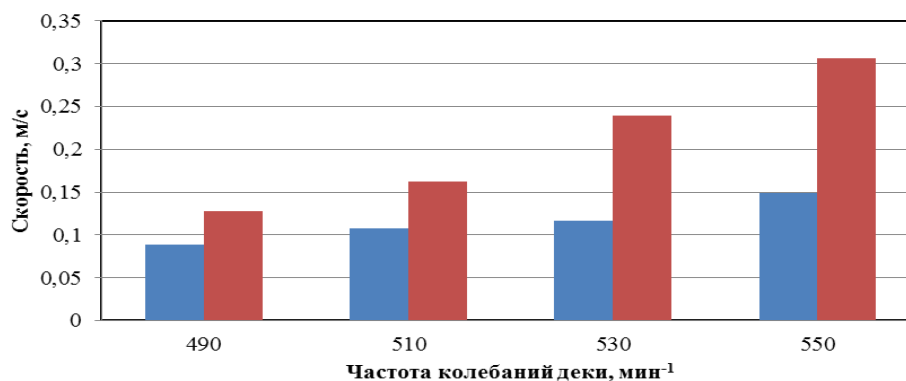


Рисунок 5.3. Закономерности изменения средних значений скоростей зерна основной культуры, движущихся по деке вибропневмосепаратора

Таблица 5.3.

Расчетные и экспериментальные значения средних значений скоростей зернового материала

Удельная нагрузка, кг/с·м ²	Частота колебаний деки, мин ⁻¹	Средние скорости материала(без воздушного потока), м/с		Средние скорости материала(с воздушным потоком), м/с	
		Расчетное значение	Экспериментальное значение	Расчетное значение	Экспериментальное значение
1,55	490	0,108	0,089	0,126	0,128
2,00	510	0,127	0,108	0,144	0,162

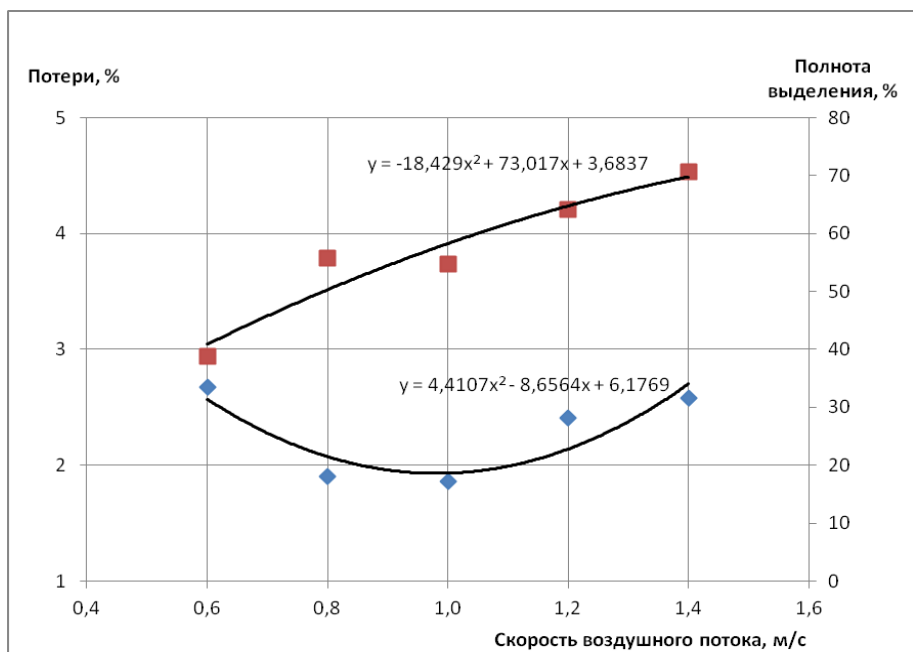
Из таблицы 5.3 следует, что результаты расчетов по определению средних значений скоростей семян основной культуры достаточно близки к скоростям, полученным в опытах при удельных нагрузках до 2,0 кг/с·м².

5.3.2. Влияние скорости воздушного потока на степень выделения низконатурных примесей и потери семян в отходы

Для проверки выявленных аналитических закономерностей влияния скорости воздушного потока на эффективность сепарации проведены опыты на кафедре сельскохозяйственных машин Пермской ГСХА с использованием разработанного вибропневмосепаратора [14,15,31,32,33,34].

Целью исследования явилась проверка результатов теоретических исследований влияния скорости воздушного потока на степень выделения низконатурных примесей как следствие степени интенсивности перемещения компонентов с малой плотностью на поверхность движущегося вибропневмоожиженного слоя и оценка потерь семян в отходы при конкретной нагрузке на деку вибропневмосепаратора.

Опыты на очистке семян пшеницы от овсюга проводили при настройке значения подачи 1000 кг/ч. Средние значения объемной массы семян пшеницы составили 0,733 кг/дм³, а семян овсюга – 0,41 кг/дм³. Среднее значение засоренности овсюгом – 100 шт/кг. Вибропневмосепаратор имел продольный угол деки 3° градуса, поперечный – 0°, угол направленности колебаний – 30° градусов, амплитуду колебаний деки – 0,015 м, частоту колебания деки – 490 1/мин. Экспериментальные исследования проведены при изменении средних значений скоростей воздушного потока: 0,6; 0,8; 1,0; 1,2, 1.4 м/с. Пробы полученных фракций отбирали на установившемся режиме работы ВПС. После опыта определяли массу каждой из пяти фракций и считали количество сорных семян. Вычисляли среднее число семян сорняков в килограмме пшеницы. Расчетом определяли полноту выделения овсюга и потери семян основной культуры в отходы. По полученным данным были построены графические зависимости (рис. 5.4.).



■ - степень выделения примесей ◆ - потери семян в отходы

Рисунок 5.4. Закономерности изменения показателей качества разделения компонентов зерновой смеси в вибропневмооживленном слое в зависимости от скорости воздушного потока

Экспериментальные исследования показали, что при увеличении скорости воздушного потока от 0,6 до 1,4 м/с степень отделения семян овсяга из пшеницы увеличивается и достигает 70% при потерях семян в отходы не превышающих 3 % (при допусках – 10%).

Полученные математические модели позволяют прогнозировать показатели качества очистки семян в вибропневмооживленном слое в зависимости от скорости воздушного потока.

5.3.3. Обоснование угла установки стенки деки

Целью исследования являлось определение оптимального значения угла установки стенки деки вибропневмосепаратора.

В качестве основного критерия принимали полноту выделения членков редьки дикой при 10-процентных потерях семян в отходы. В качестве факторов, влияющих на процесс разделения, приняты регулируемые параметры вибропневмосепаратора – угол продольного наклона, угол установки стенки и частота колебаний деки. Угол направленности колебаний в опытах составил 30°, а амплитуда колебаний – 0,015 м.

Задачу решали при реализации трехфакторного эксперимента по трехуровневому почти ротатбельному плану Бокса-Бенкина. Результаты опытов приведены в приложении 5. Матрица плана, уровни варьирования факторов и значения критериев приведены в таблице 4.1.

Таблица 5.4

Матрица плана, уровни варьирования и результаты эксперимента
(при амплитуде $A = 0,015$ м и подаче $Q = 1000$ кг/ч)

№ опыта	Факторы			Полнота выделения члеников редьки дикой при 10% потерях, %	Потери семян в фуражные отходы, %	Выход семян элиты, %	Часть семян направляемых на рециркуляцию, %	Полнота выделения члеников редьки дикой, %
	Угол установки стенки, град	Продольный угол наклона деки, град	Частота колебаний деки, мин ⁻¹					
	$\alpha (X_1)$	$\beta (X_2)$	$n (X_3)$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	30	7	540	-	-	-	-	-
0	25	5,5	495	-	-	-	-	-
-1	20	4	450	-	-	-	-	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	80	11,84	88,16	0	97
2	-1	-1	0	67	14,06	85,94	0	98
3	1	-1	0	70	12,31	75,81	11,88	96
4	-1	1	0	87	10,98	89,02	0	97
5	1	1	0	83	9,32	29,84	60,84	97
6	-1	0	-1	93	10,42	89,58	0	97
7	1	0	-1	89	8,33	34,51	57,17	99
8	0	0	0	67	13,73	86,27	0	96
9	-1	0	1	54	16,76	83,24	0	98
10	1	0	1	76	12,17	87,83	0	95
11	0	-1	-1	96	9,27	90,73	0	96
12	0	1	-1	91	4,95	58,23	36,83	98
13	0	-1	1	92	8,82	80,15	11,03	100
14	0	1	1	61	15,16	84,85	0	98
15	0	0	0	94	8,95	73,36	17,7	99

Для полноты выделения низконатурных примесей получено следующее уравнение регрессии:

$$Y_1 = 80,3333 + 2,125 \cdot X_1 - 0,375 \cdot X_2 - 10,75 \cdot X_3 - 5,29167 \cdot X_1^2 - 1,75 \cdot X_1 \cdot X_2 + 6,5 \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,70833 \cdot X_2^2 - 6,5 \cdot X_2 \cdot X_3 + 2,95833 \cdot X_3^2. \quad (5.1)$$

где Y_1 – полнота выделения низконатурных примесей при потерях семян в фуражные отходы 10 %; X_1 – угол скоса стенки деки; X_2 – угол продольного наклона деки; X_3 – частота колебаний деки.

В раскодированном виде уравнение примет вид:

$$E_{10} = 501,218 - 2,00833 \cdot \alpha + 44,8981 \cdot \beta - 1,87778 \cdot n - 0,211667 \cdot \alpha^2 - 0,233333 \cdot \alpha \cdot \beta + 0,0288889 \cdot \alpha \cdot n + 0,759259 \cdot \beta^2 - 0,0962963 \cdot \beta \cdot n + 0,00146091 \cdot n^2, \quad (5.2)$$

где E_{10} – полнота выделения низконатурных примесей при потерях семян в

фуражные отходы 10 %, %; X_1 – угол скоса стенки деки, град; X_2 – угол продольного наклона деки, град; X_3 – частота колебаний деки, мин⁻¹.

После расчетов коэффициентов регрессии проверяли гипотезу адекватности аппроксимации моделей полноты выделения низконатурных примесей вибропневмосепаратором полиномами второго порядка. Результаты расчета представлены после каждого уравнения регрессии. Значимость коэффициентов регрессии рассчитывали по t -критерию Стьюдента. Результаты расчетов по каждой модели относительно табличного значения критерия Стьюдента $t = 2,57$ приведены в виде диаграмм (рис 4.1).

Для потерь семян в фуражные отходы получено следующее уравнение регрессии:

$$Y_2 = 11,5067 - 1,26125 \cdot X_1 - 0,50625 \cdot X_2 + 2,4925 \cdot X_3 + \\ + 1,26542 \cdot X_1^2 + 0,0225 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,625 \cdot X_1 \cdot X_3 - \\ - 1,10458 \cdot X_2^2 + 2,665 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,852083 \cdot X_3^2 \quad (5.3)$$

В раскодированном виде уравнение примет вид:

$$P = -20,7607 - 1,42429 \cdot \alpha - 14,5427 \cdot \beta + 0,325024 \cdot n + 0,0506359 \cdot \alpha^2 + \\ + 0,00299976 \cdot \alpha \cdot \beta - 0,00277978 \cdot \alpha \cdot n - 0,491294 \cdot \beta^2 + \\ + 0,0394635 \cdot \beta \cdot n - 0,000421448 \cdot n^2 \quad (5.4)$$

где P, Y_2 – потери семян в фуражные отходы %.

Для выхода семян элиты получено следующее уравнение регрессии:

$$Y_3 = 82,5967 - 14,9737 \cdot X_1 - 8,83625 \cdot X_2 + 7,8775 \cdot X_3 - \\ - 8,57208 \cdot X_1^2 - 12,2625 \cdot X_1 \cdot X_2 + 14,915 \cdot X_1 \cdot X_3 - \\ - 3,87208 \cdot X_2^2 + 9,3 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,234583 \cdot X_3^2. \quad (4.5)$$

В раскодированном виде уравнение примет вид:

$$V = 659,64 + 1,8198 \cdot \alpha + 14,3542 \cdot \beta - 2,61274 \cdot n - 0,420686 \cdot \alpha^2 + \\ + 0,482961 \cdot \alpha \cdot \beta + 0,0275578 \cdot \alpha \cdot n - 2,87244 \cdot \beta^2 - \\ - 0,000866597 \cdot \beta \cdot n + 0,00214353 \cdot n^2 \quad (5.6)$$

где V, Y_3 – выход семян элиты, соответствующих требованиям ГОСТ по чистоте, %.

Для определения части семян поступающих на рециркуляцию получено уравнение регрессии:

$$Y_4 = 5,9 + 16,2363 \cdot X_1 + 9,345 \cdot X_2 - 10,3713 \cdot X_3 + \\ + 7,30375 \cdot X_1^2 + 12,24 \cdot X_1 \cdot X_2 - 14,2925 \cdot X_1 \cdot X_3 + \\ + 4,97625 \cdot X_2^2 - 11,965 \cdot X_2 \cdot X_3 + 1,08875 \cdot X_3^2, \quad (5.7)$$

$$R = -538,88 - 0,395488 \cdot \alpha + 0,188461 \cdot \beta + 2,28772 \cdot n - 0,37005 \cdot \alpha^2 - \\ - 0,485961 \cdot \alpha \cdot \beta - 0,0247781 \cdot \alpha \cdot n + 3,36373 \cdot \beta^2 - \\ - 0,0385969 \cdot \beta \cdot n - 0,00172209 \cdot n^2, \quad (5.8)$$

где R , Y_4 – часть семян, доочистка которых возможна при рециркуляции материала, %.

Графики критериев Стьюдента относительно табличного значения $t = 2,57$, определяющие значимость коэффициентов регрессии для уравнений (5.2), (5.4), (5.6), (4.8), представлены на рис. 5.5.

Из графиков на рисунке 5.5 следует, что некоторые коэффициенты регрессии оказались незначимыми.

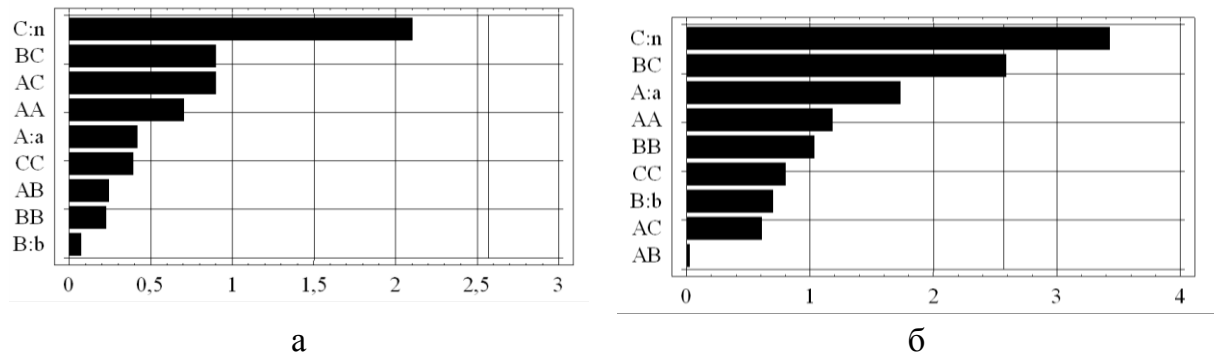


Рисунок 5.5. Значения t – критерия коэффициентов регрессии моделей: а – полнота выделения низконатурных примесей; б – потери семян в отходы

Для проверки полученных рациональных значений факторов, с помощью программы MathCAD 14 модели (5.1 – 5.4) исследованы на условный экстремум при соблюдении ограничительных условий. Результаты решения приведены в виде матриц:

– минимальные потери (P), не превышающие 3,813%, получены при следующих параметрах и режимах работы:

$$Q = \begin{pmatrix} 26,209^\circ \\ 7^\circ \\ 450 \text{ мин}^{-1} \end{pmatrix} \quad P(Q_0, Q_1, Q_2) = 3,813 \%;$$

– максимальная полнота выделения примесей (E), равная 99,958% получена при:

$$Q = \begin{pmatrix} 22,584^\circ \\ 7^\circ \\ 457 \text{ мин}^{-1} \end{pmatrix} \quad E(Q_0, Q_1, Q_2) = 99,578 \%.$$

Решение компромиссной задачи при ограничительных условиях (полнота выделения $E > 95$ %, потери семян $P < 10$ %), позволяет получить:

$$D = \begin{pmatrix} 22,890^\circ \\ 5,988^\circ \\ 450 \text{ мин}^{-1} \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} E(D_0, D_1, D_2) &= 97,357 \%; \\ P(D_0, D_1, D_2) &= 7,506 \%. \end{aligned}$$

Таким образом, рациональными значениями угла α между стенкой деки и направлением колебаний являются $22...26^\circ$ при угле продольного наклона деки $\beta = 6...7^\circ$, частоте колебаний $n = 450...460 \text{ мин}^{-1}$.

5.3.4. Определение рациональных параметров и режимов работы вибропневмосепаратора в диапазоне подач 0,8-1,2 т/ч

Целью исследования являлось определение рациональных параметров и режима работы экспериментального вибропневмосепаратора с декой усовершенствованной конструкции и нагнетательной пневмосистемой с наклонным воздушным потоком. Задачу решали при реализации трехфакторного эксперимента по трехуровневому ротатбельному плану Бокса-Бенкина. План опыта и результаты представлены в таблице 5.2.

Результаты опытов получены в виде уравнения регрессии второго порядка. Расчет коэффициентов регрессии и статистическая проверка моделей проведены с помощью прикладного программного пакета STATGRAPHICS 5.0 на ЭВМ.

Таблица 5.2

Матрица плана, уровни варьирования и результаты эксперимента (при амплитуде колебаний $A = 0,015 \text{ м}$, угле направленности колебаний $\varepsilon = 30^\circ$ и угле установке стенки 24°).

№ опыта	Факторы			Полнота выделения члеников редьки дикой (при 10% поте-рях), %	Полнота выделения члеников редьки дикой, %	Выход семян элиты, %
	Продольный угол наклона деки, град	Частота колебаний деки, мин^{-1}	Подача, кг/ч			
	$\beta (X_1)$	$n (X_2)$	$Q (X_3)$	$E_{10}(Y_1)$	$E (Y_2)$	$V (Y_3)$
-1	4	440	800	–	–	–
0	5,5	490	1000	–	–	–
1	7	540	1200	–	–	–
1	0	0	0	100	100	96,24
2	-1	-1	0	97	97	87,35
3	1	-1	0	93	95	84,54
4	-1	1	0	94	95	86,9
5	1	1	0	93	95	84,41
6	-1	0	-1	95	99	80,87
7	1	0	-1	95	96	87,85
8	0	0	0	100	100	95,91
9	-1	0	1	95	98	77,13
10	1	0	1	96	96	85,02
11	0	-1	-1	95	96	83,06
12	0	1	-1	96	95	95,27
13	0	-1	1	93	95	80,22
14	0	1	1	99	99	90,43
15	0	0	0	100	100	96,09

Для полноты выделения низконатурных примесей (члеников редьки дикой) получено следующее уравнение регрессии:

$$Y_1 = 100 - 0,5 \cdot X_1 + 0,5 \cdot X_2 + 0,25 \cdot X_3 - 3,125 \cdot X_1^2 + 0,75 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,25 \cdot X_1 \cdot X_3 - 2,625 \cdot X_2^2 + 1,25 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1,625 \cdot X_3^2. \quad (5.9)$$

В раскодированном виде уравнение примет вид:

$$E_{10} = -146,277 + 9,21111 \cdot \beta + 0,859 \cdot n + 0,0166667 \cdot Q - 1,38889 \cdot \beta^2 + 0,01 \cdot \beta \cdot n + 0,000833333 \cdot \beta \cdot Q - 0,00105 \cdot n^2 + 0,000125 \cdot n \cdot Q - 0,000040625 \cdot Q^2 \quad (5.10)$$

при $R^2 = 91,71 \%$

где E_{10} , Y_1 – полнота выделения члеников редьки дикой при потерях 10%, %; β , X_1 – угол продольного наклона деки, град; n , X_2 – частота колебаний деки, мин⁻¹; Q , X_3 – подача материала на деку, кг/ч.

Графики критериев Стьюдента относительно табличного значения $t=2,57$, определяющие значимость коэффициентов регрессии для уравнения (5.10), представлены на рис. 5.6.

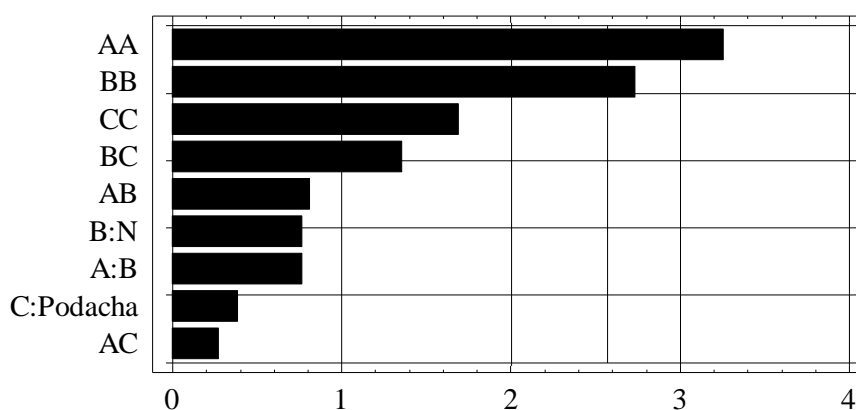


Рисунок 5.6. Значения t – критерия коэффициентов регрессии моделей для полноты выделения члеников редьки дикой, при 10% потерях

Из графика на рисунке 5.6 следует, что некоторые коэффициенты регрессии оказались незначимыми, но исключать их из уравнений не следует, так как модели могут оказаться неадекватными.

Для E_{10} с вероятностью 0,95 значимыми оказались два коэффициента: квадрат продольного наклона деки – β и квадрат частоты колебаний – n , остальные факторы и их взаимодействия оказались незначимыми.

По полученным моделям полноты выделения низконатурных примесей вибропневмосепаратором при выходе семян 90% построены двумерные сечения поверхностей откликов критерия оптимизации E_{10} по тем взаимодействиям факторов, которые оказались значимыми, при фиксации остальных на нулевом уровне.

Двумерное сечение поверхности отклика критерия оценки E_{10} (рис.5.7) относительно факторов β – угол продольного наклона деки и n – частоты колебаний деки при фиксации подачи материала на уровне 1000 кг/ч представляет собой контурные кривые равных значений в виде семейства сопряженных эллипсов.

Анализ графика показывает, что полнота выделения члеников редьки дикой достигает 95-100% при малых значениях рассматриваемых факторов, в исследуемых пределах. Наибольший эффект достигается в следующем диапазоне значений $\beta = 5...6^\circ$; $n = 480...500$; при $Q = 1000$ кг/ч [13].

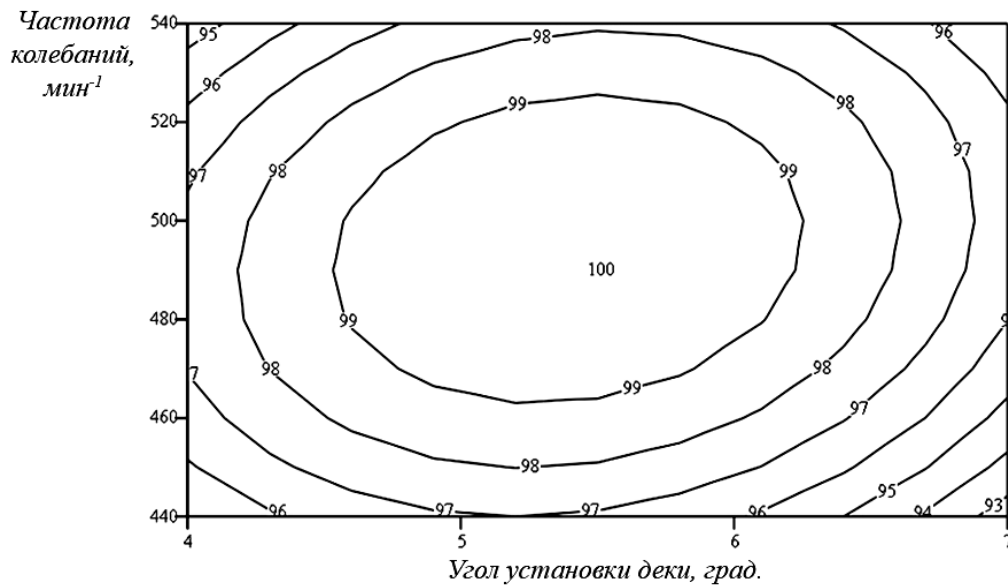


Рисунок 5.7. Двумерное сечение отклика полноты выделения примесей, относительно угла продольного наклона деки β и частоты колебаний деки n

Влияние факторов на полноту выделения представлено на рисунке 5.4

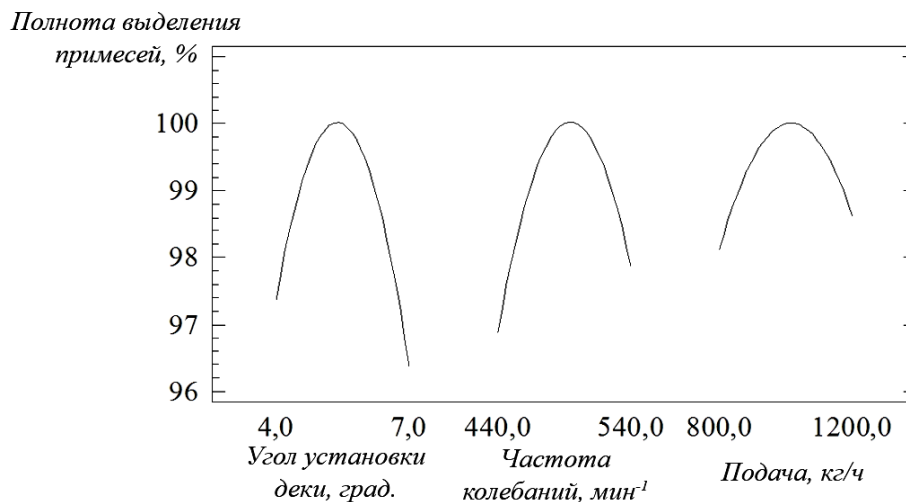


Рисунок 5.8. Влияние исследуемых факторов на полноту выделения члеников редьки дикой

Общую картину изменения показателя в зависимости от факторов β и n можно представить в виде поверхности отклика (рис.5.9), при настроечном значении подачи $Q = 1000$ кг/ч.

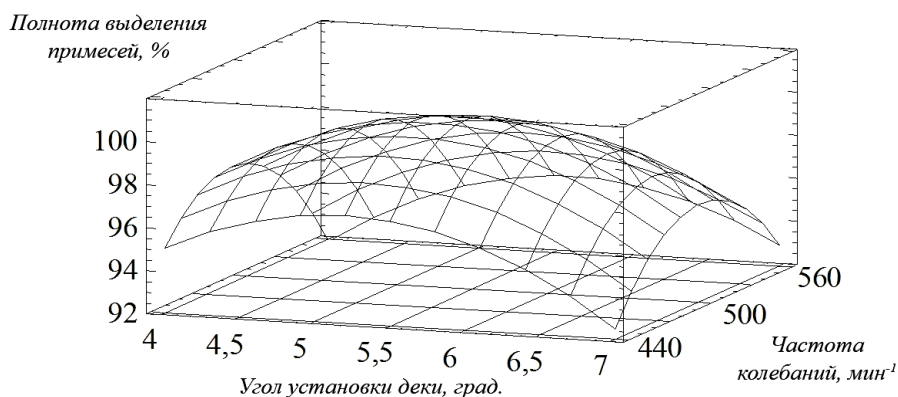


Рисунок 5.9. Поверхность отклика модели полноты выделения члеников редьки дикой

Из графиков (рис. 5.6 – 5.9) следует, что полнота выделения члеников редьки дикой достигает максимального значения при 10-процентных потерях семян в отходы. Наибольший эффект достигается в диапазоне значений $Q = 900 \dots 1200$ кг/ч; $\beta = 5 \dots 6^\circ$; при $n = 480 \dots 500$ мин⁻¹.

Для проверки полученных рациональных значений факторов, с помощью программы MathCAD 14 модель (5.5) исследована на условный экстремум при соблюдении ограничительных условий. Результат решения приведен в виде матрицы:

$$P = \begin{pmatrix} 5,362^\circ \\ 485,27 \text{ мин}^{-1} \\ 998 \text{ кг/ч} \end{pmatrix} \quad E(P_0, P_1, P_2) = 99,954 \%$$

Таким образом, результаты, полученные при исследовании двумерных сечений отклика критерия оптимизации, показали, что для ВПС предлагаемой конструкции могут быть рекомендованы следующие рациональные параметры и режимы работы: продольный угол наклона деки $\beta = 5 \dots 6^\circ$, частота колебаний $n = 480 \dots 500$ мин⁻¹, при подаче 1000 кг/ч, угле направленности колебаний деки $\varepsilon = 30^\circ$ и амплитуде колебаний $A = 0,015$ м.

5.3.5. Оценка влияния режимов работы вибропневмосепаратора при различных удельных нагрузках

Для определения удельных нагрузок на ВПС с предлагаемым рабочим органом и наклонным воздушным потоком были проведены эксперименты при продольном угле наклона деки – 6° и угле установки стенки – 24° . Результаты опытов приведены в таблице 5.6 [17,22].

Таблица 5.6

Оценка влияния режимов работы вибропневмосепаратора
при различных удельных нагрузках

Удельная нагрузка, кг/с·м ²	Частота колебаний, мин ⁻¹																
	470			ср.	490			ср.	510			ср.	530			ср.	
1,55	Е, %	94	95	94	94	98	97	98	98	97	96	97	97	87	86	88	87
	П, %	9	11	8	9	4	3	5	4	8	11	6	8	13	15	12	13
		490				510				530				550			
2,00	Е, %	93	92	95	93	97	96	97	97	96	95	96	96	85	87	85	86
	П, %	12	10	13	12	4	6	5	5	7	9	7	8	13	14	11	13
		510				530				550				570			
2,45	Е, %	92	93	90	92	98	97	98	98	94	93	95	94	84	85	82	84
	П, %	15	13	16	15	5	7	4	5	6	5	7	6	14	12	15	14
		530				550				570				590			
2,90	Е, %	91	90	93	91	98	97	98	98	90	91	89	90	80	79	80	80
	П, %	24	19	26	23	8	7	8	8	12	11	12	12	19	21	18	19
		550				570				590				610			
3,35	Е, %	85	85	84	85	89	88	89	89	85	83	86	85	74	76	73	74
	П, %	36	34	37	36	12	12	11	12	15	14	17	15	31	28	32	30

По результатам эксперимента были построены графические зависимости полноты выделения примесей и потерь семян от частоты колебаний деки (рис. 4.7, 4.8).

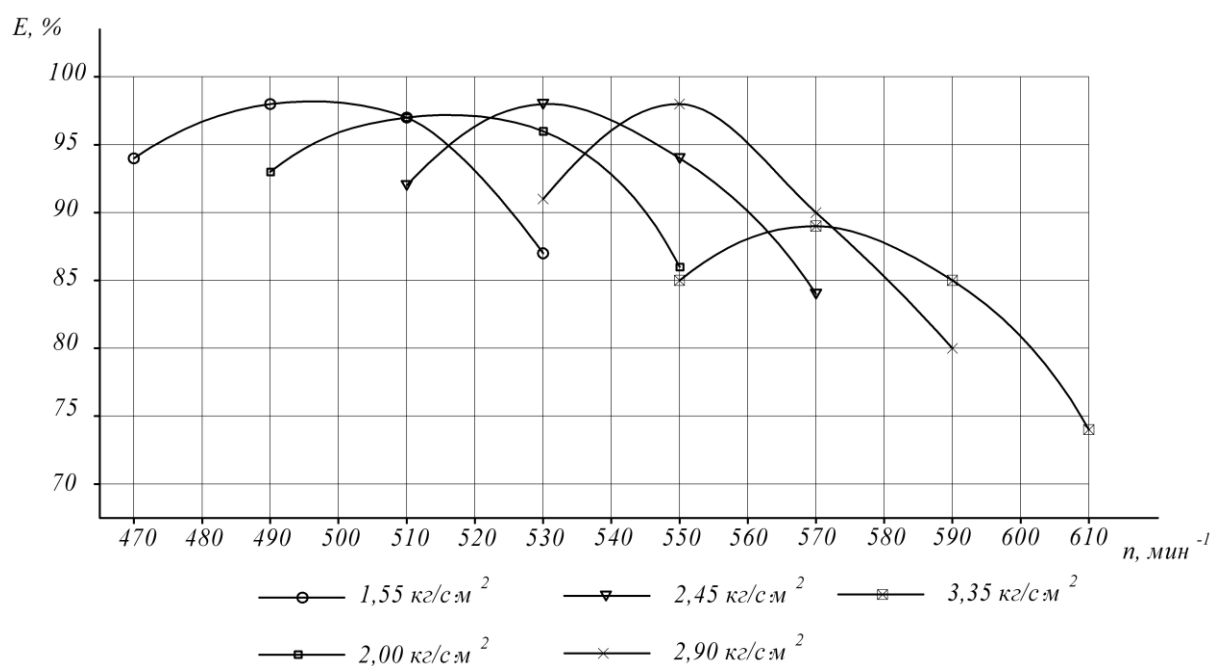


Рисунок 5.10. Влияние частоты колебания деки на полноту выделения члеников редьки дикой

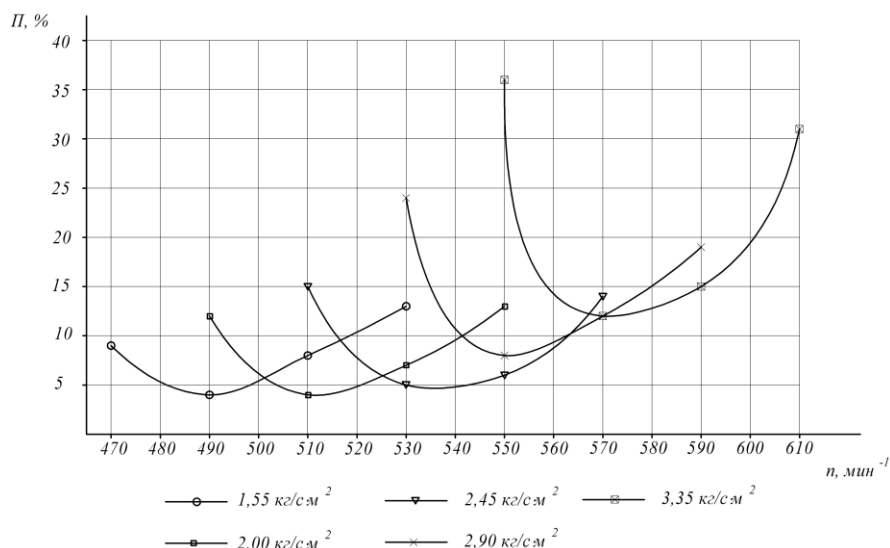


Рисунок 5.11. Влияние частоты колебания деки на потери семян в отходы

Проведенными опытами определена максимальная удельная нагрузка, составляющая $2,9 \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$, соответствующая подаче семян пшеницы 2600 кг/ч . Для этой подачи полнота выделения члеников редьки дикой составила 98% при 8% -ных потерях семян в отходы.

5.3.6. Рациональные параметры и режимы работы вибропневмосепаратора при повышенной удельной нагрузке

В качестве основных факторов, влияющих на процесс очистки семян при удельной нагрузке $2,9 \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$, соответствующей подаче $2,5 \text{ т/ч}$ приняты регулируемые параметры вибропневмосепаратора – угол продольного наклона и частота колебаний деки [18,21, 23].

Критерием оптимизации служила полнота выделения примесей при 10% -ных потерях семян в отходы. Задачу решали при реализации двухфакторного эксперимента по трехуровневому плану. Матрица плана, уровни варьирования факторов и значения критериев приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7

Матрица плана, уровни варьирования и результаты эксперимента

№ опыта	Факторы		Полнота выделения члеников редьки дикой при 10% потерях, %	Выход семян элиты, %	Полнота выделения члеников редьки дикой, %
	Продольный угол наклона деки, град	Частота колебаний деки, мин ⁻¹			
	$\beta (X_1)$	$n (X_2)$			
			$E_{10}(Y_1)$	V	E
1	4	520	94	79,57	96
2	4	550	94	87,27	97
3	4	580	88	64,16	99
4	6	520	95	89,95	96
5	6	550	98	92,44	98
6	6	580	94	80,72	99
7	8	520	92	80,47	96
8	8	550	98	85,33	99
9	8	580	95	87,44	97

Для полноты выделения низконатурных примесей получено следующее уравнение регрессии:

$$Y_1 = 98,1111 + 1,5 \cdot X_1 - 0,6667 \cdot X_2 - 2,1667 \cdot X_1^2 + 2,25 \cdot X_1 \cdot X_2 - 3,6667 \cdot X_2^2. \quad (5.11)$$

В раскодированном виде уравнение примет вид:

$$E_{10} = -1022,32 - 13,375 \cdot \beta + 4,23426 \cdot n - 0,541667 \cdot \beta^2 + 0,0375 \cdot \beta \cdot n - 0,00407407 \cdot n^2. \quad (5.12)$$

при $R^2 = 98,83 \%$

где E_{10} , Y_1 – полнота выделения низконатурных примесей при потерях семян в фуражные отходы 10 %, %; β , X_1 – угол продольного наклона деки, град; n , X_2 – частота колебаний деки, мин⁻¹.

Значения критериев Стьюдента относительно табличного значения $t = 3,28$, определяющие значимость коэффициентов регрессии для уравнения (5.12), представлены на рис. 5.12.

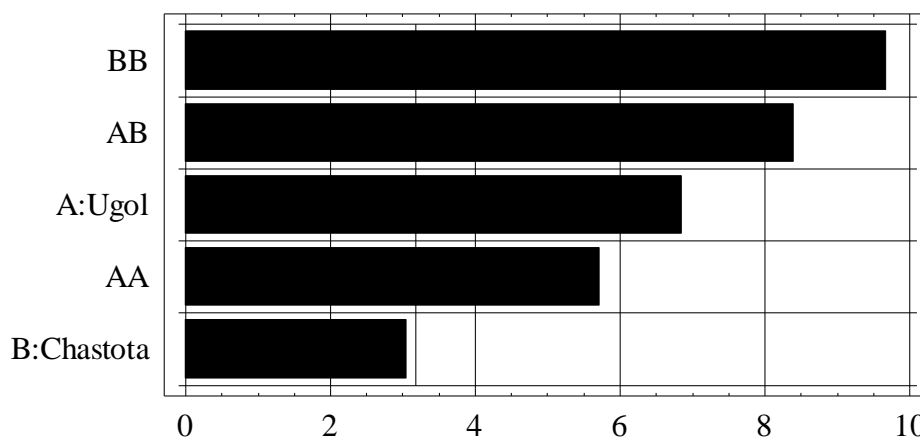


Рисунок 5.12. Значения t – критерия коэффициентов регрессии моделей для полноты выделения низконатурных примесей при 10% потерях

Из графиков на рисунке 5.12 следует, что некоторые коэффициенты регрессии оказались незначимыми.

На рисунках 5.13 и 5.14 результаты эксперимента представлены в виде двумерного сечения и поверхности отклика.

Для проверки полученных рациональных значений факторов, с помощью программы MathCAD 14 модель (5.12) исследованы на условный экстремум при соблюдении ограничительных условий. Результаты решения приведены в виде матриц:

$$P = \begin{pmatrix} 6,711^\circ \\ 550,547 \text{ мин}^{-1} \end{pmatrix} \quad E(P_0, P_1) = 98,377 \%$$

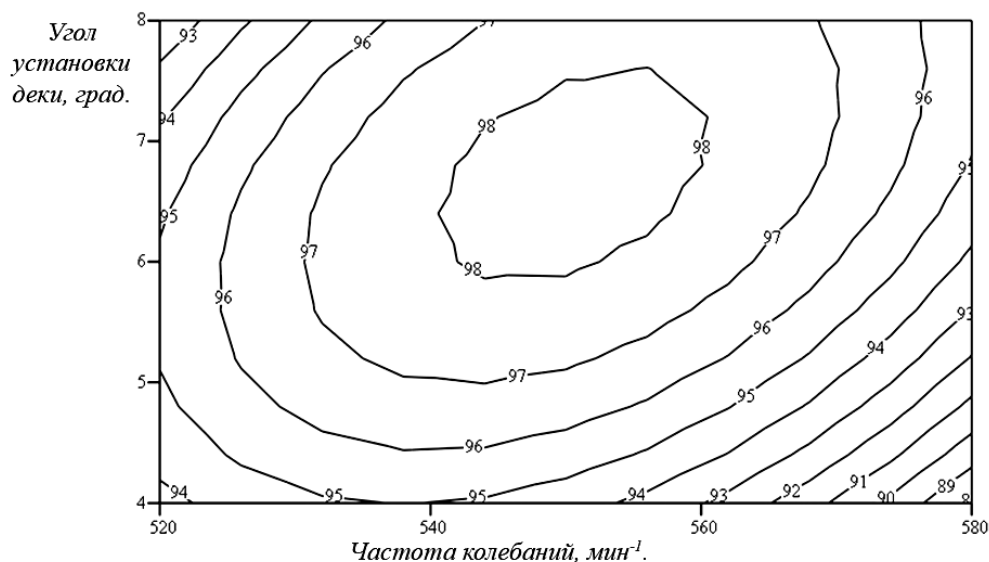


Рисунок 5.13. Двумерное сечение отклика полноты выделения примесей, относительно угла продольного наклона деки β и частоты колебаний деки n

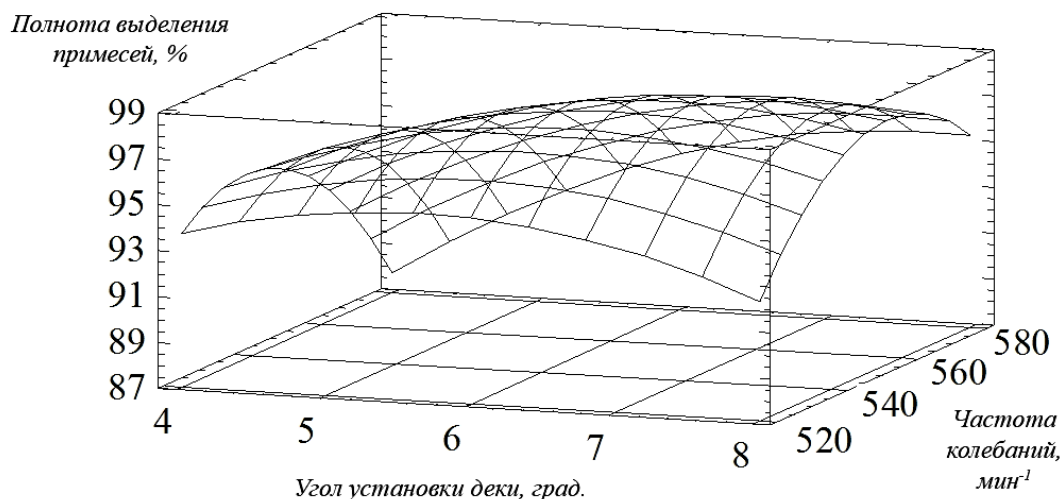


Рисунок 5.14. Поверхность отклика модели полноты выделения членков редьки дикой

Для исследуемого вибропневмосепаратора могут быть рекомендованы следующие рациональные параметры и режимы при удельной нагрузке $2,9 \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$: угол продольного наклона деки $\beta = 6 \dots 7^\circ$, частота колебаний $n = 540 \dots 560 \text{ мин}^{-1}$ при угле направленности колебаний $\varepsilon = 30^\circ$ и амплитуде колебаний $A = 0,015 \text{ м}$.

5.4. Результаты производственной проверки вибропневмосепаратора в составе семяочистительной линии

Производственные исследования проводили на семяочистительной линии (рис. 5.15) отдела семеноводства ГНУ «Пермский НИИСХ». Условия и результаты производственной проверки при настроечном значении подачи 2500 кг/ч приведены в таблице 5.8. По данным опытов построены графики (рис. 5.16).



а



б

Рисунок 5.15. Усовершенствованный вибропневмосепаратор в составе сеяноочистительной линии: а – опытный образец ВПС; б – вибропневмосепаратор в составе сеяноочистительной линии

Таблица 5.8

Условия и результаты производственной проверки вибропневмосепаратора в составе сеяноочистительной линии

Показатели	Исходный материал	Фракция, подаваемая на ВПС (после К-531)	Фракции, полученные на вибропневмосепараторе	
			I	II
Место отбора проб	1	2	3	4
Содержание примесей, %	<u>0,30*</u>	<u>0,07</u>	<u>0,01</u>	<u>0,06</u>
	0,04	0,03	0,01	0,02
Содержание семян других культурных растений, шт./кг	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>8</u>
	1	1	0	4
Содержание семян сорных растений, шт./кг	<u>167</u>	<u>8</u>	<u>1</u>	<u>32</u>
	31	2	1	12
Содержание дробленого зерна, %	<u>3,37</u>	<u>0,36</u>	<u>0,12</u>	<u>0,44</u>
	0,69	0,13	0,05	0,14
Масса 1000 зерен, г	<u>45,69</u>	<u>50,25</u>	<u>51,83</u>	<u>43,73</u>
	1,32	1,30	0,99	1,02
Объемная масса, кг/м ³	<u>774,61</u>	<u>790,52</u>	<u>798,75</u>	<u>770,02</u>
	3,514	3,90	5,21	3,07
Доля фракций, %: от подачи на линию	100,00	89,40	83,14	6,26
	–	100	92,39	7,61
Энергия прорастания, %	–	86,0	90,0	81,0
Лабораторная всхожесть, %	–	91,5	95,0	88,2
Категория семян	–	РС	ОС	–
Вероятность сохранения поля допуска РД, дол. ед. на засоренность конечного продукта поштучно-учитываемыми примесями: $\beta=0,95$	–	–	0,928	–

*– в числителе указано среднее значение, в знаменателе – среднеквадратическое отклонение

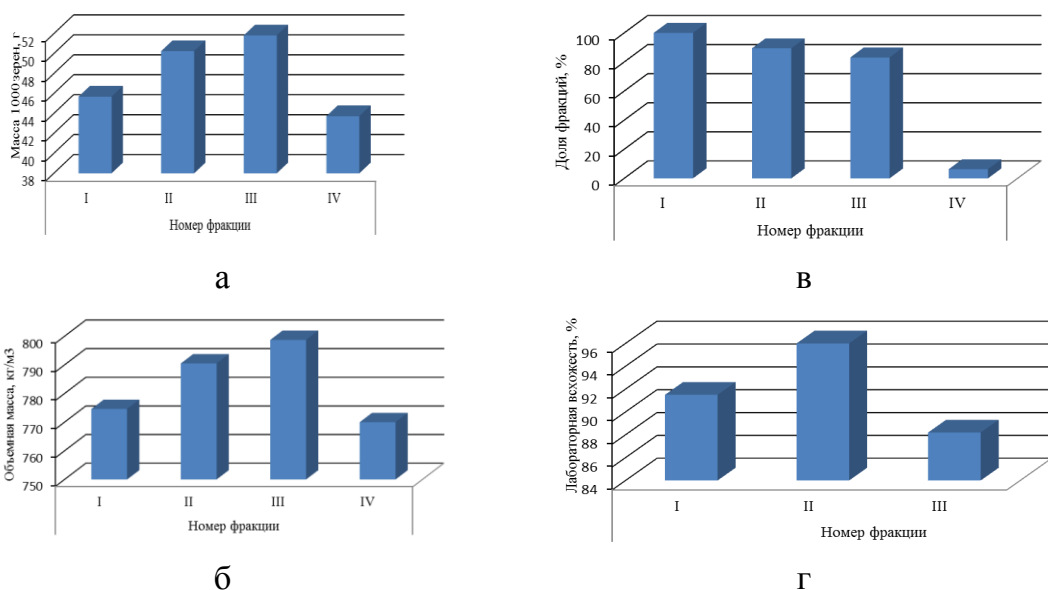


Рисунок 5.16. Показатели качества фракций (по номеру места отбора проб):
 а – масса 1000 зерен; б – натурная масса; в – доля фракций от подачи на семяочистительную линию; г – лабораторная всхожесть.
 I – исходный материал; II – материал прошедший первичную и вторичную очистку (входная фракция на ВПС); III – очищенные на ВПС семена;
 IV – фуражные отходы (после очистки на ВПС)

Производственные исследования показали, что среднее значение объемной массы материала, полученного после сепарации на ВПС, повышается более чем на 8 кг/м^3 по сравнению с зерновым материалом до обработки на ВПС, а лабораторная всхожесть семян, прошедших окончательную очистку, повысилась в среднем на 3,5 %.

Когда будешь излагать науку...
не забудь под каждым положением
приводить его практическое применение,
чтобы твоя наука не была бесполезна.
Леонардо да Винчи

Глава 6. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕПАРАЦИИ СЕМЯН В ВИБРОПНЕВМООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

Разработанные технические средства для сепарации семян в вибропневмоожиженном слое рекомендуются для использования на предприятиях, занимающихся производством оригинальных категории ОС и элитных – ЭС семян.

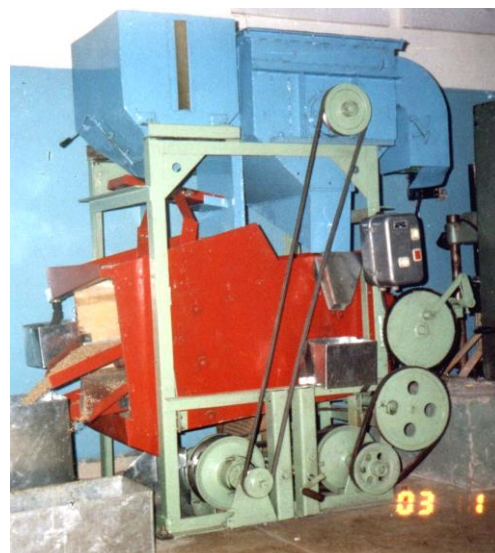
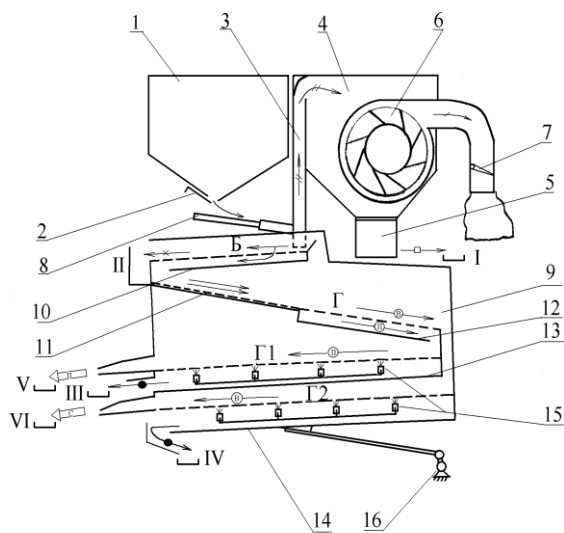
6.1. Рекомендации по использованию вибропневмосепаратора производительностью 0,5 т/ч

Вибропневмосепаратор (ВПС) производительностью 0,5 т/ч может использоваться как самостоятельно для окончательной очистки семенного материала кондиционной влажности, прошедшего, после сушки, первичную и вторичную очистку и разделение семян по длине на триере, так и в составе семяочистительной приставки.

Для использования ВПС в составе семяочистительной приставки, на кафедре сельскохозяйственных машин Пермской ГСХА разработана воздушно-решетчатая машина (ВРМ) вторичной очистки, реализующая фракционную схему разделения семян (рис. 6.1, а). Она включает бункер 1 (рис. 6.1, б) с дозирующей заслонкой 2, пневмоканал 3, осадочную камеру 4 с уплотнительным клапаном 5, вентилятор 6 с регулировочной заслонкой 7, вибрлоток 8, решетный стан 9, который подвешен к раме на подвесках, содержащий первый ярус с решетом Б и поддоном 10, второй ярус с расслоительной поверхностью 11, представляющей собой решето с отверстиями продолговатой формы 1,4×20 мм, фракционным решетом Г и поддоном 12, третий ярус с сортировальным решетом Г₁ и поддоном 13, четвертый ярус с сортировальным решетом Г₂ и поддоном 14, механизмом 15 щеточной очистки решет, приводом решетного стана 16.

Выходные части решета Г и поддона 12 второго яруса сообщены, соответственно, с решетом Г₁ третьего яруса и с решетом Г₂ четвертого яруса. Машина работает следующим образом.

Зерновая смесь из бункера 1 с заслонкой 2 подается вибрлотком 8 в пневмоканал 3, где очищается потоком воздуха, создаваемым вентилятором 6. Легкие примеси и пыль осаждаются в осадочной камере 4 и выводятся через клапан 5 из машины (выход I). Скорость воздуха в канале 3 регулируется заслонкой 7 и контролируется по началу выноса зерна в отходы.



а

б

—→ поток очищаемого материала; ≡→ — расслоенный материал; п - —роходовая фракция; с — сходовая фракция; —/→ воздушный поток с пылью; —//→ — воздушный поток с легкими примесями; —×→ — крупные примеси; —●→ — щуплое зерно и зерновая примесь; —□→ — легкие примеси; —▷→ — очищенное зерно

Рис. 6.1. Машина вторичной очистки: а – схема технологического процесса; б – общий вид; 1 – бункер; 2 – дозирующая заслонка; 3 – пневмоканал; 4 – осадочная камера; 5 – уплотнительный клапан; 6 – вентилятор; 7 – регулировочная заслонка; 8 – вибролоток; 9 – решетный стан, 10, 12, 13, 14 – поддоны; 11 – расслоительная поверхность, 15 – механизм щеточной очистки решет; 16 – привод решетного стана; I...V – выходы

Далее зерновая смесь поступает на решето Б первого яруса стана 9, где сходом выделяются крупные примеси (выход II). Проход через решето Б первого яруса поступает на расслоительную поверхность 11 второго яруса. Под действием вибрации решетного стана зерновой материал, движущийся по поверхности 11, распределяется на слои по плотности. При дальнейшем движении расслоенного материала по фракционному решету Г, имеющему отверстия круглой формы, диаметр которых больше ширины семян основной культуры, в проход поступает зерновой материал из нижних слоев, который формирует I-ю фракцию. В состав этой фракции входят, наряду с семенами основной культуры, короткие, мелкие примеси и допустимое количество длинных и трудновыделимых примесей. Эта фракция по конечной части поддона 12 поступает на решето Г₁ третьего яруса. Сходом с фракционного решета Г движется II-я фракция, формируемая из зернового материала верхних слоев. В состав этой фракции входят семена основной культуры с преимущественным содержанием длинных и трудновыделимых примесей и допустимым содержанием коротких.

II-я фракция с решета Г поступает на решето Г₂ четвертого яруса. Через решета Г₁ и Г₂ проходит мелкое и щуплое зерно основной культуры и по поддонам 13 и 14 выводятся за пределы машины (выходы III, IV). Сходы с решет Г₁ и

Г₂ представляют собой конечные продукты фракций (выходы V и VI). Очистка решет от застрявших в отверстиях зерен осуществляется щеточным механизмом 15. Привод установки осуществляется механизмом 16, который включает в себя электродвигатель 4АМ100L6У3 мощностью 2,2 кВт и номинальной частотой вращения вала 955 мин⁻¹, клиноременный вариатор, эксцентриковый механизм колебательного привода решетного стана, кривошипно-ползунный механизм щеточной очистки решет, ременные и цепную передачи привода решетного стана, вентилятора и механизма очистки решет.

Конструкция машины позволяет регулировать нагрузку на фракционное решето до 105 кг/(ч·дм²) изменением сечения выходного окна бункера, частоту колебаний – в пределах 150...700 мин⁻¹ с помощью клиноременного вариатора, амплитуду колебаний – 0,005 до 0,010 м при установке сменных эксцентриков, устанавливать сменные решета с различными размерами отверстий (табл. 6.1). Угол наклона решет к горизонту составляет 6°.

Таблица 6.1

Параметры решетных полотен машины вторичной очистки

Наименование решет	Размер, мм	Форма и размеры отверстий, мм
Колосовое Б	550×350	Ø5,0; 5,5; 6,0
Фракционное Г	550×350	Ø4,5; 4,75; 5,0
Сортировальное Г1	990×350	□ 2,0; 2,2×25
Сортировальное Г2	990×350	□ 2,2×25

Последовательно установленные машина вторичной очистки и пневмостол образуют семяочистительную приставку (рис. 6.2).

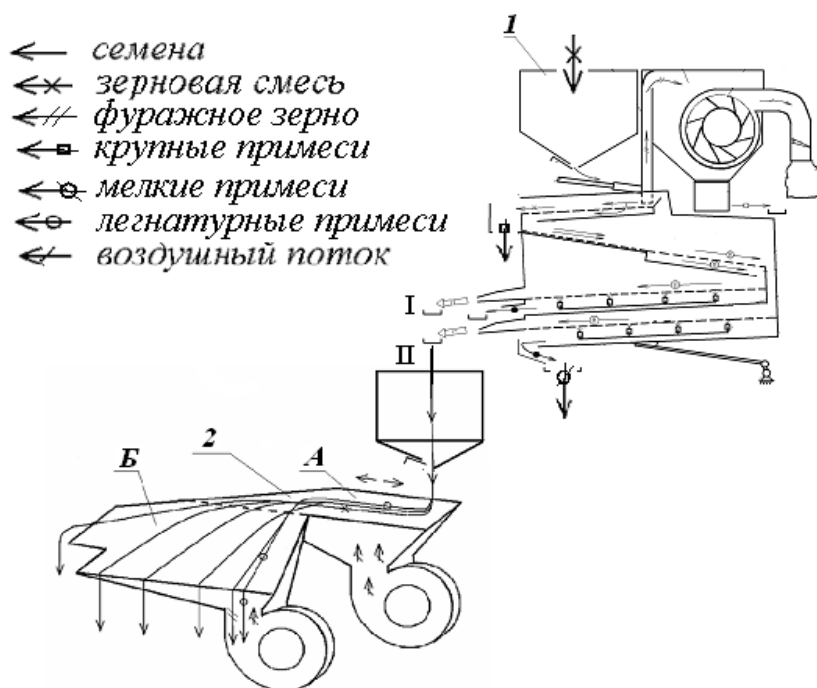


Рис. 6.2. Технологическая схема семяочистительной приставки:
 1 – воздушно-решетная машина; 2 – вибропневмосепаратор;
 А – зона расслоения деки; Б – зона транспортирования деки;
 I – первая фракция; II – вторая фракция.

Семяочистительная приставка может использоваться в виде мобильного агрегата для доведения семян до требований стандарта. В этом случае семенной материал должен пройти предварительную очистку, сушку, первичную очистку и разделение по длине на серийных машинах, имеющихся в хозяйстве, и закладывается на хранение в бункеры. После оценки посевных и сортовых качеств семян, их доочистка до требований стандарта осуществляется на семяочистительной приставке. Производительность семяочистительной приставки по исходному материалу составляет 1,0–1,25 т/ч.

Приставка работает следующим образом. Зерно, очищенное на воздушно-решетных машинах и триерах подается в бункер воздушно-решетной машины I, где после выделения крупных и мелких примесей, зерновой поток делится на две фракции I и II. Если засоренность исходного вороха низконатурными примесями составляет 50 шт./кг, то семена фракции I соответствуют требованиям к семенам элиты. Фракция II подается в бункер вибропневмосепаратора. На вибропневмосепараторе 2 по комплексу свойств выделяется семенная фракция. Режимы работы воздушно-решетной машины и вибропневмосепаратора семяочистительной приставки зависят от содержания примесей в зерновом ворохе после первичной очистки и разделения по длине.

Если в материале, подаваемом на ВРМ, среднее значение содержания низконатурных примесей составляет не более 20 шт./кг, то подачу материала необходимо установить в пределах 1,6-1,7 кг/с·м² или 1000-1200 кг/ч. Соотношение размеров отверстий и длины семян для пшеницы должно составлять 0,78-0,79 при частоте колебаний $n=450 \text{ мин}^{-1}$. При этом полнота выделения низконатурных примесей сходом с фракционного решета составит около 80%, и для проходной фракции I не потребуется обработка на ВПС, при этом её доля составит 40-45%. При выборе подсевных решет необходимо руководствоваться рекомендациями по выбору решет для соответствующей культуры.

Скорость воздушного потока в каналах аспирации регулируется заслонкой выходного окна отработавшего воздуха. Скорость воздушного потока в канале ограничивается допустимыми потерями полноценных семян в отходы.

В производственных условиях не всегда имеется возможность определения длины семян обрабатываемой культуры ввиду большой трудоемкости и отсутствия времени. Поэтому рекомендуется следующий способ настройки машины. После установки подачи материала и частоты вращения вала вибропривода на требуемую величину, фракционные решета необходимо подобрать таким образом, чтобы доля фракции I составляла 40-50%, а верхнее решето было бы покрыто зерном, но при допустимых сходах с крупными примесями.

На вибропневмосепараторе следует установить продольный угол наклона 7,5 градуса, частоту колебаний деки 520 мин^{-1} при настроечном значении подачи 520 кг/ч. При этом заслонку в приемнике обработанного материала необходимо установить в такое положение, чтобы засоренность семян не превышала требо-

ваний стандарта, а потери семян с низконатурными примесями не превышали 10%.

Если среднее значение содержания низконатурных примесей выше 50 шт/кг, то потребуется очистка обеих фракций на вибропневмосепараторе. При этом фракции следует обрабатывать отдельно, устанавливая соответствующие режимы в зависимости от их засоренности.

6.2. Рекомендации по использованию вибропневмосепаратора производительностью 1,0 т/ч

Вибропневмосепаратор (ВПС) используется в линиях фракционной очистки семян производительностью 2,0...2,5 т/ч.

Технологический процесс очистки семян в линии (рис. 6.3) происходит следующим образом.

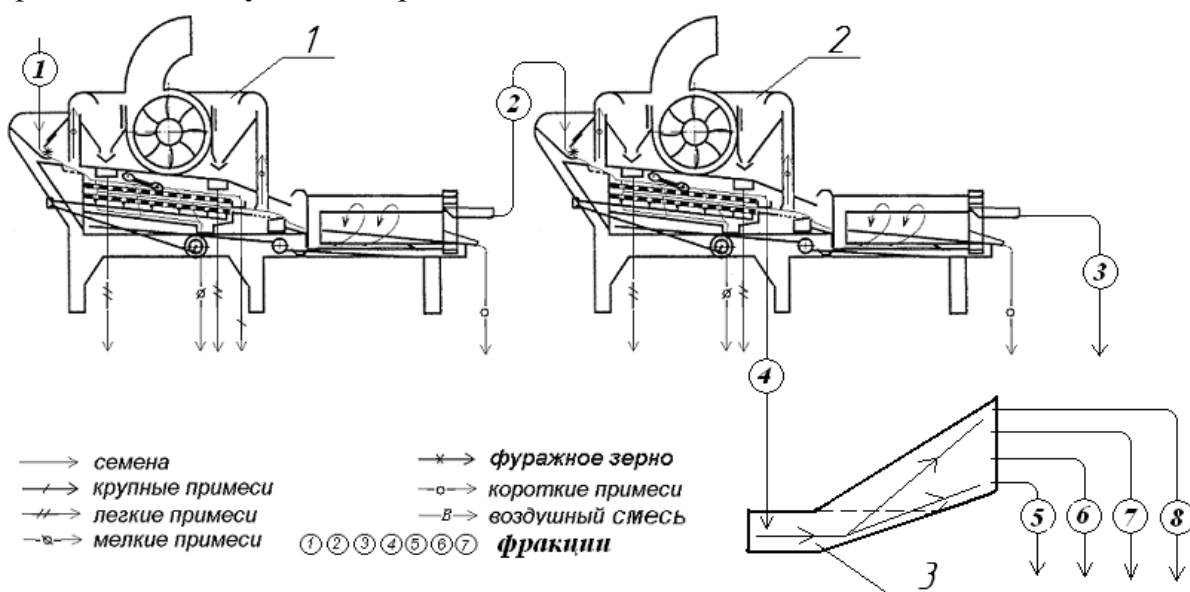


Рис. 6.3. Схема поточной линии производительностью 2,0...2,5 т/ч:
1, 2 – К-531А; 3 – ВПС

Зерновая смесь из бункера БВ-40 подается в машину первичной очистки, например, К-531А – фракция 1. Семена, прошедшие первичную очистку – фракция 2, подаются в бункер-дозатор машины вторичной очистки, работающей по фракционной технологии, на которой выделяется фракция 3 семян с допустимым содержанием низконатурных примесей. Сходовая фракция 4 с фракционного решета воздушно-решетной машины поступает на ВПС, где разделяется на 4 фракции – 5-8. Фракции 5,6,7 семян, как правило соответствуют требованиям стандарта по засоренности и всхожести к семенам категорий ОС и ЭС.

Разработанный вибропневмосепаратор может использоваться в виде мобильного агрегата для доведения семян до требований стандарта. В этом случае семенной материал должен пройти предварительную очистку, сушку, первичную и вторичную очистку и разделение по длине на серийных машинах имеющих в хозяйстве и закладывается на хранение в бункеры. После оценки посева-

ных и сортовых качеств семян, их доочистка осуществляется на разработанном вибропневмосепараторе.

Производительность семяочистительной линии по исходному материалу составляет 2,0–2,5 т/ч. Производительность разработанного вибропневмосепаратора, в зависимости от засоренности семян, составляет 500-600 кг/ч (при амплитуде $A=0,0075$ м) или 900-1100 кг/ч (при амплитуде $A=0,015$ м).

Режимы работы вибропневмосепаратора зависят от содержания примесей в зерновом материале, поступающем на окончательную очистку и разности плотностей разделяемых продуктов.

Если в материале, подаваемом на воздушно-решетную машину, среднее значение содержания низконатурных примесей составляет не более 20 шт./кг, то подачу материала необходимо установить в пределах 2000-2500 кг/ч. Соотношение диаметра отверстий фракционного решета и среднего значения длины семян для пшеницы должно составлять 0,78-0,79 при частоте колебаний $n=450$ мин⁻¹. При этом полнота выделения низконатурных примесей сходом с фракционного решета составит около 80% и для проходовой фракции не потребуются обработка на вибропневмосепараторе, при этом её доля составит 40-45%. При выборе подсевных решет необходимо руководствоваться рекомендациями по выбору решет для соответствующей культуры.

Скорость воздушного потока в каналах аспирации регулируется заслонкой выходного окна вентилятора. Скорость воздушного потока в канале контролируется по началу выноса полноценных семян в отходы и ограничивается их допустимыми потерями в отходы.

Если среднее значение содержания низконатурных примесей свыше 50 шт/кг, то потребуется очистка обеих фракций на вибропневмосепараторе, при этом фракции следует обрабатывать отдельно, устанавливая соответствующие режимы в зависимости от их засоренности. Для этого фракции, после очистки на воздушно-триерных машинах, рекомендуется направлять в разные накопительные бункеры.

Вибропневмосепаратор может быть рекомендован для окончательной очистки и сортирования семян в линиях, работающих как по базовой так и по фракционной технологиям.

При малой засоренности вороха низконатурными примесями либо при значительной разности объемных масс разделяемых компонентов, рекомендуется установить амплитуду колебаний деки $A=0,015$ м и настроить подачу материала $Q=1000$ кг/ч. Установить угол продольного наклона деки $\beta=6...7^\circ$ и частоту колебания деки $n=450...460$ мин⁻¹. Заслонку приемника фракций установить таким образом, чтобы в отходы поступало не более 10% материала. Скорость воздуха устанавливается несколько ниже скорости начала «кипения» материала. Если качество разделения не соответствует требуемому, то следует увеличить угол наклона деки, но не более чем 7° или уменьшить подачу материала.

При отсутствии в составе вороха низконатурных примесей вибропневмосепаратор может быть использован для сортирования семян по объемной массе, выделяя наиболее полноценные семена.

Рекомендованная производительность машины, при амплитуде колебания деки $A=0,015\text{м}$, составляет $1000\dots1100\text{ кг/ч}$. При увеличении засоренности семян производительность снижают до $500\dots550\text{ кг/ч}$. При этом амплитуда колебаний деки должна быть $0,0075\text{м}$, а частота $650\dots660\text{мин}^{-1}$.

Для предварительной настройки вибропневмосепаратора на заданные условия работы на основе исследований разработана номограмма (рис.6.4). После определения засоренности исходного материала низконатурными примесями, необходимо по номограмме выбрать значение подачи зернового материала. Например, при засоренности очищаемого материала 100 шт./кг на вибропневмосепаратор можно подавать зерновую смесь в количестве не более 950 кг/ч . При этом продольный угол наклона должен составлять $6,5\text{ градусов}$, а частота колебаний деки - 457мин^{-1} .

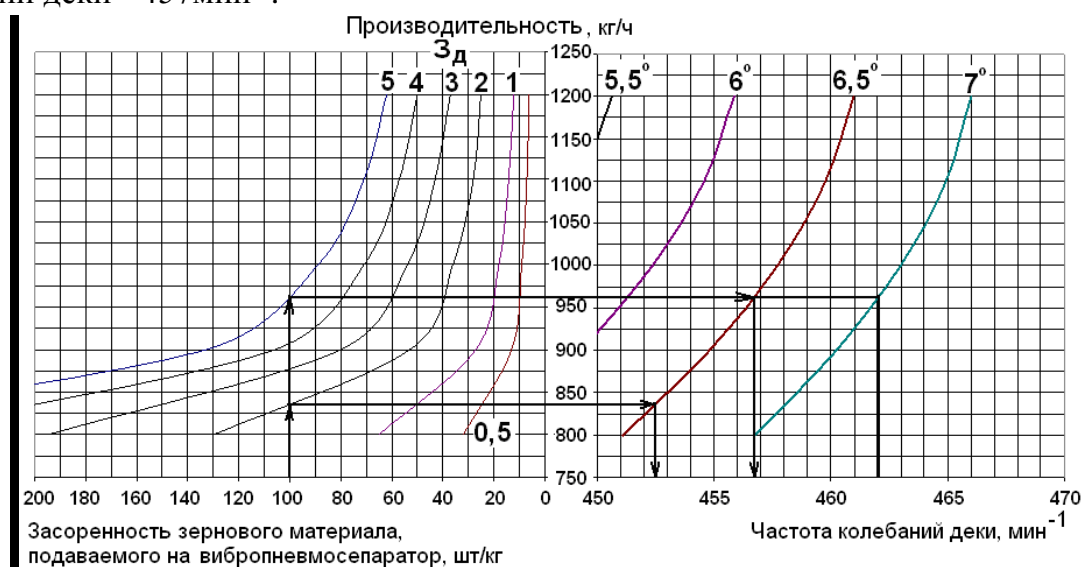


Рис. 6.4. Номограмма предварительной настройки режима работы вибропневмосепаратора (при амплитуде колебаний деки $A=0,015\text{м}$)
 Z_d – допустимая засоренность конечного продукта, шт/кг

6.3. Рекомендации по использованию вибропневмосепаратора производительностью $2,5\text{ т/ч}$

Вибропневмосепаратор, техническая характеристика которого приведена в таблице 6.1, предлагается использовать в семяочистительных линиях производительностью $1\text{ и }2,5\text{ т/ч}$, реализующих прямоточную технологию, в семеноводческих хозяйствах, занимающихся производством семян высоких репродукций.

Для этих хозяйств линия может состоять из машины первичной очистки, машины вторичной очистки, триеров и разработанного вибропневмосепаратора.

Вибропневмосепаратор может использоваться самостоятельно в виде стационарно установленной машины или мобильного агрегата для доведения семян до требований ГОСТ Р 52325-2005. В этом случае семенной материал должен пройти предварительную очистку, сушку, первичную и вторичную очистку и

разделение по длине на серийных машинах, имеющихся в хозяйстве и закладывается на хранение в бункеры. После оценки посевных и сортовых качеств семян, их доочистка осуществляется на разработанном вибропневмосепараторе.

При отсутствии в составе вороха низконатурных примесей вибропневмосепаратор может быть использован для сортирования семян по объемной массе, выделяя семена с более высокой лабораторной всхожестью.

Таблица 6.1

Техническая характеристика вибропневмосепаратора

Наименование показателей	Значение
1. Производительность, т/ч (на пшенице), при среднем значении засоренности члениками редьки дикой 100 шт./кг	2,5
2. Площадь деки, м ² .	0,27
3. Тип рабочей поверхности	Жалюзийно-просечное решето
4. Амплитуда колебаний, м	0,015
5. Частота колебаний, мин ⁻¹	480...560
6. Продольный угол наклона деки, град.	0...10
7. Поперечный угол наклона, град.	0
8. Установленная мощность, кВт	2,0
9. Габаритные размеры, Д x Ш x В, мм	1800x800x1100
10. Масса, кг	200

Для предварительной настройки вибропневмосепаратора на заданные условия работы (при подаче материала от 800 до 1200 кг/ч) на основе исследований разработана номограмма (рис.6.5). После определения засоренности исходного материала низконатурными примесями, необходимо по номограмме выбрать значение подачи зернового материала. Например, при засоренности очищаемого материала 100 шт./кг на вибропневмосепаратор можно подавать зерновую смесь в количестве не более 950 кг/ч. При этом на вибропневмосепараторе необходимо установить продольный угол наклона 6,5 градусов и частоту колебаний деки 473 мин⁻¹.

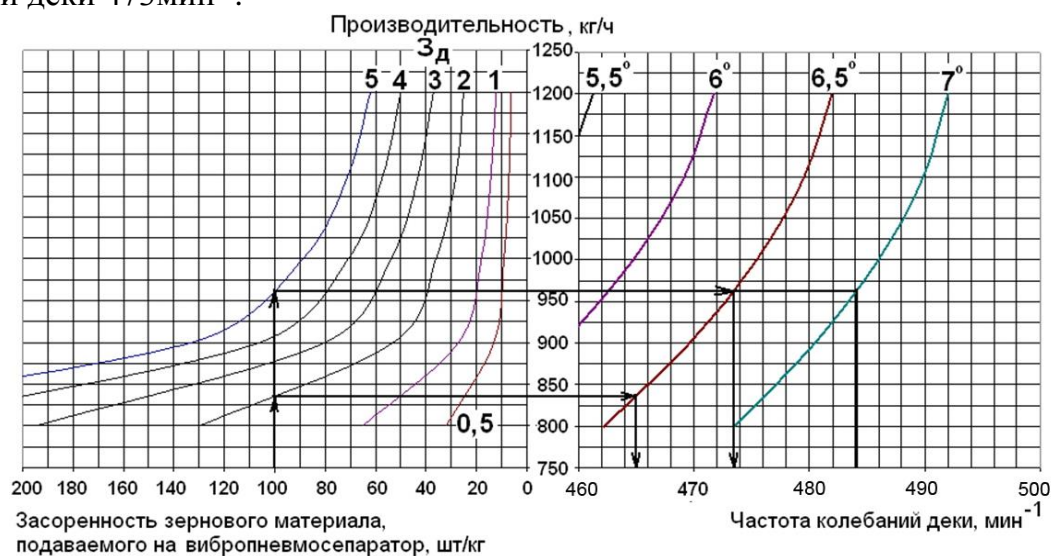


Рис. 6.5. Номограмма предварительной настройки режима работы вибропневмосепаратора (при подаче материала 800...1200 кг/ч)
 Z_d – допустимая засоренность конечного продукта, шт/кг

Для увеличения выхода семян и снижения энергозатрат, разработанный ВПС может работать в составе линий, реализующих фракционную очистку семян. При этом с производительностью 1 т/ч он может работать в составе линии 2,5 т/ч, с производительностью 2,0 и 2,5 т/ч – в линии производительностью 5 т/ч.

При засоренности материала, поступающего на вибропневмосепаратор, до 100 шт./кг он может работать с производительностью 2,5 т/ч. Номограмма для предварительной настройки ВПС при подачах от 1400 до 2600 кг/ч представлена на рисунке 6.6

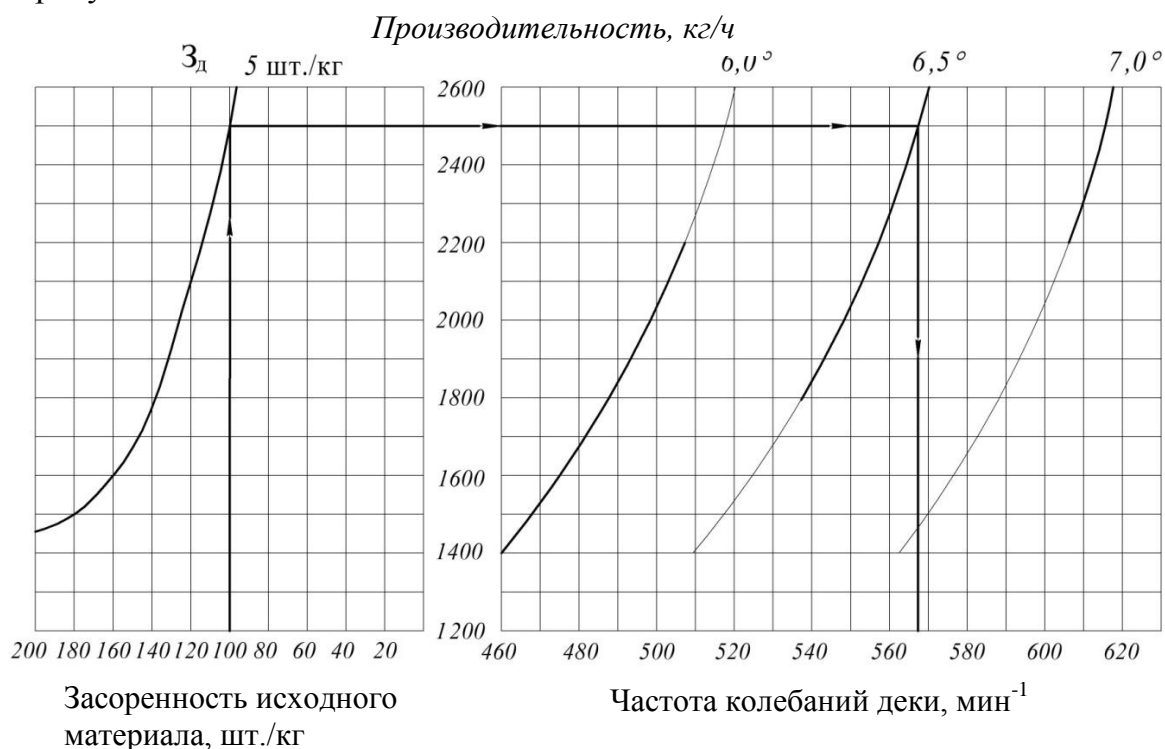


Рис. 6.6. Номограмма предварительной настройки режима работы вибропневмосепаратора (при подаче материала 1400...2600 кг/ч)

6.4. Настройка вибропневмосепараторов

Задача настройки машин на заданные условия работы заключается в установке таких величин регулировочных параметров, которые бы обеспечили максимальный выход семян с требуемыми посевными качествами.

Для достижения этой цели при заданной подаче в машине предусмотрены следующие регулировки:

- изменение продольного угла наклона деки;
- изменение частоты колебаний деки;
- изменение скорости воздушного потока;
- изменение количества материала, поступающего в выходы машины.

Настройку стола проводят согласно следующих правил и порядка.

Устанавливают продольный угол наклона деки. При этом следует помнить, что продольный наклон деки обеспечивает движение легких частиц мате-

риала, всплывших на поверхность слоя, в поперечном направлении. Поэтому, чем больше угол продольного наклона деки, тем интенсивнее происходит скатывание семян и примесей к выходу легкой фракции. Перед началом работы этот угол наклона деки устанавливают в пределах 7° . При очистке семян зерновых культур толщина слоя в зоне расслоения должна быть 35...45 мм.

Устанавливают заслонку регулятора воздушного потока в положении минимального расхода воздуха, включают стол и его пневмосистему.

Устанавливают частоту колебаний деки 390... 400 мин⁻¹.

Осуществляют подачу материала на рабочую поверхность и наблюдают за его движением до момента достижения материалом разгрузочной кромки (выходов фракций).

Далее необходимо увеличивать скорость воздушного потока. При этом зерновой слой должен «кипеть», но без образования «фонтанов». При их возникновении скорость воздушного потока следует уменьшить.

Регулируют частоту колебаний деки. Рациональной считают такую частоту, при которой зерновой слой на деке распределен равномерно.

В зависимости от схем работы стола производят установку заслонок приемника фракций. После работы и, особенно при смене обрабатываемых культур, машину очищают. Для этого стол должен поработать вхолостую при максимальной скорости воздушного потока. Контроль за полной очисткой осуществляют осмотром. Оставшиеся зерна удаляют щеткой.

Глава 7. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ СЕПАРАЦИИ СЕМЯН В ВИБРОПНЕВМООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

Технико-экономическая и энергетическая оценка проведена с учетом методики [53] для семеочистительной линии производительностью 2,5 т/ч. Критерием энергетической оценки является снижение совокупных затрат энергии при использовании усовершенствованной технологии в сравнении с базовой. Эффективность принимаемых технических и технологических решений оценивали по годовому экономическому эффекту и сроку окупаемости.

7.1 Методика энергетической оценки

Для оценки эффективности разработанных технических и технологических решений в качестве базового варианта приняли семеочистительную линию, состоящую из двух семеочистительно-сортировальных машин К-531А и пневмостола ПСС-2,5.

Энергетические показатели характеризуют собой технический уровень технологий и не зависят от конъюнктуры рынка. Степень эффективности усовершенствованных технологий, машин и их комплексов для очистки зерна и семян оценивали коэффициентом интенсификации - δ :

$$\delta = \left(1 - \frac{E}{E_0} \right) \cdot 100, \% \quad (7.1)$$

где E , E_0 – совокупные затраты энергии на осуществление очистки семян усовершенствованной технологией (комплексом машин) и базовой (заменяемой), МДж/т.

При сравнении двух технологий (машин и их комплексов) с базовой лучшей является та, которая имеет большее положительное значение δ при требуемом качестве очистки семян.

Если δ оказалось отрицательным числом, то проектируемая технология (машина, комплекс машин) менее эффективна по сравнению с базовой.

Совокупные затраты энергии для сравниваемых технологий определяли по формуле:

$$E = E_p + E_{\text{ж}} + E_m + E_n, \text{ МДж/т}, \quad (7.2)$$

где E_p - прямые затраты энергии на работу машин и оборудования, МДж/т; $E_{\text{ж}}$ – энергозатраты живого труда операторов и вспомогательных рабочих, МДж/т; E_m – энергия, требуемая на производство и обслуживание машин и оборудования, МДж/т; E_n - энергозатраты на использование помещений, МДж/т.

Энергетическая оценка спроектированной линии в сравнении с базовой проводили в следующей последовательности:

Прямые затраты энергии E_p на процесс очистки 1 т семян рассчитывали по выражению:

$$E_p = \left(\frac{N_{oo}}{Q_{oo}} \right) \cdot K_s, \text{ МДж/т}, \quad (7.3)$$

где N_{oo} – мощность двигателей, установленных на машинах в семяочистительной линии (воздушно-решетные сепараторы, триеры, вибропневмосепараторы, норрии и транспортеры), осуществляющих очистку семян после сушки, кВт; Q_{oo} – производительность отделения очистки (по входу), т/ч; K_s – коэффициент перевода кВт·ч в МДж ($K_s = 3,6$);

Удельные энергозатраты живого труда $E_{жс}$ на обработку семян определяли по выражению:

$$E_{жс} = \frac{(a_o \cdot n_{oo} + a_в \cdot n_{во})}{Q_{oo} \cdot \tau_o}, \text{ МДж/т}, \quad (7.4)$$

где $a_o, a_в$ – энергетические эквиваленты затрат живого труда операторами поточных линий и вспомогательными рабочими, МДж/чел.ч; по данным ФАО (продовольственная сельскохозяйственная организация ООН): $a_o=1,26$ МДж/чел.ч; $a_в=1,09$ МДж/чел.ч. Более легкую работу оценивают энергетическим эквивалентом 0,6...0,9 МДж, а более тяжелую 1,86...2,5 МДж/чел.ч; τ_o – коэффициент использования рабочего времени смены на очистке семян, усл. ед.; $n_{oo}, n_{во}$ – затраты труда, соответственно основных и вспомогательных рабочих на очистке:

$$n_{oo} = n_{во} = \frac{G_{сез.о}}{Q_{oo}} \cdot N_o, \text{ чел.ч}, \quad (7.5)$$

где $G_{сез}$ – сезонное поступление зерна на очистку после сушки, т; Q_{oo} – производительность отделения очистки, т/ч; N_o – количество обслуживающего персонала на очистке, чел.

Удельные затраты энергии на производство и обслуживание машин и оборудования E_m семяочистительного агрегата (включают в себя затраты энергии на производство, ремонт и техническое обслуживание) определяли по формуле:

$$E_m = \left(\frac{m_{бл.}}{T \cdot Q_{бл.} \cdot \tau} \right) \cdot a_m \cdot (a_a + a_p), \text{ МДж/т}, \quad (7.6)$$

где $m_{бл.}$ – конструктивная масса машин и оборудования для доведения зерна до требований стандартов по чистоте, кг; T – норматив годовой загрузки машин, ч; $Q_{бл.}$ – производительность фактическая на очистке, т/ч (при реконструкции комплексов вместо произведения $T \cdot Q_{бл.}$ в формулу подставляют массу высушенного зерна, подлежащего очистке); τ – коэффициенты использования времени смены; a_m – энергетический эквивалент, определяющий затраты энергии на производство 1 кг массы машин, МДж/кг ($a_m=104$ МДж/кг – для машин и оборудования для очистки зерна и семян); a_a, a_p – коэффициенты отчислений на амортизацию ($a_a = 0,11$), ремонт и обслуживание ($a_p=0,02$) машин и оборудования, усл. ед.

Данные о конструктивной массе машин приведены в технических характеристиках зерноочистительных машин.

Расчет удельных энергозатрат на использование помещений E_n для хранения зерна, проводим по формуле:

$$E_n = a_n \cdot S_n \cdot \varepsilon_n \cdot a_a \cdot \frac{t}{T_u \cdot Q_c}, \text{ МДж/т}, \quad (7.7)$$

где a_n – энергетический эквивалент (для зданий $a_n = 4810$ МДж/м²; для производственных помещений $a_n = 5025$ МДж/м²); S_n – площадь помещения, м²; ε_n – коэффициент заполнения помещения, усл. ед; t – продолжительность хранения зерна, семян, дней; T_u – возможное время использования помещения в году, дней (365 дней); Q_c – количество семян (зерна), подлежащих хранению в помещении, т.

Совокупные затраты энергии на очистку 1т семян по усовершенствованной E_y и базовой E_δ технологиям рассчитывали по формуле 7.2; Коэффициент интенсификации δ определяли по формуле 7.1.

7.2 Методика технико-экономической оценки

Годовой экономический эффект от использования усовершенствованных технологий и машин определяли по формуле:

$$\mathcal{E}_z = (Z_\delta - Z_y) \cdot Q_c + \mathcal{E}_\delta, \text{ руб.}, \quad (7.8)$$

где Z_δ , Z_y – приведенные затраты на обработку 1 т семенного вороха по базовой и усовершенствованной технологии с использованием модернизированных машин, руб./т; Q_c – количество вороха, поступившего на очистку, т; \mathcal{E}_δ – дополнительный экономический эффект от изменения количества и качества семян, руб.

Приведенные затраты, приходящиеся на 1 т зернового вороха, проходящего обработку, рассчитывали по выражению:

$$Z = \sum_{j=1}^k \left(\frac{C_{nj}}{Q_j} + K_j \cdot E \right), \text{ руб/т}, \quad (5.9)$$

где C_{nj} – прямые эксплуатационные затраты на проведение j-той операции (первичная и вторичная очистка, разделение по длине, вибропневмосепарирование, хранение), руб.; Q_j – количество зерна, прошедшего j-тую операцию, т; K_j – удельные капитальные вложения на приобретение машин для выполнения j-той технологической операции, руб./т; E – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E=0,15$); n – количество технологических операций.

Удельные капитальные вложения определяли по формуле:

$$K_j = \frac{B_j}{W_j \cdot k \cdot T_2}, \text{ руб/т}, \quad (7.10)$$

где B_j – балансовая цена j-той машины, руб.; W_j – производительность машины за 1 час сменного времени, т/ч; k – коэффициент использования сменного времени, дол. ед; T_2 – годовая загрузка машины, ч.

Прямые эксплуатационные затраты на проведение j-той операции определяли по выражению:

$$C_{nj} = Z_j + A_j + P_j + \mathcal{E}_j, \text{ руб.} \quad (7.11)$$

где Z_j – затраты на оплату труда обслуживающего персонала с отчислениями, руб.; A_j – затраты на амортизацию оборудования, осуществляющего j -тую операцию, руб.; P_j – затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования для проведения j -той операции, руб.; \mathcal{E}_j – прямые затраты энергии на работу технических средств для очистки и транспортирования зерна и др., руб.

Затраты на заработную плату определяли исходя из сдельных расценок, тарифных ставок в соответствии с принятыми нормами и системами оплаты труда в хозяйстве. Зарботную плату операторов, работающих на очистке семян, определяли из выражения:

$$Z_0 = \frac{C_{To} \cdot K_{cl} \cdot (1 + K_{don}) \cdot \beta}{W_{чо}} \cdot Q_0, \text{ руб.} \quad (7.12)$$

где $C_{то}$ – тарифная ставка оператора, обслуживающего семяочистительную линию, при очистке семян с конкретной засоренностью, руб./ч; K_{cl} – коэффициент сложности работы; K_{don} – коэффициент, учитывающий дополнительную оплату за получение семян I класса по чистоте; β – коэффициент отчислений на социальные нужды ($\beta=0,261$); $W_{чо}$ – производительность семяочистительной линии по входу, т/ч; Q_0 – количество семян, полученных на линии, т;

Затраты на амортизацию определяли по формуле:

$$A_j = 0,01 \cdot B_j \cdot \alpha_j, \text{ руб.} \quad (7.13)$$

где B_j – балансовая стоимость оборудования, осуществляющего очистку семян, руб.; α_j – коэффициент отчислений на амортизацию агрегата, %.

Затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт машин семяочистительной линии определяют по формуле:

$$P_j = 0,01 \cdot B_j \cdot r_{tj}, \text{ руб.} \quad (7.14)$$

где r_{tj} – коэффициент отчислений на техническое обслуживание и текущий ремонт машин и оборудования, %.

Прямые затраты на электроэнергию определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_j = q_э \cdot \mathcal{U}_э, \text{ руб.} \quad (7.15)$$

где $q_m, q_э$ – количество израсходованной электроэнергии на осуществление очистки семян, кг, кВт·ч.; $\mathcal{U}_э$ – цена 1 кВт·ч электроэнергии, руб./кВт·ч;

Количество израсходованной электроэнергии вычисляли по формуле:

$$q_э = \sum_{j=1}^k \frac{N_j}{W_j} \cdot Q_j, \text{ кВт·ч.} \quad (7.16)$$

где N_j – мощность электродвигателей, установленных на оборудовании и машинах семяочистительной линии, кВт; W_j – производительность машин, осуществляющей очистку и транспортирование зерна, т/ч. Q_j – количество зерна или семян, прошедших очистку, т.

Дополнительный экономический эффект при использовании модернизированной семяочистительной линии от увеличения выхода биологически ценных

семян (или снижения их потерь в отходы) и их реализации рассчитывали по формуле:

$$\mathcal{E}_d = (Q_{1y} - Q_{1б}) C_{1c}, \text{ руб.} \quad (7.17)$$

где Q_{1y} , $Q_{1б}$ – количество семян элиты, полученных по усовершенствованной и базовой технологиям, т; C_{1c} – цена реализации семян элиты, руб./т.

В усовершенствованной технологии для вторичной очистки используется воздушно-решетчатая машина К-531А работающая по фракционной технологии, при этом за счет применения фракционной технологии около 50 % семян подвергаются обработке на вибропневмосепараторе.

Срок окупаемости новых или модернизированных машин, реализующих усовершенствованную технологию очистки семян (при снижении себестоимости технологических операций) определяли по формуле:

$$T = \frac{K}{\mathcal{E}_2}, \text{ год,} \quad (7.18)$$

где K – капитальные вложения в комплекс машин для реализации усовершенствованной технологии, руб.

При этом должно соблюдаться условие: $T < T_n$, где T_n – нормативный срок окупаемости дополнительных капитальных вложений ($T_n = 6,7$ года).

7.3 Результаты энергетической и технико-экономической оценки семяочистительной линии с использованием разработанного вибропневмосепаратора производительностью 1 т/ч

Исходные данные для расчета основных показателей энергетической и технико-экономической оценки приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1

Исходные данные для технико-экономической оценки усовершенствованной семяочистительной линии

Наименование показателей	Базовая линия	Усовершенствованная линия
	К-531А + К-531А + ПСС-2,5	К-531А + К-531А + предлагаемый ВПС
1. Производительность линии за 1 час основного времени, т/ч	2,5	2,5
2. Годовая загрузка машин, т	1250	1250
3. Балансовая стоимость оборудования, руб.		
в том числе машин:		
первичной очистки и триерования	140000	140000
вторичной очистки	140000	140000
окончательной очистки	160000	80000
4. Коэффициент использования эксплуатационного времени, долей.	0,81	0,81
5. Амортизационные отчисления, %	11	11
6. Отчисления на ремонт и техническое обслуживание, %	2	2
7. Установленная мощность электродвигателей, кВт	17,6	13,05
8. Стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч	3	3
9. Энергетический эквивалент машин, МДж/кг	104	104
10. Масса машин и оборудования, кг	3340	2840

Балансовую стоимость рассчитывали исходя из цены реализации машин и оборудования по состоянию на 01.12.08 (по данным ОАО «ПЕТКУС-СНАБ» г. Псков) с учетом увеличения стоимости на 20% при монтаже и стоимости транспортировки.

Установленная мощность электродвигателей и масса машин и оборудования взяты из их технических характеристик. Показатели разработанного вибропневмосепаратора определены опытным путем, а масса взвешиванием. Цену вибропневмосепаратора принимали по цене аналогов. Производительность вибропневмосепаратора обеспечивала требуемые показатели его работы.

Расчетные показатели экономической эффективности приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2

Расчетные показатели технико-экономической оценки семяочистительной линии

Наименование показателей	Базовая линия	Усовершенствованная линия
	К-531А + К-531А + ПСС-2,5	К-531А + К-531А + разработанный ВПС
1. Количество получаемых семян, т	981,25	1056,25
2. Расходы на заработную плату, руб	74241	79916
3. Расходы на электроэнергию, руб	26400	19575
4. Затраты на амортизацию, руб	48400	39600
5. Затраты на ремонт и техническое обслуживание, руб	8800	7200
6. Прямые эксплуатационные затраты, руб	157841	146291
7. Удельные капиталовложения, руб./т	174	142
8. Приведенные затраты, руб./т	179	160
9. Годовой экономический эффект, руб.	-	923750
10. Срок окупаемости, лет	-	0,39
11. Прямые энергозатраты, МДж/т	25,3	18,8
12. Коэффициент интенсификации, %	-	25,7

Использование разработанного вибропневмосепаратора в линии производительностью 2,5 т/ч фракционной очистки семян дает годовой экономический эффект 923750 рублей от увеличения выхода семян и снижения энергозатрат на их очистку при сроке окупаемости линии 0,39 года.

Расчеты показали, что экономический эффект увеличивается при использовании линии производительностью 10 т/ч, работающей по фракционной технологии, с использованием отечественного пневмосортировального стола МОС-9Н, триерного блока ЗАВ 10.90.000А и воздушно-решетной машины, реализующей первичную и вторичную очистку с использованием узлов ЗВС-20А за счет снижения затрат электроэнергии более чем на 30% и сокращения потерь полноценных семян в отходы не менее чем на 30%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для очистки семенного материала от трудноотделимых примесей или выделения из семенного материала наиболее всхожих зерен, целесообразно использовать, после отделения примесей по аэродинамическим свойствам, толщине, ширине, длине семян, сепарацию семян в вибропневмооживленном слое.

Для реализации этой технологии используют пневматические сортировальные столы (вибропневмосепараторы), разделяющие зерновую смесь по комплексу физико-механических свойств, основным из которых является плотность. Кроме этого, разделение по плотности позволяет выделить наиболее ценную, в биологическом отношении, часть семян. Посев семенами, отсортированными на вибропневмосепараторах, дает прибавку урожая сельскохозяйственных культур и позволяет снизить массу высеваемого материала на единицу площади.

В настоящее время в России выпускают вибропневмосепараторы производительностью (по пшенице) от 0,2 до 6 т/ч. Зарубежные фирмы предлагают пневмосортировальные столы производительностью от 0,2 до 10 т/ч («Petkus», Германия), от 2 до 15 т/ч («Damas», Швеция), от 1,5 до 18 т/ч («Westrup», Дания и другие, в том числе с компьютерным управлением процесса разделения семян. В мукомольной промышленности используют комбинированные машины, совмещающие функции концентратора для классификации продукта по удельному весу и камнеотборника.

На кафедре сельскохозяйственных машин и оборудования Пермского ГАТУ разработаны варианты вибропневмосепараторов, отличающихся конструкцией деки и технологическим процессом работы. Вибропневмосепаратор производительностью 0,5 т/ч отличается возможностью отдельного регулирования скорости воздушного потока в зонах расслоения и транспортирования. У вибропневмосепаратора производительностью 1,0 т/ч дека установлена с постоянным поперечным углом наклона равным 0° , что упрощает его настройку при подготовке семенного материала. Кроме этого он имеет пневмосистему вакуумного типа. Вибропневмосепаратор производительностью 2,5 т/ч при поперечном угле наклона равном 0° , имеет наклонный воздушный поток и увеличенную амплитуду колебаний деки, позволившие повысить удельную нагрузку.

Разработанные вибропневмосепараторы рекомендуется применять как отдельные машины для очистки малых партий семян от трудноотделимых примесей и для повышения всхожести партии семян путем отбора наиболее плотных зерновок, так и для использования в поточных линиях очистки семян производительностью 1,0-5,0 т/ч с предварительным разделением семенного материала в виброоживленном слое на решетке по технологии, разработанной в Пермском ГАТУ.

В первом варианте использования семенной материал должен быть высушен и очищен на воздушно-решетных машинах и триерах. При этом подачу

очищаемого материала на ВПС необходимо осуществлять из бункера емкостью не менее 0,1 м³ с заслонкой для регулировки расходной характеристики.

При высокой культуре земледелия, а, следовательно, низкой засоренности исходного материала трудноотделимыми примесями (овсюг, членики редьки дикой, свербига) возможно использование ВПС в составе линии, с получением части полноценных семян без обработки их на вибропневмосепараторе. В этом случае производительность всей линии может превышать производительность вибропневмосепаратора до 2 раз. Применение разработанного вибропневмосепаратора в линии производительностью 2,5 т/ч фракционной очистки семян дает годовой экономический эффект 923750 рублей от увеличения выхода семян и снижения энергозатрат на их очистку при сроке окупаемости линии менее года.

Расчеты показали, что при использовании линии производительностью 10 т/ч, работающей по фракционной технологии, с использованием отечественного пневмосортировального стола МОС-9Н и воздушно-решетной машины, разработанной в Пермском ГАТУ, затраты электроэнергии на очистку посевного материала снижаются более чем на 30%, а потери полноценных семян в отходы сокращаются не менее чем на 30%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Библиографический список к главе 1

1. Андреев, В.Л. Повышение эффективности очистки семян зерновых культур в условиях Евро-Северо-Восточного региона путем разработки и совершенствования технологий и воздушно-решетных машин. Дисс. ... д-ра техн. наук / В.Л. Андреев – Киров.: 2005. – 477 с.
2. Анискин, В.И. Засоренность посевного материала и пути её снижения / В.И. Анискин, А.С. Матвеев // Селекция и семеноводство. – 1987. - №3. – С.48-50.
3. Бабченко, В.Д. Выбор параметров пневматических сортировальных столов/ В.Д. Бабченко, В.М. Дринча // Сборник научных трудов ВИМ. - М., 1987. - Т.112. – С. 113-128.
4. Бабченко, В.Д. Обоснование размеров деки пневматического сортировального стола / В.Д. Бабченко, В.М. Дринча // НТБ ВИМ. – М., 1987. – Вып. 68. – С.43-45.
5. Бабченко, В.Д. Очистка семян от трудноотделимых примесей. / В.Д. Бабченко, В.Н. Минаев // Селекция и семеноводство. – 1973. - №5. – С.68-71.
6. Бабченко, В.Д. Обоснование параметров пневмостола производительностью 5 т/ч. / В.Д. Бабченко, В.Н. Богачкин. // НТБ ВИМ, М., 1978. – №37. С.11-15.
7. Блехман, И.И. Вибрационное перемещение./ И.И. Блехман, Ю.Г. Джанелидзе. – М.: Наука. 1964. – 410 с.
8. Блехман, И.И. Движение частицы в колеблющейся среде при наличии сопротивления типа сухого трения (к теории вибрационного разделения сыпучих смесей) / И.И. Блехман, В.В. Гортинский, Г.Е. Птушкина // Известия Академии Наук СССР. Механика и машиностроение. – 1963. - №4. – С. 31-41.
9. Блехман, И.И. К теории разделения сыпучих смесей под действием колебаний / И.И. Блехман, В.Я. Хайнман // Механика твердого тела. – 1968. - №6. – С. 5-13.
10. Блехман, И.И. О теории вибрационного разделения сыпучих смесей / И.И. Блехман, В.Я. Хайнман // Известия Академии наук СССР. Механика. - М.: Наука, 1965, №5. – С. 22-30.
11. Блохин, П.В. Аэрогравитационный транспортер / П.В. Блохин – М.: Колос, 1974. – 120с.
12. Бортников, А.И. Определение формы деки пневмосортировального стола / А.И. Бортников, В.Д. Шафоростов // Бюллетень научно-технической информации по масличным культурам ВНИИМК - Краснодар, 1980. - – вып. 30. – С. 36-43.
13. Бурков, А.И. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчет и испытания / А.И. Бурков, Н.П. Сычугов. - Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. – 261 с.
14. Бурков, А.И. Повышение эффективности функционирования пневмосистем зерно- и семяочистительных машин совершенствованием их технологического процесса и основных рабочих органов: Автореф. дисс. ... доктора технических наук / А.И. Бурков - -. -Петербург – Пушкин, 1993. – 38 с.
15. Бутковский, В.А. Технологическое оборудование мукомольного производства. / В.А. Бутковский, Г.Е. Птушкина – М.: ГП «Журнал Хлебопродукты», 1999.—208с.
16. Гальперин, Н.И. Основы техники псевдоожижения / Н.И. Гальперин, В.Г. Айнштейн, В.Б. Кваша. – М.: Колос, 1967. – 415 с.
17. Геркулесов, Ю.Л. Исследование влияния параметров пневматического сортировального стола на технический процесс. Автореф. дисс... кандидата технических наук / Ю.Л. Геркулесов. 1972. – 18с.
18. Гладков, Н.Г. Зерноочистительные машины. Конструкция, расчет, проектирование и эксплуатация. Изд. 2-е перер. и доп. / Н.Г. Гладков - М.: Машгиз, 1961. – 246с.
19. Гортинский, В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин – М.: Колос, 1973. - 295 с.
20. ГОСТ Р 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. // Семена сельскохозяйственных растений. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2005.-24с.
21. Дринча, В.М., Борисенко И.Б. Применение и функциональные возможности пневмосортировальных столов./Научно-практический журнал НВ НИИСХ, №2 (83), 2008.С.33-35.
22. Дринча, В.М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки. / В.М. Дринча.—Воронеж. Издательство НПО «МОДЭК», 2006.—384с.
23. Дринча, В.М. и др. Технологические основы применения пневматических сортировальных столов в сельском хозяйстве. /Дринча В.М., Павлов С.А., Бабченко В.Д., Домбровский

- С.Б., Кремнев А.Н., Турищев Н.Ф., Панкратов В.Г., Яковлев С.Я. – М.: Россельхозакадемия, 2003. – 98 с.
24. Дринча, В.М. Исследование параметров вибропневмосепараторов с прямоточной декой. / В.М. Дринча, Л.М. Сукокин // Техника в сельском хозяйстве. – 1997. - №6. – С.21-27.
25. Дринча, В.М. Исследование процессов разделения зерновых материалов на вибропневмосепараторах. / В.М. Дринча, Л.М. Сукокин, В.А. Ведениев // Достижения науки и техники АПК. – 1994. - №6. – С.37-40.
26. Дринча, В.М. Исследование способов псевдооживления зерновых материалов / В.М. Дринча, С.С. Ямпиллов // Вестник Российской академии с/х наук. – 1998, № 6 - С. 73-74.
27. Дринча, В.М. Исследования вибросепараторов с плоскими цилиндрическими деками / В.М. Дринча // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2001. - № 5. - С. 6-10.
28. Дринча, В.М. Исследования делителей псевдооживленного слоя для вибропневмосепараторов. / В.М. Дринча, Л.М. Сукокин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1997. - №5. – С.36-38.
29. Дринча, В.М. Направления производства конкурентноспособной техники для очистки зерна и семян / В.М. Дринча, С.С. Ямпиллов // Техника и оборудование для сена. – 1999. - № 3-4. - С. 10-12.
30. Дринча, В.М. Новый пневматический сортировальный стол / В.М. Дринча // Земледелие. – 1997. - №5. – С. 39-40.
31. Дринча, В.М. Обоснование технологии подготовки высококачественных семян для фермерских хозяйств. / В.М. Дринча // Новый фермер. – 1997. - №3. – С.33-34.
32. Дринча, В.М. Основы подготовки высококачественных семян. / В.М. Дринча // Вестник семеноводства СНГ. – 1997. - №4. – С.36-37.
33. Дринча, В.М. Процессы сепарации зерновых материалов в вибропсевдооживленных слоях. / В.М. Дринча, Л.М. Сукокин // Достижения науки и техники АПК. – 1995. - №6. – С.25-27.
34. Дринча, В.М. Разделение семян на плоских решетках при низходящем воздушном потоке / В.М. Дринча // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1997. - №11. – С. 29-31.
35. Дринча, В.М. Рациональные параметры деки пневматического сортировального стола / В.М. Дринча, С.А. Павлов, Б.И. Шахсаидов, С.В. Ратенков, В.С. Стягов // Тракторы и сельхозмашины. – 2002. - № 2. - С.25-28.
36. Дринча, В.М. Результаты очистки семян пшеницы на пневматическом сортировальном столе. / В.М. Дринча // Тр.ВИМ. – М., 1987. – Т.112. – С.72-78.
37. Дринча В.М. Совершенствование операций при очистке зерновых материалов / В.М. Дринча, И.А. Пехальский, Н.В. Пехальская //Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1996. - №10. – С. 16-18.
38. Дринча, В.М. Сравнительные испытания трех типов вибропневмосепараторов / В.М. Дринча // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2000. - № 2. - С.66-69.
39. Дринча, В.М. Технологии обработки семян бобовых трав на сепараторах. / В.М. Дринча // Селекция и семеноводство. – 1997. - №3. – С.27-29.
40. Дринча, В.М. Технологические и технические решения очистки и сортирования при подготовке высококачественных семян зерновых культур: Автореф. дисс... доктора технических наук / В.М. Дринча. - М., 1997. – 51 с.
41. Дринча, В.М. Технология очистки зерновых материалов для фермерских хозяйств. / В.М. Дринча, Л.М. Сукокин // Земледелие. – 1997. - №3. – С.36-38.
42. Дринча В.М. Физические основы расслоения семян в вибропсевдооживленном слое / В.М. Дринча, В.С. Стягов //Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. - №7. – С. 20-22.
43. Дринча, В.М. Физические основы сепарации семян в псевдооживленном слое / В.М. Дринча, С.А. Павлов. // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2001. - № 2. - С. 41-42.
44. Дрогалин, К.В. Очистка семян от трудноотделимых примесей / К.В. Дрогалин и др. - М.: Колос, 1978. – С.27с.
45. Ермольев, Ю.И. Перспективные технологии и технические средства для очистки зерна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. - №6. – С. 28-29.
46. Ермольев, Ю.И. Современные технологии и технические средства для комплексной

- очистки зерна / Ю.И. Ермольев, М.В. Щелков. // Доклады. Российской сельскохозяйственной академии. – 1998. - № 3. - С. 41-44.
47. Ермольев, Ю.И. Современные технологии и технические средства для поточной очистки зерна / Ю.И. Ермольев, М.В. Щелков, В.Г. Новиков, И.Ю. Ермольева, А.Н. Капустян // Динамика, прочность и надежность сельскохозяйственных машин: Сб. науч. тр. - Ростов на Дону, 1997. - С. 53-58.
48. Ермольев, Ю.И. Технологические основы интенсификации процесса сепарации зерна воздушно-решетными зерноочистительными машинами и агрегатами: Автореф. дисс. ... доктора технических наук / Ю.И. Ермольев. - Ростов на Дону, 1990. – 45 с.
49. Ефимов, Н.С. Некоторые вопросы повышения эффективности работы пневмостолов / Н.С. Ефимов // Труды Вологодского молочного института. - Вологда, 1970. Вып 58. – С. 116-125.
50. Желтухин, Б.В. Теоретические основы разделения семян по удельному весу на пневматических сортировальных столах / Б.В. Желтухин // Земледельческая механика. - М., 1971. – Т. 13. – С. 179-189.
51. Заика, П.М. Динамика вибрационных зерноочистительных машин / П.М. Заика – М.: Машиностроение. 1977, - 305с.
52. Заика, П.М. Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств / П.М. Заика, Г.Е. Мазнев – М.: Колос, 1978. – 287с. ил.
53. Зюлин, А.Н. Актуальные проблемы и перспективы послеуборочной обработки зерна и подготовки семян. // Машинные технологии и техника для производства зерновых, масличных и зернобобовых культур. Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции «Земледельческая механика в растениеводстве». Том 3, часть 2.- М.: ВИМ. 2001. – С. 54-62.
54. Зюлин, А.Н. Исследование делимости зерновых смесей по комплексу свойств: Сб. науч. тр. ВИМ. – М., 1987. – Т. 112. – С. 59-79.
55. Зюлин, А.Н. Математическая модель просеивания зернового материала через блок решет. / А.Н. Зюлин, С.С. Ямпиллов // НТБ ВИМ., 1991. - Вып. 47. - С.24-28.
56. Зюлин, А.Н. Перспективы развития зерно-семяочистительной техники // Механизация уборки, послеуборочной обработки и хранения урожая сельскохозяйственных культур: Сб. науч. тр. ВИМ. – М.: Информагротех, 2000. – Т.132. – С. 70-73.
57. Зюлин, А.Н. Разработка метода расчета технологии очистки семян. / А.Н. Зюлин, А.Т. Турабаев, Б.Б. Куйбаков // НТБ ВИМ., 1994. - Вып. 88. - С. 21-23.
58. Зюлин, А.Н. Теоретические проблемы развития технологий сепарирования зерна / А.Н. Зюлин. - М.: ВИМ, 1992. – 208 с.
59. Зюлин, А.Н. Технологические основы интенсификации процесса сепарации зерна по комплексу признаков делимости: Автореферат дис. канд. техн. наук / А.Н. Зюлин. - М., 1988. – 68с.
60. Зюлин, А.Н. Фракционные технологии очистки зерновых культур / А.Н. Зюлин, В.М. Дринча, С.С. Ямпиллов // Земледелие. – 1998. - №6. - С. 39.
61. Каленюк, Н.М. К определению оптимальных режимов очистки реальной зерновой смеси в псевдооживленном слое./ Н.М. Каленюк // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 1978. - №1. – С.83-88.
62. Каленюк, Н.М. Некоторые вопросы теоретического исследования гидродинамики и механизма расслоения зерновой смеси в псевдооживленном слое. / Н.М. Каленюк // СХИ – Барнаул, 1978. – Вып.28. – С.60-67.
63. Климок, А.И. Выбор признака для сортирования семян. / А.И. Климок, М.М. Пучков // Совершенствование технологии и организации уборки и послеуборочной обработки зерна. – Новосибирск, 1983, - С.52-57.
64. Климок, А.И. Выбор размерного признака разделения семян на фракции / А.И. Климок, Н.Ф. Конченко // Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1972. - Вып. 62. – С. 286-289.
65. Климок, А.И., Обоснование и выбор признаков сепарации при фракционировании семян // А.И.Климок, М.М. Пучков. Развитие комплексной механизации производства зерна с учетом зональных условий. – М.: ВИМ, 1982. – С. 188-190.
66. Козий, А.Б. Вибросепарация семян зерновых культур / А.Б. Козий // Механизация и автоматизация технологических процессов в агропромышленном комплексе. Ч. 4 - М, 1986. – 14с.

67. Корн, А.М. ВИМ: от ручной веялки до зернообрабатывающего завода—развитие и реализация технической мысли по зерноочистке.— М.:ВИМ. 2006.—72с.
68. Косилов, Н.И. Интенсификация сепарирования зернового вороха: Дисс... доктора техн. наук / ЧИМЭСХ – Челябинск, 1989. –С.62 с.
69. Космовский, Ю.А. Исследование сепарации семян в псевдооживленном слое / Ю.А. Космовский // Труды ВИМ, 1971. - Т. 55. – С. 67-75.
70. Космовский, Ю.А. Сепарация зернового материала на пневматических сортировальных столах. / Ю.А. Космовский // Труды ВИМ – М., 1977. – Т.74. – С.122-129.
71. Кузнецова, Н.И. Сепарирование продуктов шелушения проса в псевдосжиженном слое: Дисс... канд. техн. наук / МТИИП, 1977.С. -172с.
72. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. Л.:Госсельхозиздат.1955.-764с.
73. Листопад, Г.Е. Вибросепарация зерновых смесей / Г.Е. Листопад. – Волгоград, 1963. – 116 с.
74. Мазнев, Г.Е. Совершенствование средств очистки и сортирования семян по комплексу физико-механических свойств / Г.Е. Мазнев // Механизация и автоматизация технических процессов в агропромышленном комплексе: Науч. тр. – М., 1996. – Ч. 4. – С. 6.
75. Майсуриян, Н.А. Биологические основы сортирования семян по удельному весу / Н.А. Майсуриян // Тр. ТСХА. - М., 1947. - Вып. 3. С.12-20с.
76. Матвеев, А.С. К определению трудноотделимых семян культурных и сорных растений в семенах зерновых культур / А.С. Матвеев // Сб. науч. тр. ВИМ, 1987. - т. 112. - С. 20-43.
77. Матвеев, А.С. О технологии и технических средствах очистки и сортирования зерна и семян / А.С. Матвеев // Развитие комплексной механизации производства зерна с учетом зональных условий. - М.: ВИМ, 1982. - С.181-183.
78. Матвеев А.С. Фракционная технология очистки зерна с использованием универсального сепаратора / Матвеев А.С., Зюлин А.Н. // НТБ ВИМ, М.: ВИМ, 1983. – Вып. 53. - С. 28-31.
79. Машины окончательной очистки семян МОС-9С и МОС-9Н: Руководство по эксплуатации. – Воронеж, 2002. – 35с.
80. Минаев, В.Н. Пути повышения производительности зерноочистительных машин / В.Н. Минаев, Х. Регге // Техника в сельском хозяйстве. – 1990. - №1. - С.16-17.
81. Миневиц, С.М. Использование пневмостолов для очистки мелкой фракции пшеницы от примесей. / С.М. Миневиц, В.М. Цециновский // Тр. ВНИИЗ. – М., 1974. – Вып.79. – С.134-143.
82. ОСТ 70.10.2-83. Зерноочистительные машины, агрегаты, зерноочистительно-сушильные комплексы: Программа и методы испытаний. Введ. 01.06.84 – Госкомсельхозтехника СССР, 1984. - -72с.
83. Павлов, С.А., Пехальский И.А., Дринча В.М. Состояние и задачи научно-технического обеспечения машинной подготовки семян // Механизация уборки, послеуборочной обработки и хранения урожая сельскохозяйственных культур: Сб. науч. тр. ВИМ. – М.: Информагротех, 2000. – Т.132. – С. 73-79.
84. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях./В.В.Гортинский и др. М.:Колос. 1980.-304с.
85. Стол пневматический сортировальный СПС-5: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Черкасы, 1983. – 52с.
86. Суконкин, Л.М. Аэродинамические параметры деки вибропневмосепаратора / Л.М. Суконкин // Исследование и создание рабочих органов машин для уборки и послеуборочной обработки зерновых культур: Труды ВИСХОМ. М., 1982. – С.49-60.
87. Суконкин, Л.М. Исследование воздушных систем пневмосортировальных столов / Л.М. Суконкин // Исследование технических процессов и рабочих органов машин для уборки сельскохозяйственных культур: Труды ВИСХОМ. - -, 1978. – Вып. 94. С –. 39-72.
88. Суконкин, Л.М. Исследование процессов разделения зерновых материалов на вибропневмосепараторах / Л.М. Суконкин, В.М. Дринча, В.А. Веденеев // Достижения науки и техники АПК. – 1994. - № 6. С.- 37-40.
89. Суконкин, Л.П. Разделение зерновых материалов на решетчатых сепараторах / Л.М. Суконкин, В.М. Дринча // Тракторы и сельхозмашины. – 1997. - № 1. - С.28-33.
90. Суконкин, М.М. Исследования и разработка прямооточного вибропневмосепаратора семян / М.М. Суконкин, В.А. Веденеев // Перспективы развития и повышения технического уровня машин для уборки и послеуборочной обработки зерна: Труды ВИСХОМ. - М. 1986. – С. 71-83.

91. Сыромятников, Н.И. Процессы в кипящем слое / Н.И. Сыромятников, В.Ф. Волков. – М.: Металлургиздат, 1959. – 248с.
92. Тарасенко А.П. Современные машины для послеуборочной обработки зерна и семян. – М.: КолосС, 2008. – 232 с.
93. Технология муки, крупы и комбикормов : учебное пособие. О.Н. Чеботарев, А.Ю. Шаззо, Я.Ф. Мартыненко. - Москва ; Ростов на Дону : МарТ, 2004. - 687 с.
94. Ульрих, Н.Н. Методы агрономической оценки эффективности машинного сортирования семян / Н.Н. Ульрих // Тр. ВИМ. - М. 1961. Т..30. – С. 4-34.
95. Ульрих, Н.Н. Механизация подготовки и хранения семян / Н.Н. Ульрих. – М.: Сельхозгиз, 1962. – 340 с.
96. Ульрих, Н.Н. Научные основы очистки и сортирования семян / Н.Н. Ульрих. - М.: ВИМ, 1937. - 87 с.
97. Ульрих, Н.Н. Новое в области очистки и сортирования семян. – М.: Сельхозгиз, 1937. – 69 с.
98. Ульрих, Н.Н. О движении материала по рабочим органам сельскохозяйственных машин / Н.Н. Ульрих // Научно-технический бюллетень ВИМ. - М., 1968. – Вып. 4. – С. 3-4.
99. Ульрих, Н.Н. Статистический метод исследования как основа для выбора рационального технологического процесса очистки и сортирования семян / Н.Н. Ульрих // Механизация и электрификация сельского хозяйства СССР. - М., 1959. - С. 225-245.
100. Ульрих, Н.Н. К методике оценки разделения зернового материала при сравнительных испытаниях машин / Н.Н. Ульрих, Ю.А. Космовский // Научно-технический бюллетень ВИМ, 1975. - Вып. 25. С. 32-35.
101. Хавыев, А.А. Повышение эффективности очистки элитных семян пшеницы от низконатурных примесей путем разработки семяочистительной приставки производительностью 1 т/ч. – Дисс. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург-Пушкин. 2004. 213 с.
102. Цециновский, В.М. Совершенствование техники и технологии очистки и сортирования семян / В.М. Цециновский // Тр. ВНИИЗ – зерноград: ВНИИЗ 1970.- Вып. 69. –с.11-51.
103. Цыбулевский, Ю.Г. Оптимизация технологического процесса сепарирования семян пшеницы на пневмосортировальных столах. Дисс... канд. техн. наук. - -, 1970. М.- 55с.
104. Чижиков, А.Г. Состояние и перспективы развития механизации послеуборочной обработки и хранения зерна и семян / А.Г. Чижиков // Достижения науки и техники АПК. – 2001. - №11. – С.17-20.
105. Членов, В.А. Виброкипящий слой / В.А. Членов, Н.О. Михайлов. - М.: Наука, 1972. – М.-41с.
106. Шафоростов, В.Д. Технология и оборудование для удаления склерациев белой гнили из семян подсолнечника / В.Д. Шафоростов и др. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. - №6. – С. 11-13.
107. Яковлев, С.Я. О совершенствовании очистки семян на пневмостолах / С.Я. Яковлев, В.Ф. Евтягин // Стимулирование производства в АПК в условиях самофинансирования. - –988. – С.102-106.
108. Ямпиллов, С.С. Технологическое и техническое обеспечение ресурсоэнергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян: Автореф. дисс. ... доктора технических наук / С.С. Ямпиллов - М.: 1999. – М.-43 с.
109. Яременко, М.К. Исследование работы пневматического сортировального стола. // Труды ВИМ, т.17.– М.,1952.
110. Яременко, М.К. Интенсификация технического процесса пневматического сортировального стола / М.К. Яременко // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1971. - №9. – С. 40-44.
111. Aufbereitung von Getreide und Saatgut. Technologische Verfahren, Prozesse, Ausrüstungen und Anlagen der Getreide – und Saatgutlagerwirtschaft./ J. Feustel, G. Hemedinger, U. Niemann, H. Pohler, W. Schinkel, J. Weise / Federführung: Fachschuldozent. Dr. Jurgen Feustel – Leipzig: Fachbuchvere., 1987. - 335 s.
112. Baker, K.D., Stroshine R.L., Maggee K.J. Grain damage and dust generation in a pressure system. Transactions of the ASAE. 1986, vol.29, №3. - S.840...847.

Библиографический список к главам 2, 3, 4, 5, 6, 7

1. Блехман, И.И. О теории вибрационного разделения сыпучих смесей / И.И. Блехман, В.Я. Хайнман // Известия Академии наук СССР. Механика. М.: Наука, 1965, №5. – С. 22-30.
2. Валге, А.М. Обработка экспериментальных данных и моделирование динамических систем при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства. – СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2002. – 176 с.
3. Витько, В.Н. Моделирование процесса разделения зерновых смесей на решетном и вибропневматическом сепараторах./В.Н.Витько, В.Д.Галкин.//Технологические процессы и технические средства заготовки и использования кормов в условиях Нечерноземной зоны РСФСР. Сборник научных трудов. Выпуск 46.НИПТИМЭСХ НЗ РСФСР. Л.: 1985.С.50-55.
4. Галкин, В.Д. Линия для очистки малых партий семян /В.Д. Галкин, А.А. Хавыев, В.П. Соловьев //Земледелие. - №3. - 2003. - С. 39.
5. Галкин, В.Д. Поточная линия для очистки семян по усовершенствованной технологии /В.Д. Галкин, А.А. Хавыев, В.П. Соловьев //Материалы XLII научно-технической конференции Челябинского агроинженерного университета. Ч. 2. /Челябинский ГАУ - Челябинск: ЧГАУ. - 2003. - С. 71-73.
6. Галкин, В.Д. Семяочистительная приставка и результаты ее исследования /В.Д. Галкин, А.А. Хавыев, В.П. Соловьев /Аграрная наука на рубеже веков: материалы Всероссийской научно-практической конференции (4-6 сентября 2003 г., г. Красноярск) / Красноярский ГАУ. – Красноярск: Красноярский ГАУ, 2003. - С. 58-59.
7. Галкин, В.Д. Оптимизация параметров и режимов работы вибропневмосепаратора производительностью 0,5 т/ч /В.Д. Галкин, А.Ф. Кошурников, А.А. Хавыев, В.А. Хандриков //Достижения науки – агропромышленному производству: материалы XLIV международной научно-технической конференции. Ч. 2. – Челябинск: ЧГАУ, 2005. - С. 169-172.
8. Галкин, В.Д. Повышение эффективности технологического процесса вибропневмосепаратора семян /В.Д. Галкин, А.А. Хавыев, В.А. Хандриков //Пермский аграрный Вестник: сборник научных трудов. Вып.1(13). Материалы XXXIII Всероссийской научно-практической конференции ученых и специалистов, посвященной 60-ю Победы в ВОВ 1941-1945 гг. (29-31 марта 2005 г., г. Пермь) /Пермская ГСХА. - Пермь, 2005. - С. 211-214.
9. Галкин, В.Д. Агротехническая оценка вибропневмосепаратора зерна с усовершенствованным рабочим процессом /В.Д. Галкин, В.А. Хандриков //Разработка и внедрение технологий и технических средств для АПК Северо-Восточного региона: материалы Международной научно-практической конференции (10-11 июля 2007 г.). – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2007. - С. 178-181.
10. Галкин, В.Д. Рациональные параметры и режимы работы вибропневмосепаратора с усовершенствованной декой. /В.Д. Галкин, А.А. Хавыев, В.А. Хандриков, К.А. Грубов //Инновационное развитие АПК. Итоги и перспективы: материалы Всероссийской научно-практической конференции (6-9 февраля 2007 г., г. Ижевск). Т. 3 /Ижевская ГСХА. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2007. - С. 3-7.
11. Галкин, В.Д. Технология подготовки малых партий семян с усовершенствованным рабочим процессом окончательной обработки /В.Д. Галкин, А.А. Хавыев, В.А. Хандриков, К.А. Грубов //Материалы международной научно-практической конференции (26-28 февраля 2007 г.) Т. 2. Современные проблемы технологии производства, хранения, переработки сельскохозяйственной продукции. – Мичуринск, 2007.- С. 238-242.
12. Галкин, В.Д. Совершенствование очистки семян на поточных линиях /В.Д. Галкин, В.А. Хандриков //Труды Кубанского ГАУ: научный журнал. - Вып.5(14). - 2008. - С. 194-197.
13. Галкин, В.Д. Совершенствование очистки семян на вибропневмосепараторе /В.Д. Галкин, К.А. Грубов //Труды Кубанского ГАУ: научный журнал. - Вып.5(21). - 2009. - С. 244-246.
14. Галкин, В.Д. Вибропневмосепаратор для подготовки семян /В.Д. Галкин, К.А. Грубов //Сельский механизатор. – 2010. - №2. - С. 15.
15. Галкин, С.В. Параметры и режимы окончательной очистки семян от овсюга по усовершенствованной технологии /С.В. Галкин, И.П. Мингалиев // Молодежная наука 2010: технологии, инновации: материалы LXX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 80-летию Пермской ГСХА /Пермская ГСХА. - Пермь: Пермская ГСХА, 2010. - С. 65-67.
16. Галкин, В.Д. Вибропневмосепаратор семян с усовершенствованной декой. /В.Д. Галкин, К.А. Грубов. //Тракторы и сельхозмашины. №4, 2011.-С.12-13.
17. Галкин, В.Д. Параметры и режимы работы усовершенствованного вибропневмосепаратора семян / В.Д. Галкин, К.А. Грубов //Аграрная наука Евро-Северо-Востока. Вып. №2(21). – Киров,

2011. - С. 67-70.

18.Галкин, В.Д. Повышение эффективности очистки семян пшеницы от члеников редьки дикой и овсюга на вибропневмосепараторе усовершенствованной конструкции /В.Д. Галкин, К.А. Грубов, В.А. Хандриков, А.А. Хавыев, И.П. Менгалиев, К.С. Килин, И.Ю. Козловский, С.А. Ахидов //Инновации аграрной науки - предприятиям АПК: материалы Международной научно-практической конференции (24-25 апреля 2012 г., г. Пермь). Ч. 2. – Пермь: Пермская ГСХА, 2012. - С. 82-87.

19.Galkin, V. Increase of efficiency of cleaning of seeds on a vibration pneumatic separator /V. Galkin, V. Hanlrikov, K. Grubov, I. Kozlovskiy //Механизация на земеделието (София). - 2013. - №4, 2013. - С. 7-10.

20.Галкин, В.Д. Исследование процессов движения и разделения компонентов семенной смеси в вибропневмооживленном слое /В.Д. Галкин, А.А. Хавыев, В.А. Хандриков, К.А. Грубов, И.П. Менгалиев, К.С. Килин, И.Ю. Козловский //Пермский аграрный вестник. – 2013. - №3(3). - С. 20-23.

21.Галкин, В.Д. Скорость движения семян по деке вибропневмосепаратора усовершенствованной конструкции и оценка его работы при повышенной нагрузке/ В.Д.Галкин, А.А.Хавыев, В.А.Хандриков, К.А. Грубов, И.Ю. Козловский В.У. Горбунов И.П. Менгалиев,С.В. Галкин П.С. Серебренников // Пермский аграрный вестник: научно-практический журнал. – 2015. - №1(9). - С. 24-33.

22.Галкин, В.Д. Оценка работы вибропневмосепараторов усовершенствованной конструкции при очистке семян от низконатурных примесей./В.Д.Галкин, А.А.Хавыев, В.А.Хандриков, К.А.Грубов, С.В.Галкин/ Пермский аграрный вестник: научно-практический журнал. – 2017. - №1(7). - С. 65-72.

23.Горбунов, В.У. Влияние режимов работы вибропневмосепаратора на параметры псевдооживленного слоя семян при повышенных удельных нагрузках /В.У. Горбунов, К.С. Килин, Д.П. Гилев, М.С. Гостев, А.С. Накаряков, П.С. Серебренников, И.Е. Кожин //Молодежная наука 2011: технологии, инновации: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (16-17 марта 2011г.). Ч. 3. – Пермь: Пермская ГСХА, 2011. - С. 47-48.

24.Килин, К.С. Вибропневмосепараторы семян и их совершенствование /К.С. Килин, В.У. Горбунов //Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. (16-17 марта 2011г.). Ч. 3 /Пермская ГСХА. – Пермь: Пермская ГСХА, 2011. - С. 62-64.

25.Кириянов, Д.В.Самоучитель MathCAD/Д.В.Кириянов. С.-Пб. БХВ 2001. -544.

26.Космовский Ю.А. Исследование сепарации семян в псевдооживленном слое / Ю.А. Космовский // Труды ВИМ - М., 1971. - Т. 55. – С. 67-75.

27.Космовский, Ю.А. Сепарация зернового материала на пневматических сортовых столах. / Ю.А. Космовский // Труды ВИМ – М., 1977. – Т.74. – С.122-129.

28.Кошурников, А.Ф. Анализ технологических процессов, выполняемых сельскохозяйственными машинами, с помощью ЭВМ: Учеб. Пособие. В 2 ч. Ч. 2. / А.Ф. Кошурников, Д.А. Кошурников, А.А. Кыров – Пермь.: Пермск. с.-х. инст-т, 1998. – 381 с.

29.Макаров Е.В.Инженерные расчеты в MathCAD:учебный курс/Е.В.Макаров. С.-Пб. Питер, 2003.-448.

30.Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. - М.: Колос, 1982. - –68 с.

31.Менгалиев, И.П. Влияние скорости наклонного воздушного потока на показатель качества работы усовершенствованного вибропневмосепаратора /И.П. Менгалиев, К.С. Килин, И.Ю. Козловский, С.А. Ахидов, П.С. Калашников, Р.Г. Сединин, А.В. Киселев, С.Ю. Деткин, В.С. Накаряков //Молодежная наука 2013: технологии, инновации: материалы LXXIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (11-15 марта 2013 г., г. Пермь). Ч. 3 /Пермская ГСХА. – Пермь: Пермская ГСХА, 2013. - С. 335-336.

32.Менгалиев, И.П. Исследование процесса очистки семян пшеницы от овсюга на вибропневмосепараторе усовершенствованной конструкции /И.П. Менгалиев, К.С. Килин, С.А. Ахидов, П.С. Серебренников, Р.Г. Сединин, Ю.Н. Казанцев //Молодежная наука 2012: технологии, инновации: материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) молодых ученых, аспирантов и студентов (13-14 марта 2012г.). Ч. 3 /Пермская ГСХА. – Пермь: Пермская ГСХА, 2012. - С. 289-290.

33.Менгалиев, И.П. Режимы разделения семян подсолнечника на усовершенствованном вибропневмосепараторе /И.П. Менгалиев, К.С. Килин, С.А. Ахидов, П.С. Калашников // Молодежная наука 2013: технологии, инновации: материалы LXXIII Всероссийской научно-практической

- конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (11-15 марта 2013 г., г. Пермь). Ч. 3 / Пермская ГСХА. – Пермь: Пермская ГСХА, 2013. - С. 333-334.
34. Новоселов, В.Г. Повышение эффективности выделения низконатурных примесей из зерновых смесей / В.Г. Новоселов, В.А. Михайлов // Пермский аграрный вестник. Вып. V. Студенческая наука Прикамья – проблемы регионального развития: тезисы докладов LVIII – LIX межвузовских конференций аспирантов и студентов / Пермская ГСХА. – Пермь: Пермская ГСХА, 2001. - С. 153-154.
35. Вибропневмосепаратор: патент на полезную модель 33552 Рос. Федерация. - Оpubл. 27.10.2003. - Бюл. №30.1с.
36. Семеочистительная приставка: пат. 2236777 Рос. Федерация; опубл. 27.09.2004. - Бюл. №27.3с.
37. Агрегат для очистки семян: пат. 2275002 Рос. Федерация; опубл. 27.04.2006. - Бюл. №12.3с.
38. Дека вибропневмосепаратора: пат. 58288 на полезную модель Рос. Федерация; опубл. 27.11.2006. - Бюл. №33.1с.
39. Комбинированная машина для разделения сыпучих материалов: пат. на полезную модель 58287 Рос. Федерация; опубл. 27.11.2006. - Бюл. №33.1с.
40. Способ разделения зерновых смесей: пат. 2340410 Рос. Федерация; опубл. 10.12.2008. - Бюлл. №34.3с.
41. Вибропневмосепаратор: пат. на полезную модель 89325 Рос. Федерация; публ. 10.12.2009. - Бюл. №34.1с.
42. Дека вибропневмосепаратора: пат. 2347352 Рос. Федерация; опубл. 27.02.2009. - Бюл. №6. 3с.
43. Вибропневмосепаратор: пат. 25511086 Рос. Федерация; опубл. 20.05.2015. Бюл. №14.с.
44. Серебренников, П.С. Универсальный агрегат для очистки зерна и семян и направления его совершенствования / П.С. Серебренников, П.С. Калашников, А.В. Федосеев // Молодежная наука 2014: технологии, инновации: материалы Всероссийской научно-практической конференции (11-14 марта 2014г.). Ч. 4 / ред. Ю.Н. Зубарев [и др.]. - Пермь: Прокрость, 2014. - С. 5-9.
45. Суконкин, Л.М. Исследование процессов разделения зерновых материалов на вибропневмосепараторах / Л.М. Суконкин, В.М. Дринча, В.А. Веденеев // Достижения науки и техники АПК. – 1994. - № 6. - С. 37-40.
46. Суконкин, М.М. Исследования и разработка прямоточного вибропневмосепаратора семян / М.М. Суконкин, В.А. Веденеев // Перспективы развития и повышения технического уровня машин для уборки и послеуборочной обработки зерна: Труды ВИСХОМ. – —, 1986. – С. 71-83.
47. Тюрин, Ю.Н. Статистический анализ данных на компьютере. / Ю.Н. Тюрин, А.А. Макаров. Под ред В.Э. Фигуринова. М.: Инфра 1998. - 528с.
48. Ульрих, Н.Н. К методике оценки разделения зернового материала при сравнительных испытаниях машин / Н.Н. Ульрих, Ю.А. Космовский // Научно-технический бюллетень ВИМ, 1975. - Вып. 25. С. 32-35.
49. Хавыев, А.А. Повышение эффективности очистки элитных семян пшеницы от низконатурных примесей путем разработки семеочистительной приставки производительностью 1 т/ч: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Хавыев А.А. - Санкт-Петербург, 2004. - 213 с.
50. Хавыев, А.А. Параметры и режимы работы усовершенствованного вибропневмосепаратора / А.А. Хавыев, В.А. Хандриков, К.А. Грубов // Пермский аграрный вестник. Вып. XVII, ч. 2. Вклад молодых ученых в развитие АПК: материалы LXVI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (10-12 апреля 2007 г.). – Пермь: Пермская ГСХА, 2007. - С. 73-75.
51. Хандриков, В.А. Повышение эффективности работы семяочистительных линий для обработки малых партий семян пшеницы путем совершенствования технологии и машины окончательной очистки: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Хандриков В.А. - Санкт-Петербург, 2009. – 197 с.
52. Шафоростов, В.Д. Совершенствование процесса сортирования семян подсолнечника и клещевины на пневматическом сортировальном столе. Дисс. ... канд. техн. наук. Краснодар. 1985. - 175с.
53. Шпилько, А.В. Экономическая эффективность механизации сельскохозяйственного производства / А.В. Шпилько, В.И. Драгайцев, Н.М. Морозов, Л.Н. Кабанов, А.С. Миндрин, Л.М. Цой. – М., 2001- 346с.

Посевные качества семян кормовых и медоносных трав

Культура	Категория	Содержание семян				Всхожесть, % не менее	Влажность, % не более
		основной культуры, % не менее	других видов трав, % не более	сорняков, не более			
				всего, %	в т.ч. наиболее вредных, шт/кг		
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>1. Многолетние злаковые кормовые травы</i>							
Бекмания обыкновенная	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,5	200	80	15
		92	0,5	1,0	300	75	15
Бескильница расставленная	ОС - РСп	90	0,5	1,0	300	75	15
Двукосточник тростниковый	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,4	240	75	15
		92	0,5	0,6	320	75	15
Ежа сборная	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,5	200	75	15
		90	0,5	0,8	300	70	15
Житняк	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,5	200	80	15
		95	0,5	1,0	300	75	15
Кострец безостый, прямой	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,4	240	80	15
		92	0,5	1,5	320	75	15
Лисохвост луговой	ОС, ЭС, РС, РСп	85	0,5	0,5	200	75	15
		80	0,5	1,0	300	70	15
Лисохвост тростниковый	ОС - РСп	85	0,5	1,0	300	60	15
Ломкоколосник ситниковый	ОС, ЭС, РС, РСп	90	0,5	0,4	240	75	15
		85	0,5	0,8	320	65	15
Мятлик луговой	ОС, ЭС, РС, РСп	90	0,5	0,8	400	70	15
		85	0,6	1,5	600	60	15
Мятлик болотный	ОС - РСп	85	0,6	1,5	400	50	15
Овсяница бороздчатая, овечья	ОС - РСп	90	0,5	1,0	300	50	15
Овсяница красная	ОС, ЭС, РС, РСп	90	0,5	0,5	200	75	15
		85	0,5	1,0	300	65	15
Овсяница луговая	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,5	200	85	15
		92	0,5	0,8	300	80	15
Овсяница тростниковая	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,5	200	80	15
		92	0,5	0,8	300	70	15
Полевица гигинтская	ОС, ЭС, РС, РСп	90	0,5	0,4	400	80	15
		85	0,5	0,8	600	75	15
Пырей бескорневищный	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,5	200	85	15
		92	0,5	1,0	300	75	15
Пырей ползучий, средний	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,5	200	85	15
		92	0,5	1,0	300	75	15
Пырейник волокнисный	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,3	200	80	15
		92	0,5	0,6	300	75	15
Пырейник сибирский	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,4	240	80	15
		85	0,5	0,8	320	70	15
Райграс высокий	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,4	240	80	15
		95	0,5	0,8	320	75	15
Райграс многоукосный	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,4	240	85	15
		92	0,5	0,8	320	80	15
Райграс пастбищный	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,5	240	80	15
		92	0,5	0,8	400	75	15
Рожь многолетняя	ОС, ЭС, РС, РСп	95	0,5	0,4	50	85	15
		95	0,5	0,8	100	80	15
Тимофеевка луговая	ОС, ЭС, РС, РСп	92	0,5	0,2	400	80	15
		90	0,5	0,6	600	75	15

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>2. Многолетние бобовые кормовые травы</i>							
Галега восточная	ОС, ЭС, РС, РСп	96 92	0,5 0,5	0,4 0,8	100 200	80 70	13 13
Горошек мышинный	ОС - РСп	94	0,5	1,0	200	75	14
Донник белый, лекарственный	ОС, ЭС, РС, РСп	96 94	0,6 0,6	0,4 0,8	100 200	85 75	13 13
Клевер ползучий	ОС, ЭС, РС, РСп	92 88	0,6 0,6	0,6 1,2	200 400	80 70	13 13
Клевер гибридный	ОС, ЭС, РС, РСп	95 92	0,6 0,6	0,5 1,2	200 300	75 70	13 13
Клевер гибридный тетраплоидный	ОС, ЭС, РС, РСп	96 92	0,5 0,5	0,4 1,2	200 300	75 70	13 13
Клевер луговой	ОС, ЭС, РС, РСп	96 92	0,5 0,5	0,2 0,6	100 200	80 75	13 13
Клевер луговой тетраплоидный	ОС, ЭС, РС, РСп	96 94	0,6 0,6	0,3 0,8	100 200	80 75	13 13
Люцерна желтая	ОС, ЭС, РС, РСп	96 92	0,5 0,6	0,4 0,8	200 300	75 70	13 13
Люцерна синяя, синегридная	ОС, ЭС, РС, РСп	96 92	0,5 0,5	0,4 0,8	100 200	85 80	13 13
Люцерна пестрогибридная, желтогибридная	ОС, ЭС, РС, РСп	96 94	0,6 0,6	0,3 0,8	200 300	80 75	13 13
Люпин многолетний	ОС - РСп	96	0,5	1,5	200	75	13
Лядвенец рогатый	ОС, ЭС, РС, РСп	95 90	0,5 0,5	0,5 1,0	200 300	80 75	13 13
Лядвенец топяной	ОС - РСп	90	0,5	1,0	200	65	13
Эспарцет посевной, виколистый	ОС, ЭС, РС, РСп	98 97	0,3 0,3	0,2 0,8	40 50	85 80	14 14
Эспарцет закавказский	ОС, ЭС, РС, РСп	98 96	0,2 0,2	0,1 0,6	20 50	85 80	14 14
Эспарцет песчаный	ОС, ЭС, РС, РСп	98 96	0,3 0,3	0,3 0,8	40 50	80 75	14 14
Чина луговая	ОС - РСп	90	0,5	1,0	100	75	14
Язвенник обыкновенный	ОС - РСп	90	0,5	1,5	200	65	13
<i>3. Однолетние кормовые и медоносные травы</i>							
Донник белый	ОС, ЭС, РС, РСп	96 94	0,5 0,5	0,3 0,5	100 200	85 80	13 13
Клевер пунцовый	ОС, ЭС, РС, РСп	98 96	0,2 0,4	0,4 0,6	120 240	90 80	13 13
Клевер опрокинутый	ОС, ЭС, РС, РСп	96 96	0,5 0,5	0,3 0,5	100 200	90 80	13 13
Сераделла посевная	ОС, ЭС, РС, РСп	96 94	0,5 0,5	0,3 0,5	100 200	85 80	13 13
Ежовик хлебный	ОС, ЭС, РС, РСп	99 97	0,6 0,6	0,4 0,6	120 240	90 85	15 15
Могар	ОС, ЭС, РС, РСп	99 97	0,6 0,6	0,4 0,6	120 240	90 85	15 15
Райграс однолетний	ОС, ЭС, РС, РСп	95 92	0,6 0,6	0,4 0,8	120 240	80 75	15 15
Суданка, сорго- суданковые гибриды	ОС, ЭС, РС, РСп	99 98	0,2 0,2	0,2 0,5	20 20	85 80	15 15
Леспедеца двухцветная	ОС - РСп	90	0,4	0,8	240	70	13
Люцерна хмелевидная	ОС, ЭС, РС, РСп	92 90	0,4 0,4	0,5 1,0	100 200	75 70	13 13

1	2	3	4	5	6	7	8
Пажитник сенной	ОС - РСп	90	0,4	1,0	200	65	15
Перко	ОС, ЭС,	98	0,2	0,2	120	80	12
	РС, РСп	92	0,2	0,4	240	75	12
Просо африканское	ОС - РСп	90	0,4	1,0	200	65	15
Редька масличная	ОС, ЭС,	96	0,3	0,5	100	80	12
	РС, РСп	92	0,3	1,0	200	70	12
Фацелия	ОС, ЭС,	97	0,8	0,8	100	80	14
	РС, РСп	95	0,8	1,0	200	70	14
Змееголовник	ОС - РСп	90	0,8	1,0	160	75	14
Огуречная трава	ОС - РСп	90	0,8	1,0	320	75	15
Просо кормовое	ОС, ЭС,	98	0,6	0,4	120	85	15
	РС, РСп	95	0,6	0,6	240	75	15
Чумиза	ОС, ЭС,	98	0,6	0,4	120	85	15
	РС, РСп	95	0,6	0,6	240	75	15

Примечание: ОС – оригинальные семена; ЭС – элитные семена; РС – репродукционные семена (первая – третья репродукции); РСп – последующие репродукции.

Фрагменты поточных линий
с использованием вибропневмосепараторов производительностью 0,5 (а)
и 1 т/ч (б) в ФГУП УОХ «Липовая гора» ФГБОУ ВО Пермская ГСХА



а



б

Фрагмент поточной линии с использованием вибропневмосепаратора
производительностью 2,5 т/ч в Пермском НИИСХ



Оглавление

Предисловие.....	4
Введение.....	6
<i>Глава 1. Состояние вопроса и задачи исследований.....</i>	<i>8</i>
1.1. Требования к качеству семян и их очистке в вибропневмоожигенном слое.....	8
1.2. Способы очистки семян от трудноотделимых примесей и результаты исследований их отделения в вибропневмоожигенном слое	11
1.3. Классификация технических средств для отделения примесей по комплексу физико-механических свойств.....	18
1.4. Конструктивно-технологические схемы технических средств для очистки семян в вибропневмоожигенном слое.....	24
1.4.1. Пневмосортировальные столы отечественного производства.....	24
1.4.2. Зарубежные пневмосортировальные столы.....	39
1.4.3. Камнеотделительные машины, концентраторы и комбинаторы.....	45
1.5. Постановка вопроса и задачи исследований.....	55
<i>Глава 2. Теоретические исследования процесса движения компонентов в вибропневмоожигенном слое и технологии их разделения.....</i>	<i>57</i>
2.1. Технологические процессы сепарации семян в вибропневмоожигенном слое.....	57
2.2. Аналитическое определение средней скорости движения сыпучего материала под действием вибрации и воздушного потока.....	58
2.3. Анализ движения компонентов в вибропневмоожигенном слое.....	64
<i>Глава 3. Разработка и исследование машины окончательной очистки семян производительностью 0,5 т/ч.....</i>	<i>68</i>
3.1. Устройство и процесс работы вибропневмосепаратора производительностью 0,5 т/ч.....	68
3.2. Применяемые приборы и аппаратура, подготовка исходного материала, методики оценки свойств разделяемого материала, рабочих поверхностей машин.....	70
3.2.1. Приборы и аппаратура, применяемые для лабораторных опытов и производственных исследований.....	70
3.2.2. Методика определения фрикционных свойств рабочей поверхности деки и стенки вибропневмосепаратора.....	73
3.2.3. Методика подготовки материала перед сепарацией в вибропневмоожигенном слое.....	74
3.2.4. Оценки эффективности сепарации семян в вибропневмоожигенном слое.....	77
3.3. Результаты исследований машины производительностью 0,5 т/ч	79
3.3.1. Фрикционные свойства рабочей поверхности вибропневмосепаратора.....	79

3.3.2. Оптимизация рабочего процесса вибропневмосепаратора	81
3.3.3. Семяочистительная приставка и результаты её производственной проверки.....	82
3.3.4. Эффективность работы семяочистительных приставок, осуществляющих прямоточную и фракционную технологии очистки..	91
<i>Глава 4. Разработка и исследование вибропневмосепаратора производительностью 1,0 т/ч.....</i>	92
4.1. Устройство и процесс работы вибропневмосепаратора и экспериментальной семяочистительной линии.....	92
4.2. Методика лабораторных исследований	96
4.2.1 Проверка работоспособности вибропневмосепаратора...	96
4.2.2. Методика определения рациональных параметров и режимов вибропневмосепаратора при повышенной засоренности семенного материала.....	97
4.2.3. Методика определения рациональных параметров и ре- жимов работы вибропневмосепаратора при повышенной удельной нагрузке.....	98
4.3 Методика производственных исследований.....	99
4.4. Результаты экспериментальных исследований.....	101
4.4.1 Фрикционные свойства рабочих поверхностей деки и стенки вибропневмосепаратора.....	101
4.4.2. Оценка работоспособности вибропневмосепаратора.....	102
4.4.3 Определение рациональных параметров вибропневмосе- паратора при повышенной засоренности очищаемого семенного материала.....	104
4.4.4. Параметры и режимы работы вибропневмосепаратора при повышенной удельной нагрузке.....	109
4.4.5 Результаты ведомственных испытаний вибропневмосепаратора.....	112
4.4.6. Результаты производственной проверки технологиче- ской надежности рабочего процесса машины в составе семяочисти- тельной линии.....	114
<i>Глава 5. Разработка и исследование вибропневмосепаратора производительностью 2,5 т/ч.....</i>	117
5.1 Устройство и процесс работы вибропневмосепаратора.....	117
5.2 Методика лабораторных и производственных исследований и обработки опытных данных.....	119
5.3. Результаты лабораторных исследований.....	121
5.3.1. Влияние наклонного воздушного потока на скорость движения семян по поверхности деки.....	121
5.3.2. Влияние скорости воздушного потока на степень выделения низконатурных примесей и потери семян в отходы.....	123
5.3.3. Обоснование угла установки стенки деки.....	124
5.3.4. Определение рациональных параметров и режимов работы вибропневмосепаратора в диапазоне подач 0,8-1,2 т/ч.....	128

5.3.5. Оценка влияния режимов работы вибропневмосепаратора при различных удельных нагрузках.....	131
5.3.6. Рациональные параметры и режимы работы вибропневмосепаратора при повышенной удельной нагрузке.....	133
5.4. Результаты производственной проверки вибропневмосепаратора в составе семяочистительной линии.....	135
<i>Глава 6. Практическая реализация результатов исследования сепарации семян в вибропневмоожигенном слое.....</i>	138
6.1. Рекомендации по использованию вибропневмосепаратора производительностью 0,5 т/ч.....	138
6.2. Рекомендации по использованию вибропневмосепаратора производительностью 1,0 т/ч.....	142
6.3. Рекомендации по использованию вибропневмосепаратора производительностью 2,5 т/ч.....	144
6.4. Настройка вибропневмосепараторов.....	146
<i>Глава 7. Энергетическая и технико-экономическая оценка использо- вания технических средств для сепарации семян в вибропневмо- ожигенном слое.....</i>	148
7.1 Методика энергетической оценки.....	148
7.2 Методика технико-экономической оценки.....	150
7.3 Результаты энергетической и технико-экономической оценки семяочистительной линии с использованием разработанного вибропневмосепаратора производительностью 1 т/ч.....	152
Заключение.....	154
Библиографический список.....	156
<i>Приложение А</i>	
Посевные качества семян кормовых и медоносных трав.....	164
<i>Приложение Б</i>	
Фрагменты поточных линий.....	167
<i>Приложение В</i>	
Фрагмент поточной линии с использованием вибропневмосепаратора производительностью 2,5 т/ч в Пермском НИИСХ.....	167