

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I»

На правах рукописи



МЯСНЯНКИН Константин Васильевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ПОДГОТОВКИ СЕМЯН ГРЕЧИХИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ФОТОСЕПАРАТОРА**

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук
Гиевский А.М.

Воронеж – 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Обзор технологических процессов и технических средств производства семян гречихи	10
1.1. Народно-хозяйственная значимость гречихи и требования к её семенам ...	10
1.2. Изменение качества семян гречихи при производстве	14
1.3. Фотосепарирование и его применение в сельском хозяйстве	23
1.4. Выводы	31
2. Теоретические исследования процесса фотосепарирования гречихи	34
2.1. Принцип дозирования семян и их движение в фотосепараторе	34
2.2. Разработка математической модели движения частиц по скатному лотку фотосепаратора.....	37
2.3. Обоснование длины скатной поверхности лотка фотосепаратора	45
2.4. Выводы	59
3. Программа и методика экспериментальных исследований.....	61
3.1. Программа экспериментальных исследований.....	61
3.2. Объект исследований и применяемые машины и приборы	62
3.3. Методика проведения экспериментальных исследований и обработки результатов.....	65
4. Экспериментальные исследования процесса послеуборочной обработки гречихи	76
4.1. Подготовка зернового вороха гречихи к обработке на фотосепараторе	76
4.2. Проверка адекватности математической модели движения частиц по скатному лотку фотосепаратора.....	79
4.3. Определение рациональной длины скатной поверхности лотка фотосепаратора.....	81
4.4. Влияние состава зернового вороха гречихи на качество его фотосепарирования	84
4.5. Влияние конструктивных параметров скатных лотков на качество фотосепарирования гречихи	90

4.6. Влияние производительности фотосепаратора на качество фотосепарирования гречихи	94
4.7. Выводы	99
5. Совершенствование семяочистительного агрегата и оценка его экономической эффективности	101
5.1. Направления совершенствования семяочистительных агрегатов	101
5.2. Техничко-экономическая оценка эффективности работы семяочистительного агрегата при подготовке семян гречихи	105
Заключение	114
Список сокращений и условных обозначений	116
Список литературы	124
Приложения	141
Приложение А – Техническая характеристика фотосепараторов серии Ф	141
Приложение Б – Техническая характеристика фотосепараторов серии СВ	141
Приложение В – Техническая характеристика фотосепараторов PIXEL NEXT	142
Приложение Г – Техническая характеристика фотосепараторов SEA CHROME	142
Приложение Д – Техническая характеристика фотосепараторов серии ROYAL	143
Приложение Е – Техническая характеристика фотосепараторов фирмы Daewon	143
Приложение Ж – Техническая характеристика фотосепараторов серии REZS	144
Приложение З – Ход подбора рациональной длины скатной поверхности	144
Приложение И – Результаты статистического анализа	146
Приложение К – Акт передачи результатов исследований ООО «Техника Сервис Агро»	150
Приложение Л – Акт передачи результатов исследований ООО «Смарт Грэйд»	152

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Ключевой задачей АПК является устойчивое наращивание производства зерна, которое необходимо для формирования семенных фондов, обеспечения продуктами питания населения и животноводства фуражом. Для обеспечения населения страны продовольствием необходимо производство различных видов зерновых, крупяных, зернобобовых и масличных культур. При этом очень важную роль имеет посевной материал. Качество подготавливаемых семян зависит от многих факторов, поэтому к данному вопросу необходимо подходить комплексно, начиная с уборки семенного материала и заканчивая реализацией готовой продукции.

В России много хозяйств, материально-техническая база которых всё ещё не позволяет принимать и обрабатывать урожай по мере его поступления с полей. Поэтому поступающее от комбайнов зерно приходится складировать на площадках или в складах. Это снижает его посевные качества.

Одной из причин снижения урожайности является плохое качество семян, обусловленное несоответствием технологического и технического обеспечения их производства. Современные технологические линии послеуборочной обработки включают в себя множество зерноочистительных машин, которые позволяют получать достаточно чистый зерновой ворох [55, 106]. При этом существует проблема чрезмерного травмирования обрабатываемого материала, что негативно сказывается на посевных качествах семян. На травмирование семян оказывает влияние не только количество используемых машин, но и тип рабочих органов зерноочистительных машин и вспомогательного оборудования.

Особенно важно снизить травмирование обрабатываемого материала при подготовке семян гречихи. Зерновки гречихи хрупкие, и даже при незначительных механических воздействиях разрушаются, превращаясь в мучную пыль, которая может удаляться зерноочистительными машинами (данные потери трудно определить).

Стабилизация производства гречихи на необходимом уровне зависит от повышения её урожайности и снижения затрат на всех этапах производства. Поэто-

му, мы считаем, что создание или подбор перспективных технических средств должны базироваться на принципах, обеспечивающих обработку зерна и семян гречихи на месте их производства с минимальными механическими воздействиями на обрабатываемый материал.

Таким образом, возникает необходимость совершенствования технологии и технических средств послеуборочной обработки гречихи и, в первую очередь, при подготовке качественных семян.

Диссертационная работа выполнена в ходе реализации следующих программ научных исследований: научно-исследовательской работы агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства» (утверждена учёным советом университета, номер государственной регистрации 01.200.1-003986); научно-исследовательской работы, выполняемой высшими учебными заведениями, подведомственными Минсельхозу России, за счёт средств федерального бюджета в 2017 году «Разработка высокоэффективной семяочистительной машины».

Степень разработанности темы. Вопросам совершенствования послеуборочной обработки зернового вороха гречихи и других крупяных культур посвящены работы многих учёных: А.П. Тарасенко, В.В. Троценко, В.В. Усенко, В.И. Белоусова, В.И. Оробинского, Д.Я. Ефименко, Е.Е. Разореновой, И.Н. Елагина, К.А. Савицкого, М.Э. Мерчаловой, Н.И. Орехова, Ю.В. Каргальцева, и других. Несмотря на большое количество работ, посвящённых данной тематике, некоторые вопросы требуют дополнительных исследований. Например, в литературных источниках нами не было обнаружено описание применения фотосепаратора для очистки гречихи на семенные цели, а также обоснование рациональных режимных и конструктивных параметров работы фотосепаратора при очистке гречихи на семена. Также мы не нашли информации о закономерности влияния состава обрабатываемого материала на качество и количество получаемых на фотосепараторе семян.

На основании проведённого нами анализа существующих технологических

линий производства семян и различных зерноочистительных машин с оборудованием транспортировки и хранения зерна были выявлены их преимущества и недостатки, а также их влияние на посевные качества семян.

Объектом исследований является технологический процесс фотосепарирования гречихи для получения семян.

Предметом исследований являются закономерности изменения посевных качеств семян и степени их травмирования при обработке гречихи.

Цель работы: повышение качества семян гречихи путём совершенствования технологического процесса их подготовки с применением фотосепаратора.

На травмирование семян и их посевные качества оказывают влияние режимные и конструктивные параметры работы зерноочистительных машин, а также набор и сочетание рабочих машин и вспомогательного оборудования в технологической линии. Поэтому, исходя из поставленной цели, были сформулированы следующие **задачи исследований**:

- усовершенствовать математическую модель движения обрабатываемого материала в фотосепараторе;
- обосновать требования к качеству зерновой массы гречихи, направляемой для окончательной её очистки на фотосепаратор и разработать рекомендации по комплектованию и настройке воздушно-решётной машины для подготовки гречихи к её фотосепарированию;
- получить зависимости качества семян гречихи от производительности фотосепаратора, состава обрабатываемого материала и конструктивных параметров скатного лотка;
- разработать технологическую линию очистки семян гречихи с использованием воздушно-решётной зерноочистительной машины и фотосепаратора.

Научная новизна:

- аналитические зависимости интервалов между предыдущей и последующей частицами в конце скатного лотка фотосепаратора и в месте выбраковки примесей, отличающиеся учётом размеров и фрикционных свойств обрабатываемых частиц;

- закономерности изменения эффективности фотосепарирования семян гречихи от производительности фотосепаратора и конструктивных параметров скатного лотка, отличающиеся учётом свойств зернового вороха гречихи;
- регрессионные зависимости чистоты и выхода семенной фракции при фотосепарировании гречихи от содержания обрубленных зерновок и примесей в исходной зерновой массе;
- технологическая линия семяочистительного агрегата, отличающаяся минимальным воздействием на семена гречихи.

Теоретическую значимость работы составляет усовершенствованная математическая модель, позволяющая определить длину скатной поверхности лотка фотосепаратора, при которой нарушения распознавания дефектов и потери годного продукта при выбраковке примесей будут минимальны. Данная математическая модель может быть использована при разработке новых и совершенствовании существующих конструкций фотосепараторов.

Практическую значимость работы составляют:

- семяочистительный агрегат, включающий минимально-необходимое количество зерноочистительных машин (воздушно-решётную машину первичной очистки и фотосепаратор для окончательной обработки семян) и вспомогательного оборудования для подготовки кондиционных семян;
- параметры и режимы работы воздушно-решётной машины и фотосепаратора при подготовке семян гречихи.

Результаты проведённых исследований также могут быть использованы при совершенствовании конструкций фотосепараторов и семяочистительных агрегатов.

Методология и методы исследований. Теоретическую часть исследований проводили на основе методов математического моделирования, классической механики и физики. Экспериментальные исследования были проведены на основе общепринятых и частных методик с использованием методов статистики. В исследованиях применялись современные приборы, оборудование и вычислительная техника.

Результаты исследований обрабатывали при помощи программ: Mathcad, SMath Studio, Statistica, Kompas, Microsoft Excel, ACDSee.

Положения, выносимые на защиту:

- усовершенствованная математическая модель движения обрабатываемого материала в фотосепараторе, позволяющая обосновать параметры и режимы работы фотосепаратора для минимизирования потерь годного продукта при выбраковке примесей;
- закономерности изменения эффективности фотосепарирования семян гречихи от производительности фотосепаратора и конструктивных параметров скатного лотка, позволяющие обосновать требования к технологической линии подготовки семян гречихи;
- регрессионные зависимости чистоты и выхода семенной фракции при фотосепарировании гречихи от содержания обрубленных зерновок и примесей в исходной зерновой массе, позволяющие обосновать требования к исходному материалу, направляемому на фотосепаратор;
- технологическая линия семяочистительного агрегата, позволяющая получать семена гречихи требуемого качества.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается экспериментальными исследованиями, проведёнными с достаточным количеством повторностей опытов и аппаратурой, обеспечивающей требуемую точность измерений, обработкой результатов с применением современных средств вычислительной техники, а также высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Материалы исследований докладывались и обсуждались на:

- международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов «Инновационные технологии и технические средства для АПК» (Воронеж, 2014 г.);
- научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов по актуальным проблемам АПК в области механизации, электрификации сельского хозяйства и переработки сельскохозяйственной

продукции «Современные тенденции развития технологий и технических средств для АПК» (Воронеж, 2014 г.);

- международной научно-практической конференции «Научно-практические аспекты ресурсосберегающих технологий производства продукции и переработки отходов АПК» (Воронеж, 2014 г.);

- научных и учебно-методических конференциях профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (Воронеж, 2015-2016 гг.);

- финале конкурса по программе «Участник молодёжного научно-инновационного конкурса» (У.М.Н.И.К.) (Воронеж, 2015 г.);

- ежегодных внутривузовских конкурсах на лучшую научную работу молодых учёных ФГБОУ ВО Воронежского ГАУ (Воронеж, 2015-2016 гг.).

Акты передачи результатов исследований приведены в приложениях.

Личный вклад соискателя заключается в постановке цели, задач и выборе методов исследований, усовершенствовании и реализации математической модели движения обрабатываемого материала в фотосепараторе и проверке её адекватности, выполнении экспериментальных исследований, обработке, анализе и оформлении полученных результатов, подготовке научных публикаций.

Публикации. Результаты проведённых исследований опубликованы в 20 научных статьях, четыре из которых – в изданиях, включённых в перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций, и одной монографии. По результатам диссертационной работы получены два патента РФ на изобретение.

Структура и объём диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, включающих 25 рисунков и 20 таблиц, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 149 наименований, а также одиннадцати приложений. Объём диссертационной работы – 153 страницы.

1. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРОИЗВОДСТВА СЕМЯН ГРЕЧИХИ

1.1. НАРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ГРЕЧИХИ И ТРЕБОВАНИЯ К ЕЁ СЕМЕНАМ

Гречиха – важная народно-хозяйственная культура. По мнению Федотова В.А. и Савицкого К.А. это ценная медоносная культура, а также хороший предшественник для растений в севообороте.

Выращиваемую гречиху используют как посевной материал и для продовольственных целей. Федотов В.А. в своей книге «Гречиха в России» отмечает, что при благоприятных погодных условиях во время цветения хорошо развитой гречихи пчелы собирают с 1 га посевов в среднем 40-60, а в благоприятные годы – до 100 кг мёда и 150-300 кг/га цветочной пыльцы (перги), обладающей целебными свойствами. Гречишный мёд, пыльца (перга) и другие продукты пчеловодства наряду с блюдами из гречихи имеют большое значение в укреплении здоровья людей и в решении продовольственной проблемы [134]. В связи с повышением интенсивности использования пахотных земель дикая медоносная флора сокращается и роль гречихи, как медоноса, значительно возрастает.

Гречиха используется как экологически чистый, физиологически полноценный, легкоусвояемый диетический, целебный продукт питания. Гречневую крупу используют для диетического питания, особенно при желудочно-кишечных заболеваниях, расстройстве нервной системы, малокровии. Гречневая крупа богата легкоусвояемыми белками и углеводами. Она включает жиры, полезные для организма, минеральные соли, а также фолиевую кислоту, которой значительно больше, чем в других продуктах растительного происхождения.

Гречиха – единственная в нашей стране зерновая культура, содержащая витамин Р (рутин). Она может долго храниться, не теряя потребительских и вкусовых качеств. Поэтому зерно гречихи и крупа пригодны для создания резервных фондов продовольствия стратегического значения большой государственной важности. Белки гречихи по питательным свойствам близки к белкам зернобобовых

культур. Они отличаются большим содержанием незаменимых аминокислот. Так, например, лизина в гречихе почти в десять раз больше, чем в просе. В плодах гречихи много лецитина, который обладает лечебными свойствами. Содержащиеся в плодах гречихи жиры отличаются высокой устойчивостью к окислению, и поэтому они не прогоркают даже при относительно длительных сроках хранения зерна и крупы.

Гречневая крупа высокопитательная. Она содержит от 10 до 16% полноценного легкоусвояемого белка, 60...80% крахмала, 2...3% жира, 10...16% клетчатки и много биологически активных веществ-витаминов: С, В1, В2, В6, Е, РР и Р, а также микроэлементы: железо, медь, цинк, кальций, бор, йод, никель, кобальт, фосфор и др., также содержит органические кислоты: яблочную, щавелевую и лимонную. Крупа гречихи обладает хорошими вкусовыми качествами и диетическими свойствами полезными для детей, больных и пожилых людей.

Благодаря высокому содержанию легкоусвояемых белков и оптимальному сочетанию витаминов, органических кислот и солей, различных микроэлементов, продукты питания, приготовляемые из гречневой крупы и муки, способствуют повышению выносливости и устойчивости организма человека к физическому напряжению, а также к радиоактивному и рентгеновскому облучению. Для белков гречневой крупы характерна хорошая растворимость. Из общего их количества водорастворимые (альбумины) составляют 58%, а солерастворимые (глобулины) – 28%.

При благоприятных условиях гречиха образует на каждом гектаре посева до 200 ц зеленой массы. При использовании её на зеленое удобрение в почву поступает до 100 кг азота, 50 кг фосфора и 130 кг калия.

Гречиха богата полезной, в том числе азотофиксирующей микрофлорой, из которой получают бактериальный препарат диазоф, благотворно влияющий на урожайность возделываемых культур. В почве после гречихи снижаются засорённость и заражённость корневыми гнилями и другими болезнями. После гречихи почва становится более рыхлой, легко обрабатывается сельскохозяйственными орудиями и может быть пригодной для прямого стерневого посева озимых или

яровых зерновых культур [134].

В связи с поздними сроками сева и скороспелостью гречиху часто используют в качестве страховой культуры при пересеве погибших озимых и ранних яровых культур [16]. При уборке гречихи на зерно в пахотном слое остаётся от 20 до 40 ц/га пожнивных и корневых остатков богатых калием, фосфором и кальцием. Подсчитано, что пожнивные остатки гречихи по содержанию калия вдвое превосходят гороховую стерню, вчетверо – пшеничную. Гречиху вполне можно использовать как промежуточную культуру в паровом поле, поукосно и поживно [46].

При кормлении животным обычно используют отходы, которые получают при очистке, сортировке и переработке зерна. Они довольно питательны и с большим успехом скармливаются домашней птице и свиньям. Гречишная солома содержит значительное количество полезных элементов. При урожайности 2...3 т/га в почву с соломой могут быть возвращены 10...15 кг азота, 5...8 кг фосфора и 18...24 кг калия. Применение гречишной соломы в виде удобрений улучшает физико-химический состав почвы, уменьшает потери азота, повышает биологическую активность почвы. Внесение соломы усиливает азотофиксирующую способность почвы.

Лузга гречихи в основном состоит из клетчатки и пентозанов. Перевариваемых питательных веществ она почти не содержит и непосредственно для кормовых целей не используется. В тоже время в лузге содержится значительное количество полисахаридов, что свидетельствует о возможности её использования в микробиологической промышленности при выработке кормовых дрожжей. Используют её в основном на топливо, а также как сырьё для производства картона и коричневой краски для хлопчатобумажной ткани [134].

Использование семян с высокими посевными качествами¹ – важнейшее условие для повышения урожайности гречихи.

Сортовые и посевные качества семян регламентируются требованиями

¹ Посевные качества семян – это совокупность свойств семян, характеризующих степень их пригодности для посева [33].

ГОСТ Р 52325-2005 (таблица 1.1) [38], в соответствии с которым семена классифицируются на оригинальные (ОС), элитные (ЭС), репродукционные семена (РС) и репродукционные семена для производства товарной продукции (РСт) [38].

Таблица 1.1 – Сортные и посевные качества семян гречихи

Категория семян	Сортная чистота, %, не менее	Поражение посевов головней, %, не более	Чистота семян, %, не менее	Содержание семян других растений, шт./кг, не более		Примесь, %, не более		Всхожесть, %, не менее	Обрушенных семян, %
				всего	в т. ч. сорных	Головневых образований	Склеротических спорыньи		
ОС	–	–	99,0	15	8	–	–	92	3,0
ЭС	–	–	98,5	20	10	–	–	92	5,0
РС	–	–	98,0	100	60	–	–	92	5,0
РСт	–	–	97,0	120	80	–	–	87	5,0

Семена, предназначенные для посева, должны иметь документ соответствия требованиям ГОСТ Р 52325-2005, которые приведены в таблице 1.1. Семена, не отвечающие требованиям настоящего стандарта, переводят в более низкую категорию и документируют в соответствии с их фактическим качеством. Перевод в более низкую категорию допускается только при невозможности повышения качеств путём дополнительных агротехнических приёмов.

Запрещается использовать для посева семена, в которых обнаружены: сорняки, вредители и возбудители болезней, имеющие карантинное значение для Российской Федерации; живые вредители и их личинки, повреждающие семена гречихи, за исключением клещей, наличие которых допускается в РСт не более 20 шт./кг; семена ядовитых растений – гелиотропа волосистоплодного и триходесмы седой.

Допускается во всех климатических зонах с разрешения уполномоченных органов управления сельским хозяйством использовать для посева семена, выращенные в неблагоприятные по погодным условиям годы, со всхожестью менее установленных настоящим стандартом норм для ОС и ЭС на 3%, для РС и РСт – на 5%.

При производстве семян гречихи также имеет большое значение их влажность. Допустимая влажность семян гречихи, производимой в различных клима-

тических зонах страны, приведена в таблице 1.2 [38].

Таблица 1.2 – Допустимая влажность семян гречихи

Культура	Влажность по зонам, %, не более			
	1-я зона	2-я зона	3-я зона	4-я зона
Гречиха	14,0	14,5	15,0	15,5

Данные таблицы 1.2 свидетельствуют о том, что влажность семян гречихи должна быть в пределах (14,0...15,5)%. Однако, допускается влажность не более 16% во всех зонах страны при заготовлении семян гречихи в государственные, страховые и переходящие фонды, а также семян, хранящихся в металлических бункерах и ёмкостях силосного типа.

Если полученные при обработке семена гречихи не соответствуют требованиям ГОСТ Р 52325-2005, то их реализуют на товарные цели – для переработки в крупу. Зерно гречихи, предназначенное для пищевых целей, должно соответствовать нормам по ГОСТ Р 56105-2014 [39].

1.2. ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН ГРЕЧИХИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ

К процессу подготовки качественных семян необходимо подходить комплексно, учитывая влияние всех технологических операций, начиная с уборки и заканчивая хранением и реализацией семян. При этом обязательным условием должно быть соблюдение всех агротехнических требований.

Для максимального сохранения посевных качеств выращиваемых семян, необходимо учитывать особенности возделываемой культуры. Например, Броваренко С.У., Ефименко Д.Я., Барабаш Г.И., Савицкий К.А., Усенко В.В, Федотов В.А. и другие учёные в своих трудах отмечают, что в период созревания на одном и том же растении гречихи наблюдаются вполне созревшие семена и в то же время только что открывшиеся цветки [15, 42, 100, 131, 134]. Пчёлы являются хорошими опылителями гречихи, поэтому для повышения урожайности желательно возле гречишных полей размещать частные пасеки. При этом гречиха является влаголюбивой культурой [4], поэтому целесообразны меры (например, использование лесополос) для лучшего влагозадержания.

Мы считаем, что только комплексный подход к возделыванию гречихи может позволить получить максимальный выход высококачественных семян с минимальными их потерями.

Качество зернового вороха гречихи, поступаемого на послеуборочную обработку, зависит от технологии уборки и применяемых при этом технических средств.

Гречиха в отличие от колосовых зерновых культур имеет очень растянутый период созревания. От побурения первых её плодов до побурения последних в зависимости от сорта и погодных условий проходит до 20...30 дней и больше. Поэтому, по мнению Антонова Н., преждевременная уборка гречихи снижает урожай из-за увеличения количества невыполненных зёрен с высокой плёнчатостью и низким содержанием ядра. Если ждать побурения последних плодов, то плоды начального периода созревания осыпаются, и в результате теряется наиболее ценное зерно. Это приводит к значительному снижению урожая и качества зерна [7].

Сарана Д.И. считает, что раздельная уборка гречихи обеспечивает наиболее полный сбор урожая, поскольку потери зерна при этом значительно сокращаются [101]. Раздельную уборку начинают несколько раньше, чем прямое комбайнирование, поскольку зерно может дозревать в валках. Разрыв между скашиванием и подбором валков не должен быть больше 6 дней [103].

Обычно прибавка урожая при раздельной уборке составляет 1...2 ц/га, а в некоторых случаях может достигать 4...5 ц/га в сравнении с прямым комбайнированием. По мнению А.П. Тарасенко, прямое комбайнирование следует применять только при уборке низкорослых, сильно разреженных посевов или подвергшихся действию заморозков, когда стебли становятся хрупкими и зерно легко осыпается [123].

Как считает Стеранский В.В., при уборочной спелости гречихи на растении нередко бывают не только созревшие плоды, но и формирующиеся завязи, цветки и даже бутоны [103]. Скашивание гречихи в валки начинают, когда 70...80% плодов на растениях достигают полной зрелости, 12...15% их в это время находятся в восковой зрелости, а остальные – в молочном состоянии. Скашивание гречихи в

валки стремятся провести в сжатые сроки, чтобы закончить его к моменту созревания 85...90% зерна [121].

Раздельная уборка гречихи также позволяет значительно сократить потери зерна и затраты, связанные с его подработкой на току, а также получить зерно более высокого качества, так как в валках оно досушивается и дозревает. Чтобы валки находились в подвешенном состоянии, высоту среза устанавливают 15...20 см [40]. При этом растения не проваливаются на землю, быстро и хорошо просыхают. Нередко гречиху скашивают в поперечном направлении к посеву, чтобы устранить возможность подпревания зерна от соприкосновения с землёй при ненастной погоде [16].

В процессе изучения качества зерна гречихи получаемого при работе зерноуборочных комбайнов было установлено, что часть обрушенных зерновок разрушается рабочими органами молотилки в мучную пыль и выносится воздушным потоком системы очистки комбайна. Полностью учесть количество зерна разрушаемого в мучную пыль не представляется возможным. Наиболее объективную оценку степени повреждения зерна комбайном предложили Тарасенко А.П. и Мерчалова М.Э. [80]:

$$П = Л_1 \cdot З / Л, \quad (1.1)$$

где $П$ – степень повреждения зерна, %;

$Л_1$ – средневзвешенное содержание лузги в выходах, %;

$З$ – средневзвешенное содержание целого зерна в выходах, %;

$Л$ – содержание лузги в зерне, %.

При достаточной трудоёмкости данного метода он позволяет дать объективную оценку уровня повреждения зерна гречихи комбайнами при уборке.

Тарасенко А.П. и другие учёные также рекомендуют для снижения повреждения зерна частоту вращения барабана уменьшать до 500...700 мин⁻¹, молотильные зазоры устанавливать на входе 22...24 мм, на выходе – 6...8 мм [122]. При установлении частоты вращения барабана необходимо учитывать влажность зерна и листостебельной массы. По мнению Морозова А.Ф. и Пугачёва А.Н.

утром влажность массы бывает на 2...3% выше, чем в середине дня. Поэтому утром частоту вращения барабана устанавливают около 700 мин^{-1} , а в полдень её необходимо уменьшить до 600 или 500 мин^{-1} , иначе увеличится дробление и обрушивание зерна [54].

Травмирование зерна также зависит от работы системы очистки комбайна. Это объясняется сходом значительного количества зерна в колосовой шнек и последующим возвратом его на повторный обмолот. Как считает Русских В., бóльшая доля от всех потерь семян приходится на комбайны [99]. По мнению Тарасенко А.П. при уборке гречихи потери за счёт травмирования зерновок нередко превышают все остальные виды потерь [116]. Поэтому очень важно правильно настроить работу уборочной машины.

Орехов Н.И. и Тарасенко А.П. считают, что специалисты сельского хозяйства недостаточно внимания уделяют учёту травмирования зерна и способам его снижения. Уровень травмирования зерна нередко превышает величину их потерь [72].

При механических воздействиях повреждение гречихи начинается именно с появления внутренних микротрещин, приводящих к уменьшению сопротивляемости зерна и разрушению при последующих механических воздействиях. При интенсификации процесса обмолота увеличивается внутренняя трещиноватость зерна, приводящая к уменьшению его прочности. В результате последующих механических воздействий микротрещины увеличиваются и в определённый момент зерно разрушается.

В связи с биологическими особенностями гречихи её уборку начинают, когда на одном растении присутствуют полностью созревшие семена и цветы. При этом применяют различные типы зерноуборочных комбайнов: барабанные с одним и двумя барабанами и роторные. От типа применяемых комбайнов зависит содержание травмированного зерна в поступающем от них зерновом ворохе. Тарасенко А.П., Оробинский В.И., Солнцев В.Н., Мерчалова М.Э. и другие учёные провели большую работу в этом вопросе. Сравнение типов комбайнов по содержанию дроблёного и обрушенного зерна в поступающем от них зерновом ворохе

гречихи приведено в таблице 1.3 [109, 110, 114, 115, 120].

Таблица 1.3 – Травмирование зерна гречихи комбайнами

Комбайны		Содержание зерна, %	
модель	тип	дроблёного	обрушенного
СКД-5	двухбарабанные	5,59 ^x	2,29 ^x
СК-5	однобарабанные	1,06 ^x	0,98 ^x
«Палессе КЗС-812»		0,95	0,56
John Deere 9880	роторные	0,04	0,02
John Deere S690		0,08	0,03

Примечание: ^x – среднее значение за три года.

Из таблицы 1.3 следует, что меньшее травмирование получено при обмоло- те зерна гречихи роторными комбайнами. Наибольший уровень травмирования зерна получен при обмолоте гречихи двухбарабанными комбайнами, которые не- целесообразно использовать при уборке гречихи.

Для снижения травмирования гречихи при уборке однобарабанными ком- байнами промышленность выпускала приспособление к ним ПКК-5. Однако ре- зультаты исследований показали, что при его использовании травмирование зерна уменьшается несущественно [112]. Использование модернизированного варианта приспособления для уборки крупяных культур ПКК-5А, в сравнении с базовым вариантом, позволило снизить травмирование зерна гречихи в 1,25 раза [111].

Из вышеприведённых материалов следует, что для сбора урожая гречихи, особенно семенных посевов, необходимо применять отдельную уборку в опти- мальные агротехнические сроки, при этом целесообразно использовать роторные комбайны на щадящих режимах обмолота, которые обеспечивают получение зер- на с меньшим уровнем его повреждения и засорённости.

Поступаемый от комбайнов зерновой ворох может содержать полноценное и биологически неполноценное, обрушенное зерно (с частично или полностью от- сутствующей лузгой), измельчённое зерно (в лузге и без неё), а также различные примеси. Также в бункерном ворохе могут содержаться зерновки, имеющие внут- ренние и внешние повреждения лузги и/или ядра. Такие зерновки в большей сте- пени склонны к обрушиванию при последующих механических воздействиях, чем целые семена. Если в зерновом материале высокое содержание обрушенных зер-

новок, значит, данный ворох подвергался значительным механическим воздействиям и, следовательно, он содержит большое количество травмированных зерновок. Поэтому чем больше обрушенного зерна содержится в зерновом ворохе, тем больше зерновок обрушивается и измельчается при последующей обработке.

Анализируя работы Ефименко Д.Я., Кузнецова В.В., Манойлиной С.З., Мерчаловой М.Э., Оробинского В.И., Троценко В.В. и других учёных, можно сделать вывод, что для снижения травмирования зерна гречихи необходимо уменьшить количество и интенсивность механических воздействий на него на всех стадиях производства семян [41, 49, 53, 106, 107, 129].

Для снижения затрат на доставку бункерного вороха целесообразно использовать большегрузные и/или длинномерные транспортные средства. Поэтому приёмное устройство зерноочистительного агрегата должно обеспечивать разгрузку большегрузных автомобилей без установки в нём специальных транспортирующих органов, которые дополнительно травмируют определённое количество зерна.

При хранении (даже кратковременном) зернового вороха на открытой площадке зерно подвергается воздействию температурных и влажностных перепадов, что приводит к практически незаметной трещиноватости зерновок, т. е. к их микротравмированию.

Зерновой ворох, уложенный на ток, могут неоднократно перебрасывать с помощью зернопогрузчиков или зернометателей. Разоронова Е.Е. и Макаров В.В. в своих трудах говорят, что при каждом перебросе зернового вороха зернопогрузчиками микротравмирование зерна возрастает на 3-4%, а зернометателями – на 4-5% [97]. Тишанинов Н.П. и Ветров В.А. считают, что при этом также существенно возрастают энерго- и материалозатраты на обработку зернового вороха и снижается всхожесть получаемых семян [127]. Чтобы не допустить этого необходимо зерновой ворох обрабатывать сразу по мере его поступления на зерно- или семяочистительные агрегаты.

Семена гречихи часто обрабатывают на зерноочистительных агрегатах, которые включают воздушно-решётную машину, триерные блоки и пневмостол.

При этом зачастую для подачи семенного материала в зерноочистительные машины используют нории.

Воздушно-решётные зерноочистительные машины травмируют сравнительно меньшее количество обрабатываемого материала, чем машины с активными рабочими органами (например, триерные блоки) [133]. Также воздушно-решётные машины обладают высокой производительностью [29]. При этом, по мнению Тарасенко А.П., Оробинского В.И., Гиевского А.М. и Мерчаловой М.Э., они обеспечивают необходимое качество очистки [28, 73, 112, 144]. Поэтому первичную очистку бункерного вороха в хозяйствах предпочтительно выполнять на двухаспирационных воздушно-решётных зерноочистительных машинах [117, 118].

Чтобы удалить неполноценные зерновки из семенного материала воздушно-решётную машину следует настраивать для работы в режиме фракционирования, т. е. направлять мелкие, щуплые и невыполненные семена с низкими посевными качествами в фуражную фракцию. При этом нужно учитывать, что при обработке гречихи производительность зерноочистительных машин уменьшается на 30% от паспортной (на пшенице) [42].

При обработке на воздушно-решётной машине зерновой ворох сначала подаётся в пневмосепарирующий канал первой аспирации. Скорость воздушного потока первой аспирации должна обеспечивать выделение пыли, легковесных примесей и некоторой части биологически невыполненных зерновок. Затем зерновой ворох направляется на решётный (-ые) стан (-ы), который (-е) может (-гут) включать три яруса решёт. В верхнем ярусе решётного стана обычно устанавливают колосовые решёта, сходом с которых выделяются крупные примеси. Отверстия колосовых решёт необходимо подбирать так, чтобы не допустить потерь с крупными примесями самых крупных семян [105]. Проходом через колосовые решёта обрабатываемый материал поступает на сортировальные решёта второго яруса. Сходом с сортировальных решёт семенной материал поступает в пневмосепарирующий канал второй аспирации, где происходит выделение оставшихся легковесных примесей и щуплых семян с низкими посевными качествами.

Проходом через сортировальные решёта выделяются более мелкие компо-

ненты обрабатываемой зерновой смеси и попадают на подсевные решёта нижнего яруса решётного стана. Сходом с подсевных решёт выделяют измельчённые, некую часть обрушенных зерновок и мелкие семена с низкими посевными качествами – фуражную фракцию. Данная фракция направляется на корм животным. Проходом через подсевные решёта отделяются остальные, более мелкие компоненты вороха (семена сорных трав, песок, камушки и т. п.) – неиспользуемые отходы.

Степень очистки воздушно-решётной машины зависит от состава примесей и их содержания в исходном ворохе. Зачастую ворох гречихи содержит обрушенные зерновки, которые имеют схожие размеры и аэродинамические показатели с полноценными семенами, что значительно осложняет их выделение воздушно-решётными машинами (а также триерами и пневмостолами). Поэтому существует проблема выделения обрушенных зерновок гречихи из семенного материала.

При послеуборочной обработке семенного материала необходимо максимально сократить количество машин, расположенных в технологической линии последовательно, т. к. неоднократное пропускание зернового вороха через зерноочистительные машины способствует увеличению травмирования семян [130].

Как считает Запевалов М.В., Коваленко Н.В. и Петрова Г.В., для снижения травмирования семян важно исключить применение скребковых и шнековых транспортёров. Поэтому для перемещения семенного материала целесообразнее использовать ленточные транспортёры, нории и самотёчные устройства [43].

После первичной очистки зернового вороха воздушно-решётной машиной в режиме фракционирования в нём практически не остаётся мелких и лёгких примесей, которые имеют более высокую влажность, чем зерновки и которые являются благоприятной средой для жизнедеятельности и размножения микроорганизмов. Поэтому такой зерновой ворох можно направлять на окончательную обработку или временное хранение.

Хранить семенной материал предпочтительнее в силосах, т. к. в таком случае зерно защищено от воздействия внешних факторов: погодных условий, солнечной радиации и вредителей. Также зачастую в силосах имеется возможность

активного вентилирования или подсушки семенного материала, что может позволить лучше сохранить посевные качества семян.

Для хранения семенной фракции могут использоваться силосы с плоским или коническим дном. Силосы с конусным дном разгружают самотёком, а для разгрузки силосов с плоским дном используют шнек. Применение выгрузного шнека в силосах с плоским дном травмирует 2,77% семян гречихи [136], поэтому применение таких силосов снизит посевные качества и выход кондиционных семян.

От того, из какого материала выполнено днище и какую силос имеет высоту, зависит уровень травмирования семян при их загрузке в силос. Наименьшее травмирование семян гречихи достигается при загрузке с минимальной высоты силоса с конусным днищем, которое имеет внутри демпфирующий слой [136].

Исходя из этого, следует, что в семяочистительном агрегате необходимо использовать силосы с коническим дном. Причём предпочтительно, чтобы конусное дно имело внутри демпфирующее покрытие. Также целесообразно подбирать по возможности силосы с конусным дном большего диаметра и меньшей высоты. Всё это позволит уменьшить травмирование семян. При этом сокращаются энерго- и материалозатраты на подготовку семян, т. к. силосы с конусным дном не имеют электродвигателя привода выгрузного шнека.

Количество силосов и их объём должны обеспечивать поточную обработку планируемого хозяйством урожая.

Для предотвращения порчи зерна в силосах целесообразно проводить активное вентилирование семенного материала холодным или подогретым воздухом, а также озono-воздушную обработку для борьбы с микроорганизмами, болезнями и микотоксинами [108]. Для реализации таких обработок необходимо иметь в составе семяочистительного комплекса озono-воздушную или воздушно-тепловую установку. Такое оборудование в настоящий момент серийно выпускается промышленными предприятиями.

О пользе и эффективности озонирования известно довольно много работ [6, 13, 14, 69, 70, 75]. Если сравнивать с протравливанием, то, также как и обработка

полем коронного электрического разряда [11, 12, 44], озонирование является экологически безопасной и чистой операцией. При этом озонирование позволяет повысить посевные и урожайные качества семян [9, 138] и отличается простотой применения (озон вырабатывается на месте обработки), дешевизной, а также отсутствием отходов и вредного воздействия на окружающую среду. Также озонирование не требует дополнительного перемещения и механического воздействия на семенной материал, по сравнению с протравливанием.

Таким образом, озонирование семенного материала позволяет практически полностью устранить появление и размножение плесневых грибов [6], различных заболеваний, микроорганизмов и вредителей [69], повысить всхожесть и урожайность семян [9, 70], уменьшить травмирование зерновок (не требует перемещения зерна) в сравнении с протравливанием, а также снизить загрязнение окружающей среды от использования ядохимикатов [138]. После озонирования семенного материала можно направлять на окончательную его очистку.

Окончательную обработку семян гречихи необходимо проводить на зерноочистительной машине, позволяющей выделить такие трудновыделимые примеси как обрушенные зерновки гречихи, без существенного травмирования семенного материала. Фотосепаратор разделяет компоненты сыпучих смесей по оптическим признакам, позволяя достичь высоких результатов очистки. При этом в фотосепараторе отсутствуют активные рабочие органы, воздействующие на семенной материал. Обрушенные зерновки гречихи имеют белый цвет, иногда с желтоватым или зеленоватым оттенком, а полноценные семена гречихи тёмно-коричневого или чёрного цвета. Такое резкое отличие обрушенных зерновок гречихи от полноценных семян по цвету может позволить эффективно применять фотосепаратор для окончательной очистки семян.

1.3. ФОТОСЕПАРИРОВАНИЕ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

При послеуборочной обработке сельскохозяйственных культур часто сталкиваются с проблемой выделения примесей, физико-механические и аэродинамические свойства которых схожи с годным продуктом. При этом зачастую трудно-

отделимые примеси отличаются от годного продукта по оптическим признакам: цвету, текстуре или на просвет, что позволяет эффективно применять фотосепаратор.

Тищенко А.И. в своей книге «Применение фотоэлектронных сепараторов для повышения качества сортировки сыпучих зерновых продуктов» говорит, что принцип фотоэлектронного сепарирования по цвету был разработан в середине прошлого века [128]. Сущность фотосепарирования заключается в обнаружении компонентов сыпучего материала, которые отличаются по оптическим признакам от эталона, и поштучном их извлечении.

Фотосепаратор предназначен для разделения компонентов любых сыпучих смесей по цвету, форме или размеру, и позволяет получать чистоту годного продукта на выходе до 99,99% [23]. Применение метода цветового анализа и оценки плотности позволяет обеспечить высокую точность сортировки.

Первый фотосепаратор был установлен в Лондоне в 1947 году английской компанией Сортекс [128]. За прошедшее время фотоэлектронное сепарирование впитало новейшие достижения электроники, оптики и микропроцессорной техники. Современные фотосепараторы имеют высокий уровень автоматизации и минимальное силовое воздействие на семенной материал.

На сегодняшний день фотосепараторы разных производителей принципиально не отличаются по своей конструкции, поскольку используют один принцип работы, который показан на рисунке 1.1. Обработываемый на фотосепараторе материал подаётся в загрузочный бункер 1 (рис. 1.1) и далее по горизонтальному лотку вибропитателя 2, установленному на виброприводе (вибраторе) 3, направляется на скатный лоток 4. Лоток 4 может быть гладким или рифлёным, имеющим канавки определённой ширины и глубины. Как правило, лотки имеют антифрикционное износостойкое покрытие и низкий коэффициент трения с обрабатываемыми частицами. Скатные лотки устанавливаются под углом к горизонту, чтобы обеспечить ускорение и рассредоточение компонентов сыпучей смеси. Благодаря этому сортировщик анализирует каждый компонент в отдельности.

За счёт изменения режима работы вибропитателя регулируют производи-

тельность фотосепаратора электронным способом с панели оператора. Производительность также может быть изменена механически при помощи поднятия или опускания шиберной заслонки 5, которая расположена в вибропитателе, и регулирует толщину слоя материала на горизонтальном лотке 2.

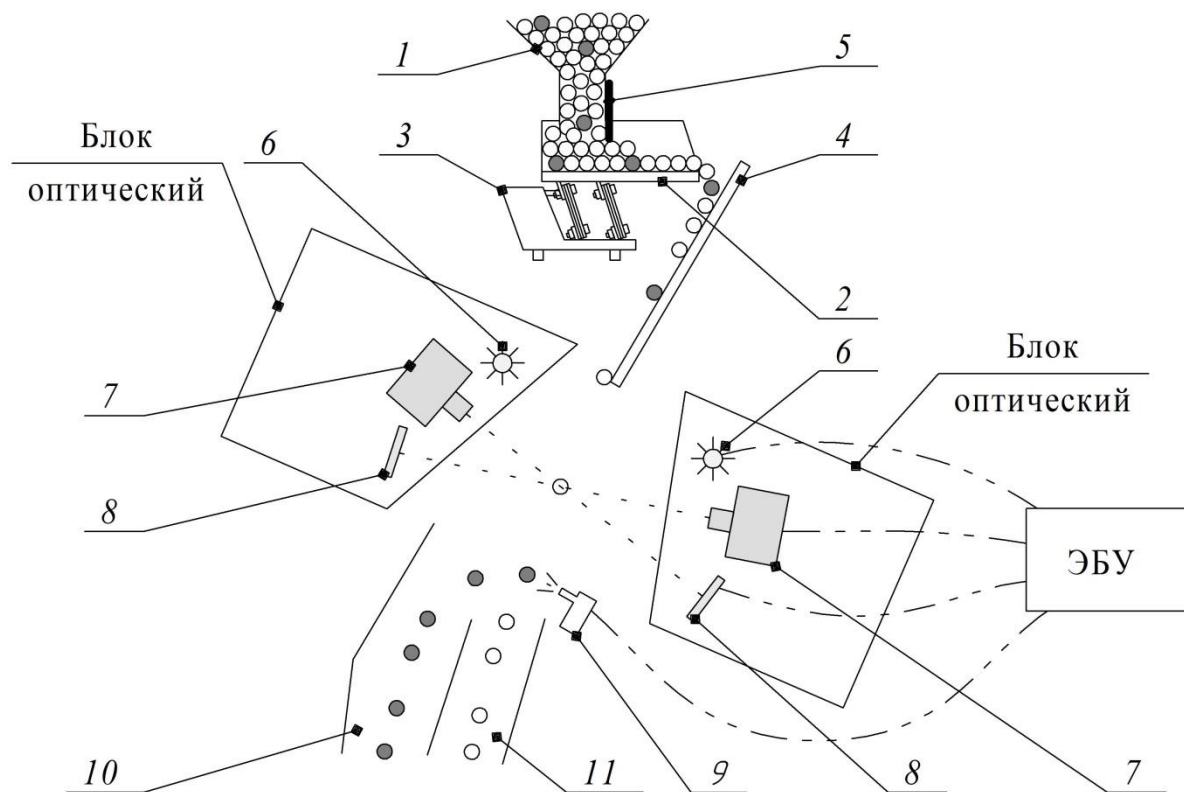


Рисунок 1.1 – Схема работы фотосепаратора:

ЭБУ – электронный блок управления; 1 – бункер загрузочный; 2 – горизонтальный лоток вибропитателя; 3 – вибропривод электромагнитный; 4 – лоток скатный; 5 – шиберная заслонка; 6 – осветители; 7 – камеры; 8 – фон; 9 – пневмоклапан; 10 – отсек для отходов; 11 – отсек для очищенного продукта

Производительность фотосепаратора устанавливают экспериментально на конкретном материале. Сначала изменением режима работы вибропривода 3 устанавливают среднее значение амплитуды колебаний горизонтального лотка вибропитателя 2 и, изменяя величину открытия шиберной заслонки 5, определяют её положение, при котором примерно обеспечивается требуемое качество очистки. Затем, не изменяя положения шиберной заслонки 5, регулируют амплитуду колебаний вибропитателя, добиваясь необходимого качества очистки. Положение шиберной заслонки 5 регулируют обычно только при смене обрабатываемого материала.

Обрабатываемый материал, двигаясь по скатному лотку 4, направляется в

зону обследования, где освещается осветителями 6 (как правило, светодиодными или люминесцентными лампами) и сканируется высокотехнологичными сенсорами или камерами 7 на фоне 8. Отличие данных систем заключается в том, что в сенсорном аппарате каждый сенсор сканирует компоненты, сходящие с определённого желобка (канавки) скатного лотка, а при помощи камер получают изображение компонентов со всей ширины скатного лотка сразу.

Оптический блок, в котором находятся осветители 6, камеры 7, рабочие активные фоны 8 и электронный блок управления (ЭБУ), герметизирован. При помощи сенсоров или камер 7 получают отражённый или проходящий через анализируемую частицу свет, и на его основе формируется электрический сигнал, который направляется в ЭБУ. В блоке управления по заложенным алгоритмам происходит анализ полученного сигнала и сравнение его с эталонным, который заранее задаётся. При несовпадении сигналов подаётся команда на открытие пневмоклапана (эжектора) 9, который расположен ниже. При этом воздушный импульс, направленный в плоскости, перпендикулярной потоку обрабатываемых частиц, изменяет траекторию движения дефектной частицы, направляя её в приёмник (отсек) для отходов 10. Остальные компоненты продолжают движение по прежней траектории в приёмник очищенного продукта 11.

Для более тщательной сортировки и сканирования обрабатываемого продукта сенсоры или камеры 7 устанавливают по обе стороны потока компонентов, как показано на рисунке 1.1.

В мировой практике производство и применение фотоэлектронных сепараторов расширяется, растёт количество фирм, выпускающих это прогрессивное оборудование. В настоящее время производство фотосепараторов организовано в России, Италии, Японии, Корее, Китае и других странах [1, 2, 19, 24, 26, 76-79, 81, 82, 85, 86, 88-90, 94, 108, 128, 132, 135, 139-146, 148, 149].

Завод «Воронежсельмаш» выпускал отечественные фотосепараторы серии Ф (Ф5.1, Ф10.1, Ф15.1 и Ф20.1) и СВ (СВ-1, СВ-2, СВ-3 и СВ-4), техническая характеристика которых приведена в приложениях А и Б. Указанная в технической характеристике производительность реализуется только при малом содержании

примесей в обрабатываемом материале.

На фотосепараторах производства завода «Воронежсельмаш» применялись быстродействующие эжекторы, минимальное время открытия которых 1 мс. Ресурс эжекторов составляет 6 млрд. циклов [23]. Видеокамеры с разрешением 2048 пикселей и частотой съёмки до 15000 кадров в секунду способны распознать до 16000 оттенков. Камеры могут распознать на частицах дефекты размером от 0,2 мм.

В случае высокой засорённости исходного продукта фотосепаратор может быть оборудован ресортировочным лотком 2 (рис. 1.2) для обработки возвратной фракции.

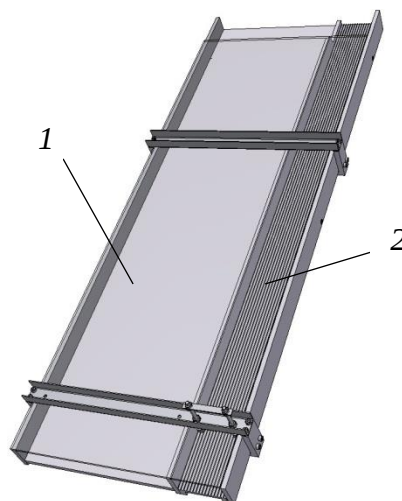


Рисунок 1.2 – Скатные лотки:

1 – скатный лоток для исходного вороха; 2 – ресортировочный скатный лоток

В этом случае для уменьшения потерь качественного продукта полученный при первом цикле очистки отход подаётся на ресортировочный лоток 2 для повторной его очистки. На рисунке 1.2 ресортировочный лоток выполнен рифлёным.

Фотосепараторы серии СВ отличаются возможностью установки лазерного источника освещения. Данный сортировщик за счёт использования современных оптоволоконных лазерных технологий позволяет сепарировать семена и зерно не только по внешним параметрам, таким как цвет, текстура, элементы формы, размера, но и по скрытым внутренним признакам [22]. Это способствует повышению качества очистки, например, выделению травмированных семян, а также пора-

жённых болезнями и насекомыми.

Оптическая система фотосепараторов герметизирована при помощи стекла. При этом предусмотрен механизм очистки стёкол, состоящий из магнитного бесштокового цилиндра и стеклоочистителя. Механизм очистки стёкол смотрового отсека включается автоматически. Интервал между очистками и количество циклов очистки устанавливается оператором.

Использование преимуществ фотосепараторов и достижение высоких показателей очистки возможны лишь при правильной установке и эксплуатации фотосепараторов в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя [108].

Итальянская фирма SEA выпускает фотосепараторы PIXEL NEXT, CHROME и другие. Фотосепараторам серии NEXT характерна интеллектуальная и гибко настраиваемая система автокоррекции чувствительности, которая позволяет автоматически адаптировать чувствительность каждого пикселя CCD камеры к освещённости продукта. Освещение продукта происходит посредством светодиодной LED системы, срок службы которой более 100 000 часов [135].

Сепараторы данной серии имеют возможность сортировки продукта по двум параметрам пятна дефекта одновременно. Загрузочный бункер может быть оснащён ёмкостными датчиками уровня продукта, благодаря которым контролируется подача материала вибропитателем. Аппарат имеет блочно-модульную конструкцию, что значительно упрощает обслуживание и ремонт аппарата. Техническая характеристика фотосепараторов PIXEL NEXT приведена в приложении В [141].

Наиболее производительным RGB сортировщиком на рынке является фотоэлектронный сепаратор SEA CHROME. Будучи оснащённым многоцветными RGB камерами с разрешением 4096 пикселей и LED освещением, они позволяют различать дефекты размером от 0,1 мм. Этот сортировщик используют, устанавливая от 1 до 7 лотков, обеспечивая при этом производительность 0,5... 50 т/ч. В моделях с несколькими лотками доступны опции ресортировки. Также доступно до 100 различных заранее подготовленных программ сортировки. Техническая характеристика фотосепараторов SEA CHROME приведена в приложении Г [139].

Предприятия Кореи выпускают фотосепараторы моделей ROYAL, NANTA PUBU King, NANTA 9000T, NANTA ACE, SPARK и др. Некоторые их технические характеристики приведены в приложениях Д и Е [142-146, 149]. Данные фотосепараторы снабжены светодиодной подсветкой и CCD камерами.

Техническая характеристика некоторых фотосепараторов японской компании SATAKE представлена в приложении Ж [148]. Сортировщики SATAKE серии REZS оснащены самыми современными полноцветными японскими камерами, которые распознают цвета подобно человеческому глазу, что позволяет выявлять самые незначительные различия оттенков. Данные машины имеют предустановленное программное обеспечение, которое автоматически анализирует цвет годного продукта и примесей и производит настройку световой чувствительности оборудования. LED-осветители оптических сортировщиков создают оптимальную освещённость обрабатываемого продукта и имеют длительный срок службы, что позволяет сократить эксплуатационные расходы машины. Сопла пневмозжектов фотосепараторов серии REZS размещены с шагом 5 мм, что повышает точность сортировки и снижает потери годного продукта в сравнении с соплами большего размера. Комплектоваться сортировщики могут гладкими и рифлёными скатными лотками различной ширины.

Большинство современных фотосепараторов, производимых в мире, имеют возможность сортировки в ближнем инфракрасном диапазоне световых волн, невидимых для человека. Это позволяет разделять компоненты не только по цвету, но и по их текстуре, что расширяет список сортируемых продуктов и повышает качество фотосепарирования.

Практически все современные фотосепараторы имеют возможность удалённого доступа к ним, настройки и исправления неисправностей через интернет. Это позволяет сократить время простоя машины и обучения персонала, а также выявить ошибки эксплуатации.

Скатный лоток является одной из наиболее важных механических составляющих фотосепараторов, но в ходе литературного обзора нам не удалось обнаружить обоснования длины скатной поверхности для очистки гречихи.

Таким образом, становится ясно, что фотосепаратор – это высокотехнологичное оборудование нового поколения, в котором применяются новейшие разработки в области оптики, электроники и программирования. Данные машины позволяют достигать очень высоких результатов очистки (до 99,99% чистоты). При этом фотосепараторы не имеют рабочих органов, травмирующих обрабатываемый материал. Поэтому целесообразность применения фотосепаратора при подготовке семян гречихи не вызывает сомнений. Однако в фотосепараторе остаются нерешённые моменты, например, неизвестно какой именно должна быть длина скатного лотка при очистке гречихи.

В настоящее время всё большее количество сельхозпроизводителей применяют фотосепаратор для очистки различных семян и крупы. Фотосепарация является очень эффективным способом очистки и сортировки зерна и различных сельскохозяйственных продуктов [17, 18]. При этом существенно уменьшается количество механических воздействий на семена, а соответственно и их травмирование.

Важно помнить, что фотосепараторы необходимо размещать в конце технологической линии, после того как минеральные, металломагнитные и прочие примеси максимально выделены из обрабатываемого материала. В таком случае эффективность фотосепаратора будет наибольшей. Поэтому, как правило, оптические сортировщики устанавливают в конце технологической линии или обособлено. В первом случае необходимо учитывать, что возможные вибрации конструкции, вызванные другими зерноочистительными машинами, могут отрицательно влиять на качество фотосепарации. Это необходимо учитывать при разработке современных семяочистительных линий.

Разные (по плотности, коэффициенту трения по скатной поверхности и т. д.) компоненты сыпучей смеси могут двигаться по скатному лотку с разной скоростью. В связи с этим может возникать наложение компонентов в зоне обследования. Также при этом может осложняться процесс выбраковки. Всё это влияет на качество разделения компонентов и производительность фотосепаратора в целом. Однако математической модели, описывающей движение обрабатываемых частиц

в фотосепараторе, которая учитывала бы разные коэффициенты трения частиц по скатной поверхности, в ходе нашего обзора обнаружено не было. Поэтому для определения влияния разных коэффициентов трения обрабатываемых частиц по скатному лотку на качество фотосепарирования необходимо разработать математическую модель движения частиц в фотосепараторе.

Мы разделяем точку зрения Шафоростова В.Д., что для обеспечения высокого качества фотосепарирования целесообразно предварительно не только очищать зерновой ворох, но и фракционировать его [137].

Известно довольно много случаев эффективного использования фотосепарирования в сельском хозяйстве. Фотосепаратор позволяет достичь высоких результатов в очистке семян пшеницы, риса, ячменя, подсолнечника и других сельскохозяйственных культур, а также гречневой крупы [3, 10, 21, 24, 27, 45, 48, 91].

Некоторые фотосепараторы довольно узко специализированы. Например, фотосепараторы Daewoo серии NANTA 9000T предназначены в основном для очистки различных сортов чёрного или зелёного чая. Однако большинство фотосепараторов универсальны и могут обрабатывать различные сыпучие материалы.

1.4. Выводы

На основании проведённого литературного обзора можно сделать следующие выводы:

- гречиха — это важная народно-хозяйственная культура, которая широко используется как ценная парозанимающая, медоносная культура и хороший предшественник; также гречиху используют как для повышения плодородия почв, так и в качестве экологически чистого, физиологически полноценного, легкоусвояемого диетического и целебного продукта питания;

- в ходе литературного обзора нами не было обнаружено технологической линии семяочистительного агрегата, содержавшего минимальное количество зерноочистительных машин, применение которых позволило бы выделить трудно-выделимые примеси (обрушенные зерновки) из семенного материала гречихи, не увеличивая травмирования семян;

- для получения кондиционных семян гречихи и увеличения их выхода необходимо минимизировать количество и интенсивность механических воздействий, оказываемых на зерновки, на всём протяжении производства. К данному вопросу необходимо подходить комплексно, начиная с уборки и заканчивая реализацией семян гречихи, учитывая влияние не только рабочих машин, но и транспортирующего и вспомогательного оборудования;

- убирать гречиху целесообразно отдельным способом роторными комбайнами на щадящих режимах обмолота;

- послеуборочную обработку необходимо проводить без укладки бункерного вороха на ток или площадку с фракционированием обрабатываемого материала при первичной его очистке на двухаспирационной воздушно-решётной зерноочистительной машине;

- в ходе обзора обнаружены неоднозначные рекомендации по комплектowaniu и настройке воздушно-решётной машины для очистки гречихи;

- при хранении семенного материала (даже временном) лучше применять силосы как можно меньшей высоты и большего диаметра с конусным дном, внутренняя сторона которого имеет покрытие, снижающее травмирование семян при загрузке. При этом целесообразно проводить озонирование в силосах, что позволит заменить протравливание и повысить качество семян;

- семенной материал гречихи зачастую содержит обрушенные зерновки, которые крайне трудно выделить воздушной и решётной очисткой (а также триерами и на пневмостоле). Однако обрушенные зерновки резко отличаются по цвету от полноценных семян, что может позволить эффективно применять фотосепаратор при окончательной их обработке;

- фотосепаратор – это высокотехнологичное оборудование нового поколения, в котором применяются новейшие разработки в области оптики, электроники и программирования. Применение фотосепараторов позволяет достигать очень высоких результатов очистки (до 99,99% чистоты). При этом фотосепараторы не имеют активных рабочих органов, травмирующих обрабатываемый материал, и успешно применяются в сельском хозяйстве;

- обоснование длины скатного лотка фотосепаратора для очистки гречихи и математическое описание движения обрабатываемых частиц в фотосепараторе в ходе литературного обзора (включая зарубежные источники) нами обнаружены не были;

- также в ходе обзора не были найдены рациональные режимные и конструктивные параметры фотосепаратора при очистке гречихи на семена.

Исходя из вышесказанного, были сформулированы задачи исследований.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОТОСЕПАРИРОВАНИЯ ГРЕЧИХИ

2.1. ПРИНЦИП ДОЗИРОВАНИЯ СЕМЯН И ИХ ДВИЖЕНИЕ В ФОТОСЕПАРАТОРЕ

Подаваемый на фотосепаратор семенной материал загружается в бункер с разделяющими скатами, которые служат для более равномерного его заполнения. Бункер имеет два датчика: верхнего и нижнего уровня, с помощью которых поддерживается необходимый уровень обрабатываемого материала в бункере. При уменьшении количества обрабатываемого материала до датчика нижнего уровня фотосепаратор автоматически останавливается.

Применение бункера с датчиками нижнего и верхнего уровней обеспечивает практически неизменное давление обрабатываемого материала на горизонтальный лоток вибропитателя, которое не должно превышать 12 кг.

Принцип фотосепарирования изображён на рисунке 2.1.

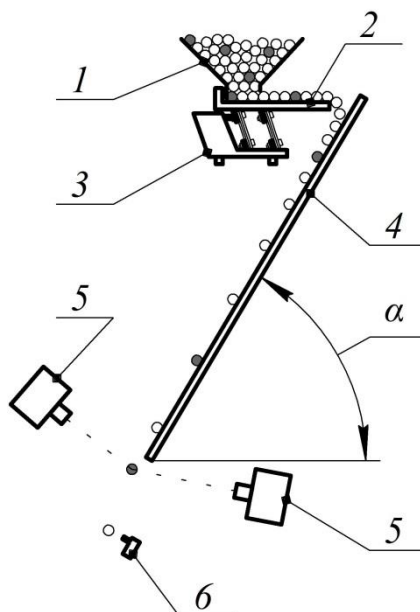


Рисунок 2.1 – Принцип фотосепарирования:

α – угол установки скатного лотка к горизонту, °; 1 – бункер; 2 – горизонтальный лоток вибропитателя; 3 – вибропривод электромагнитный (вибратор); 4 – наклонный скатный лоток; 5 – камеры; 6 – пневмоэжектор

Обрабатываемый материал загружается в оперативный бункер 1, выход из которого направлен в вибропитатель. Затем, как только включается электромагнитный привод 3, горизонтальный лоток вибропитателя 2, закреплённый на опо-

рах из нескольких слоёв текстолитовых пластин, начинает совершать продольные возвратно-поступательные движения – колебания. Под действием давления материала из оперативного бункера 1 и колебаний горизонтального лотка вибропитателя 2 частицы начинают двигаться («стекать») на лоток 4. Таким образом осуществляется подача зернового материала на наклонный скатный лоток 4. При помощи электромагнитного вибропривода 3 изменяют амплитуду колебаний лотка вибропитателя 2. При этом изменяется количество частиц, падающих с лотка вибропитателя 2 на скатный лоток 4 в единицу времени. Так устанавливают необходимую производительность фотосепаратора. Чтобы прекратить подачу материала вибратор 3 отключают и частицы перестают двигаться. Таким образом вибропитателем регулируют количество частиц обрабатываемого материала, подаваемых в единицу времени на скатный лоток 4. При этом их скорость движения в начале скатного лотка 4 остаётся неизменной.

Далее зерновки двигаются по наклонному скатному лотку 4, который установлен под углом α к горизонту, и предназначен для разгона и рассредоточения обрабатываемых частиц. В случае не однослойной подачи материала на лоток 4, частицы при движении по скатной поверхности выравниваются в один слой. Таким образом, обрабатываемый материал, попадая на скатный лоток 4, разгоняется, рассредоточивается и направляется в зону обследования. Поток частиц обрабатываемого материала, который сходит со скатного лотка 4, сканируется камерами 5 с двух сторон (рис. 2.1). Очевидно, что для обеспечения наивысшего качества распознавания дефектов и выбраковки примесей частицы обрабатываемого материала должны сходить со скатного лотка 4 только однослойным потоком с некоторым интервалом. Для этого необходимым условием является однослойная подача обрабатываемого материала вибропитателем на скатный лоток 4. В противном случае однослойность и тем более разреженность схода со скатного лотка 4 не могут быть гарантированы.

Для определения и подтверждения возможности однослойной подачи обрабатываемого материала вибропитателем на скатный лоток была проведена высокоскоростная видеосъёмка. Видеозапись подачи гречихи вибропитателем на скат-

ный лоток производили в двух плоскостях, перпендикулярных скатной поверхности: у верхнего торца и сбоку. Полученные кадры высокоскоростной видеосъёмки приведены на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Кадры высокоскоростной съёмки:
а – у верхнего торца скатного лотка; *б* – сбоку

Кадры высокоскоростной съёмки, приведённые на рисунке 2.2, подтверждают и наглядно показывают возможность однослойной подачи обрабатываемого материала вибропитателем на скатный лоток. Очевидно, что для повышения производительности фотосепаратора и обеспечения высокого качества сепарирования обрабатываемый материал следует подавать на скатный лоток сплошным (непрерывным) однослойным потоком.

Анализ видеозаписи также позволил сделать вывод, что при движении зерновок по скатному лотку преобладающим было их скольжение, качение практически отсутствовало. Возможно, это связано с неправильной пирамидальной формой семян гречихи.

Анализируя работу фотосепаратора, можно сделать вывод, что одним из наиболее значимых его механических составляющих является скатный лоток. От конструктивных параметров и состояния скатной поверхности зависит характер движения частиц, что влияет на качество фотосепарирования. Поэтому для определения зависимости качества фотосепарирования от конструктивных параметров скатного лотка необходимо разработать математическую модель движения частиц

по скатному лотку фотосепаратора.

2.2. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО СКАТНОМУ ЛОТКУ ФОТОСЕПАРАТОРА

Для разработки математической модели вначале рассмотрим попадание обрабатываемых частиц на скатный лоток (рис. 2.3). Для упрощения расчётов сопротивлением воздуха и упругими свойствами зерновок необходимо пренебречь, приняв зерновки за абсолютно твёрдые тела. Допустим также, что частицы одинаковы по размеру и массе.

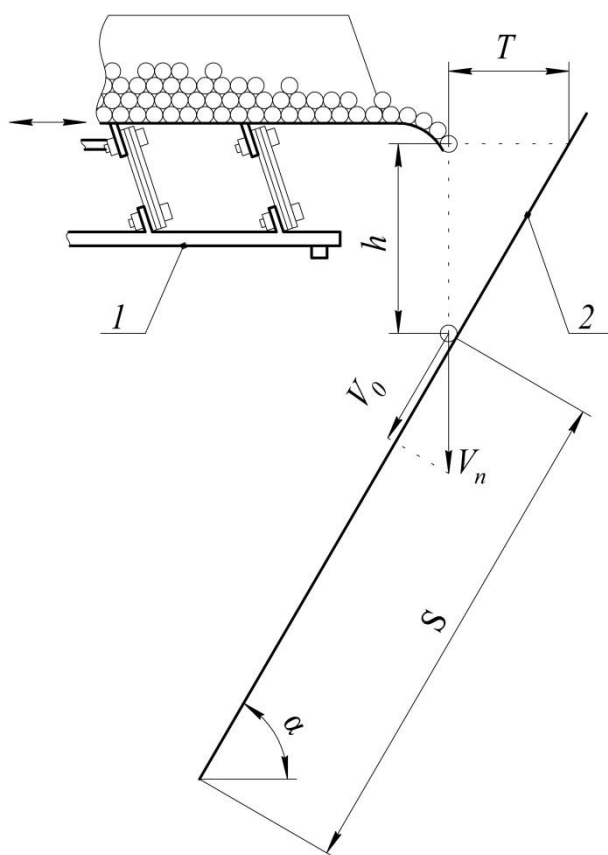


Рисунок 2.3 – Схема движения обрабатываемых частиц:

1 – вибропитатель; 2 – скатный лоток; α – угол наклона скатного лотка, °; T – расстояние от вибропитателя до скатного лотка в горизонтальной плоскости, м; h – высота падения частиц с вибропитателя на скатный лоток, м; V_n – скорость падения частиц на скатный лоток с вибропитателя, м/с; V_0 – начальная скорость движения частиц по скатному лотку, м/с; S – путь частиц по скатному лотку, м

Начальную скорость частиц на наклонной плоскости V_0 можно определить при помощи следующего уравнения (рисунок 2.3):

$$V_0 = V_n \cdot \sin \alpha, \quad (2.1)$$

где V_0 – начальная скорость движения частицы на наклонной плоскости (в начале скатного лотка), м/с;

V_n – скорость падения частиц с вибропитателя на скатный лоток, м/с;

α – угол наклона плоскости (скатного лотка) к горизонту, ° (рис. 2.3).

Скорость V_n определяется следующим уравнением:

$$V_n = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \quad (2.2)$$

где g – ускорение свободного падения ($g \approx 9,81$), м/с²;

h – высота падения частиц от вибропитателя до скатного лотка, м.

Меняя значение расстояния от вибропитателя до скатного лотка в горизонтальной плоскости T (рисунок 2.3), можно изменять начальную скорость движения частиц на скатном лотке V_0 (т. к. будут меняться: высота h и скорость падения частиц на скатный лоток V_n).

Путь обрабатываемых частиц по скатной поверхности S можно определить, измерив длину лотка от места падения частиц на него до края скатной поверхности (рисунок 2.3).

Перемещение обрабатываемого материала по скатному лотку можно рассмотреть, как движение частиц по наклонной плоскости. При этом будем рассматривать их скольжение, так как видеоматериал высокоскоростной съёмки подтвердил, что качение зерновок гречихи по скатному лотку практически отсутствует. Воспользуемся известным дифференциальным уравнением движения частицы материала по наклонной плоскости (рисунок 2.4) [20]:

$$m \cdot \frac{d^2 S}{dt^2} = m \cdot \frac{dV}{dt} = m \cdot g \cdot \sin \alpha - f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha, \quad (2.3)$$

где m – масса частицы обрабатываемого материала, кг;

S – путь частиц по скатному лотку, м;

V – скорость движения частицы обрабатываемого материала по наклонной плоскости, м/с;

t – время движения частицы по наклонной плоскости (скатному лотку), с;

f – коэффициент трения частицы по скатной поверхности.

Уравнение (2.3) также можно записать следующим образом:

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot \sin \alpha - f \cdot g \cdot \cos \alpha = g \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha). \quad (2.4)$$

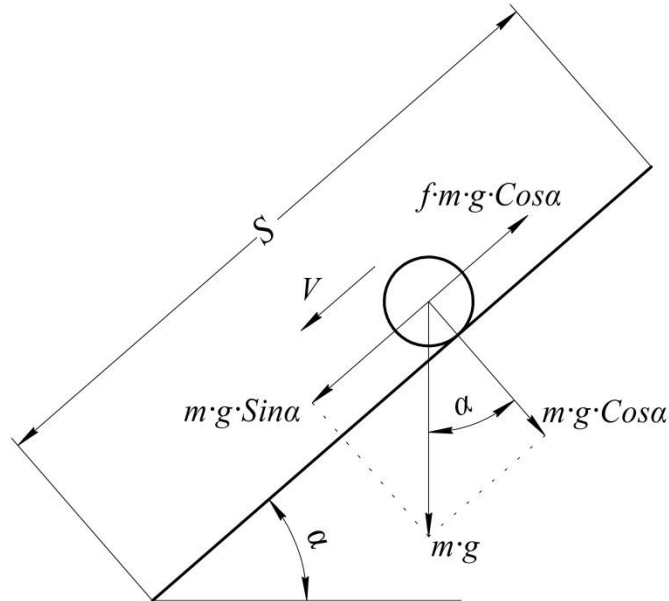


Рисунок 2.4 – Движение частицы по наклонной плоскости:

m – масса частицы обрабатываемого материала, кг; S – путь, пройденный частицей по наклонной плоскости, м; V – скорость движения частицы обрабатываемого материала по наклонной плоскости, м/с; g – ускорение свободного падения ($g \approx 9.81$), м/с²; α – угол наклона плоскости (скатного лотка) к горизонту, °; f – коэффициент трения частицы по скатной поверхности

При этом коэффициент трения можно определить, используя уравнение:

$$f = \tan \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}, \quad (2.5)$$

где φ – угол трения частицы по скатной поверхности, °.

Подставив уравнение (2.5) в уравнение (2.4) запишем равенство:

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot (\sin \alpha - \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \cdot \cos \alpha) = g \cdot (\frac{\sin \alpha \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \cos \alpha}{\cos \varphi}),$$

упростив которое, получим:

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi}. \quad (2.6)$$

Проинтегрировав уравнение (2.6) два раза при начальных условиях:

$$V = V_0; S = 0 \text{ при } t = 0,$$

получим уравнение скорости движения частицы по скатному лотку в любой мо-

мент времени:

$$V = V_0 + \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot g \cdot t \quad (2.7)$$

и уравнение пройденного пути за какой-то промежуток времени:

$$S = V_0 \cdot t + \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{2\cos \varphi} \cdot g \cdot t^2. \quad (2.8)$$

Для упрощения представления формул примем, что:

$$\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot g = z. \quad (2.9)$$

Как правило, угол установки скатного лотка в фотосепараторе α – это величина известная, в противном случае его несложно определить. Угол трения φ (или коэффициент трения f) частиц по скатной поверхности можно измерить.

В фотосепараторах скатные лотки устанавливаются под углом к горизонту, который превышает угол трения частиц по скатной поверхности ($\alpha > \varphi$), поэтому частицы обрабатываемого материала ускоряются, двигаясь по скатному лотку. Это условие позволяет также зерновкам в конце скатного лотка двигаться разреженным потоком, что обеспечивает высокое качество фотосепарации.

На скатный лоток частицы подаются последовательно, через некоторый промежуток времени, который, допустим, равен t_0 . Тогда путь S_{t-t_0} , который пройдет последующая частица за некоторый промежуток времени, согласно уравнению (2.8) будет равен:

$$S_{t-t_0} = V_0 \cdot (t - t_0) + \frac{g \cdot \sin(\alpha - \varphi)}{2\cos \varphi} \cdot (t - t_0)^2, \quad (2.10)$$

где S_{t-t_0} – путь последующей частицы, пройденный по скатной поверхности, м;

t_0 – время, через которое каждая последующая частица попадает на скатный лоток, с;

$t - t_0$ – время движения последующей частицы по скатному лотку, с.

Вычитая почленно уравнение (2.10) из уравнения (2.8), подставив в них уравнение (2.9), получим расстояние (интервал) S_{int} между предыдущей и после-

дующей частицами материала в любой момент времени их движения по скатному лотку:

$$\begin{aligned} S_{\text{int}} = S - S_{t-t_0} &= V_0 \cdot t + \frac{z \cdot t^2}{2} - V_0 \cdot t + V_0 \cdot t_0 - \frac{z \cdot t^2}{2} + \frac{2 \cdot z \cdot t \cdot t_0}{2} - \frac{z \cdot t_0^2}{2} \Rightarrow \\ &\Rightarrow S_{\text{int}} = V_0 \cdot t_0 + \frac{z \cdot t_0 \cdot (2t - t_0)}{2}, \end{aligned} \quad (2.11)$$

где S_{int} – интервал между предыдущей и последующей частицами в любой момент времени их движения по скатной поверхности, м.

Анализируя выражения (2.11), можно прийти к выводу, что с увеличением начальной скорости частиц на скатном лотке V_0 и времени движения частиц по скатной поверхности t , интервал между частицами на скатном лотке S_{int} увеличивается.

Как видно из уравнений (2.7), (2.8) и (2.11), если угол установки скатного лотка к горизонту α больше угла трения частиц обрабатываемого материала по скатной поверхности φ , то скорость частиц на скатном лотке V и интервал между частицами S_{int} увеличиваются с течением времени.

Максимальную производительность фотосепаратора при однослойной подаче материала на скатный лоток можно обеспечить лишь сплошной подачей обрабатываемых частиц. Если обрабатываемый материал подавать на скатный лоток сплошным (непрерывным) однослойным потоком, то путь S_{t_0} , который предыдущая частица пройдёт по скатной поверхности до попадания на скатный лоток последующей за ней частицы, будет равен её размеру:

$$S_{t_0} = r, \quad (2.12)$$

где S_{t_0} – путь, пройденный предыдущей частицей по скатному лотку до попадания на скатную поверхность последующей частицы, м;

r – размер частицы обрабатываемого материала (наименьший размер из трёх: длина, ширина и толщина), м.

При этом время прохождения предыдущей частицей пути S_{t_0} будет равно:

$$t = t_0. \quad (2.13)$$

Подставив уравнения (2.9), (2.12) и (2.13) в уравнение (2.8), получим:

$$S_{t_0} = r = V_0 \cdot t_0 + \frac{z \cdot t_0^2}{2}$$

или:

$$z \cdot t_0^2 + 2 \cdot V_0 \cdot t_0 - 2 \cdot r = 0. \quad (2.14)$$

Из уравнения (2.14), можно найти t_0 :

$$t_0 = \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot z \cdot r} - V_0}{z}. \quad (2.15)$$

Аналогично, из уравнения (2.8) можно выразить и определить время движения частиц от места их падения на скатный лоток до его края t_k :

$$t_k = \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot z \cdot S} - V_0}{z}, \quad (2.16)$$

где t_k – время движения частиц от места их падения на скатный лоток до его края, с.

Теперь для определения скорости схода частиц со скатного лотка (V_{cx}) все необходимые показатели известны. Скорость схода V_{cx} (рисунок 2.5) можно вычислить, подставив в уравнение (2.7), выражения (2.9) и (2.16):

$$V_{cx} = V_0 + z \cdot t_k, \quad (2.17)$$

где V_{cx} – скорость схода частиц со скатного лотка, м/с.

При фотосепарировании распознавание дефектов и выбраковка примесей происходит после скатного лотка по ходу движения частиц обрабатываемого материала. От того, как будет осуществлена подача материала на скатный лоток, и как будут двигаться обрабатываемые частицы по скатному лотку, зависит качество фотосепарирования. При подаче обрабатываемого материала на скатный лоток не однослойным потоком возможно одновременное попадание частиц, идущих друг за другом, в зону сканирования, что затруднит распознавание дефектов, снижая тем самым качество сортировки. Однако даже однослойная подача обрабатываемого материала на скатный лоток не может гарантировать высокое качество фотосепарирования.

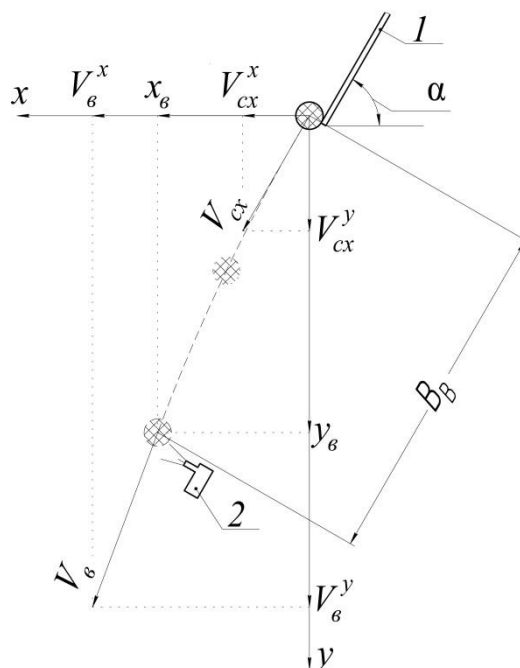


Рисунок 2.5 – Схема свободного падения частиц от скатного лотка до места выбраковки примесей:

1 – скатный лоток; 2 – пневмоэжектор; α – угол наклона скатного лотка к горизонту, °; x , y – оси координат; V_{cx} – скорость схода частиц со скатного лотка, м/с; V_{cx}^x – скорость схода частиц со скатного лотка, спроецированная на ось x , м/с; V_{cx}^y – скорость схода частиц со скатного лотка, спроецированная на ось y , м/с; x_B – координата частиц по оси x в месте выбраковки примесей, м; y_B – координата частиц по оси y в месте выбраковки примесей, м; V_B – скорость движения частиц в месте выбраковки примесей, м/с; V_B^x – скорость движения частиц в месте выбраковки примесей, спроецированная на ось x , м/с; V_B^y – скорость движения частиц в месте выбраковки примесей, спроецированная на ось y , м/с; B_B – расстояние от скатного лотка до места выбраковки примесей в плоскости скатного лотка, м

Обрабатываемые частицы сходят со скатного лотка, попадают в зону сканирования, затем пролетают место выбраковки примесей. При выбраковке воздушный импульс некоторое время воздействует на дефектную частицу, изменяя траекторию её движения. Для того чтобы последующая за дефектной частица не попала в воздушный факел при выбраковке, необходимо чтобы в момент попадания предыдущей (дефектной) частицы в поле действия воздушного факела между частицами, идущими друг за другом, был достаточный интервал. В противном случае может наблюдаться увеличение потерь годного продукта при выбраковке примесей, т. е. снижение качества фотосепарирования.

После скатного лотка частицы движутся в свободном падении до места выбраковки примесей, как показано на рисунке 2.5. Так как расстояние от скатного лотка до места выбраковки примесей невелико (около 20...50 мм), то для упрощения описания свободного падения частиц и расчётов сопротивлением воздуха следует пренебречь.

На рисунке 2.5 начало координат расположено в центре частицы в момент её схода со скатного лотка, при этом ось y направлена вниз, а ось x – влево.

Движение частиц, изображённое на рисунке 2.5, можно описать следующими выражениями:

$$S_x = x_0 + V_{cx} \cdot \cos \alpha \cdot t_{cn}, \quad (2.18)$$

$$V_x = V_{cx}^x = V_{cx} \cdot \cos \alpha, \quad (2.19)$$

$$a_x = 0 \quad (2.20)$$

и

$$S_y = y_0 + V_{cy} \cdot \sin \alpha \cdot t_{cn} + \frac{g \cdot t_{cn}^2}{2}, \quad (2.21)$$

$$V_y = V_{cy}^y + g \cdot t_{cn}, \quad (2.22)$$

$$V_{cy}^y = V_{cy} \cdot \sin \alpha, \quad (2.23)$$

$$a_y = g, \quad (2.24)$$

где S_x – координата (путь) частиц по оси x во время их свободного падения, м;

x_0 – координата частиц по оси x в момент их схода со скатного лотка (при расположении координатных осей, подобно рисунку 2.5, $x_0 = 0$), м;

t_{cn} – время свободного падения частиц от скатного лотка до места выбраковки примесей, с;

V_{cx}^x – скорость схода частиц со скатного лотка, спроецированная на ось x , м/с;

a_x – ускорение движения частиц во время их свободного падения от скатного лотка, спроецированное на ось x , м/с²;

S_y – координата (путь) частиц по оси y во время их свободного падения, м;

y_0 – координата частиц по оси y в момент их схода со скатного лотка (при

расположении координатных осей, подобно рисунку 2.5, $y_0 = 0$), м;

V_{cx}^y – скорость схода частиц со скатного лотка, спроецированная на ось y , м/с;

a_y – ускорение движения частиц во время их свободного падения от скатного лотка, спроецированное на ось y , м/с².

Скорость схода частиц со скатного лотка раскладывается на две составляющие: спроецированную на ось x (V_{cx}^x) и спроецированную на ось y (V_{cx}^y).

При свободном падении ускорение частиц по оси x равно нулю (уравнение (2.20)), а по оси y оно соответствует ускорению свободного падения (уравнение (2.24)).

Величина расстояния B_B (рисунок 2.5) известна и зависит от конструкции фотосепаратора. Поэтому значение времени свободного падения частиц от скатного лотка до места выбраковки примесей (t_{cn}) можно определить следующим уравнением:

$$t_{cn} = \frac{B_B \cdot \cos \alpha}{V_{cx} \cdot \cos \alpha} = \frac{B_B}{V_{cx}}, \quad (2.25)$$

где B_B – расстояние между краем скатного лотка и местом выбраковки примесей в плоскости скатного лотка (рис. 2.5), м.

Тогда уравнение скорости движения частиц в месте выбраковки примесей (V_B) будет иметь следующий вид:

$$V_B = \sqrt{(V_{cx} \cdot \cos \alpha)^2 + (V_{cx} \cdot \sin \alpha + \frac{g \cdot B_B}{V_{cx}})^2}. \quad (2.26)$$

где V_B – скорость движения частиц в месте выбраковки примесей, м/с (рис. 2.5).

Таким образом, разработанная математическая модель описывает движение частиц обрабатываемого материала с момента их попадания на скатный лоток до места выбраковки примесей воздушным импульсом.

2.3. ОБОСНОВАНИЕ ДЛИНЫ СКАТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛОТКА ФОТОСЕПАРАТОРА

Как было сказано выше, состояние скатной поверхности влияет на качество

очистки. Из уравнения (2.11) видно, что от времени движения обрабатываемых частиц по наклонной плоскости (t), то есть и от длины скатного лотка, зависит интервал между частицами в конце скатного лотка. Следовательно, не только состояние скатной поверхности, но и её длина может влиять на качество фотосепарирования.

При обработке на фотосепараторе интервал между предыдущей и последующей обрабатываемыми частицами, двигающимися друг за другом, в момент попадания предыдущей частицы в поле действия воздушного факела пневмоэжектора (S_{int_B}) имеет прямое влияние на качество очистки. Данный интервал влияет на потери ценных семян при выбраковке примесей, так как в случае недостаточного интервала S_{int_B} при выбраковке предыдущей (дефектной) частицы в воздушный факел может попасть и последующая (годная) частица. Поэтому, чтобы снизить потери при выбраковке примесей на фотосепараторе, необходимо определить рациональную длину скатной поверхности, которая обеспечит выбраковку только дефектной частицы, при неизменных: угле наклона скатного лотка α , начальной скорости обрабатываемых частиц на скатном лотке V_0 , коэффициенте трения частиц по скатной поверхности f и расстоянию от скатного лотка до места выбраковки примесей (B_B). То есть, рациональной длиной скатной поверхности будет та, при которой интервал между предыдущей и последующей частицами будет достаточным, чтобы при выбраковке предыдущей частицы (примеси) в воздушный факел не попала последующая (годная) частица.

При выбраковке примесей пневмоклапан открывается на определённое время. То есть имеется длительность воздушного импульса – $t_{\text{ви}}$, которая определяется техническими характеристиками оборудования или настройками фотосепаратора. Важно, чтобы во время выбраковки предыдущей (дефектной) частицы последующая (годная) зерновка не попала в воздушный факел. Поэтому для минимизирования потерь годного продукта при фотосепарировании необходимо определить рациональное значение интервала S_{int_B} , которое гарантировало бы попадание последующей частицы в зону действия воздушного факела после предыду-

щей не ранее чем через время $t_{\text{ви}}$, в течение которого происходит выбраковка воздушным импульсом.

Чтобы гарантировать воздействие воздушного факела только на одну частицу в течение времени $t_{\text{ви}}$, определим минимальный интервал $S_{\text{int}_B}^{\min}$, который обеспечит воздействие воздушного импульса только на одну частицу, следующим выражением:

$$S_{\text{int}_B}^{\min} = \frac{V_B + V_{(t_B - t_0)}}{2} \cdot t_{\text{ви}}, \quad (2.27)$$

где $S_{\text{int}_B}^{\min}$ – минимальный интервал между частицами в момент попадания предыдущей частицы в поле действия воздушного факела (спустя время $t_B = t_k + t_{\text{cn}}$), который обеспечивает воздействие воздушного импульса только на одну частицу, м;

$V_{(t_B - t_0)}$ – скорость последующей частицы в момент попадания предыдущей частицы в место выбраковки примесей, м/с;

t_B – время движения обрабатываемых частиц к месту выбраковки ($t_k + t_{\text{cn}}$), с;

$t_{\text{ви}}$ – длительность воздушного импульса при выбраковке примеси, с.

Длительность воздушного импульса $t_{\text{ви}}$ – величина известная (зависит от технических характеристик или настройки фотосепаратора).

Скорость $V_{(t_B - t_0)}$ можно определить следующим образом:

$$V_{(t_B - t_0)} = \sqrt{(V_{\text{cx}} \cdot \cos \alpha)^2 + (V_{\text{cx}} \cdot \sin \alpha + g \cdot [t_{\text{cn}} - t_0])^2}. \quad (2.28)$$

Подставив уравнение (2.25) в выражение (2.28), получим:

$$V_{(t_B - t_0)} = \sqrt{(V_{\text{cx}} \cdot \cos \alpha)^2 + (V_{\text{cx}} \cdot \sin \alpha + g \cdot [\frac{B_B}{V_{\text{cx}}} - t_0])^2}. \quad (2.29)$$

Следовательно, для сокращения потерь годного продукта необходимо чтобы выполнялось следующее условие:

$$S_{\text{int}_B} \geq S_{\text{int}_B}^{\min}, \quad (2.30)$$

где S_{int_B} – интервал между частицами в момент попадания предыдущей частицы

в поле действия воздушного факела (в месте выбраковки примесей), м.

Интервал S_{int_B} определяется уравнением:

$$S_{\text{int}_B} = B_B - \frac{x_n}{\cos \alpha} - r, \quad (2.31)$$

где x_n – координата последующей частицы по оси x в момент попадания предыдущей частицы в место выбраковки примесей, м.

Координату x_n можно найти при помощи следующего уравнения:

$$x_n = x_0 + V_{cx} \cdot \cos \alpha \cdot (t_{cn} - t_0) = V_{cx} \cdot \cos \alpha \cdot \left(\frac{B_B}{V_{cx}} - t_0 \right). \quad (2.32)$$

Математическая модель, описанная вышеприведёнными уравнениями (начиная с пункта 2.2), справедлива лишь тогда, когда коэффициенты трения всех обрабатываемых частиц по наклонной поверхности одинаковы. Гречиха – культура неравномерного созревания. В связи с этим в зерновом ворохе гречихи, даже после первичной очистки, присутствуют семена разной степени зрелости, а также обрушенные зерновки. Спелые семена, незрелые и обрушенные зерновки гречихи имеют разный коэффициент трения по скатной поверхности.

Таким образом, коэффициенты трения обрабатываемых частиц по наклонной плоскости (особенно при обработке гречихи) могут различаться, что в свою очередь может привести к ухудшению качества очистки.

В том случае, если при движении по наклонной плоскости предыдущая частица будет иметь меньший коэффициент трения по скатной поверхности, чем последующая за ней частица или их коэффициенты трения по скатной поверхности будут равны, ухудшения качества не должно наблюдаться, так как интервал между частицами S_{int} с течением времени будет только увеличиваться (уравнение (2.11)). Однако, в случае, когда предыдущая частица будет иметь бóльший коэффициент трения по скатной поверхности, чем последующая за ней частица, возможно снижение качества очистки за счёт того, что интервал между частицами может уменьшаться с течением времени, последующая частица будет «догонять» предыдущую и при выбраковке предыдущей (дефектной) частицы в воздушный факел может попасть последующая (годная) частица. То есть необходимое усло-

вие, описанное уравнением (2.30) не будет выполняться. Поэтому необходимо разработать математическую модель движения частиц в фотосепараторе, которая учитывала бы разные коэффициенты трения обрабатываемых частиц по скатной поверхности в худшем из возможных вариантов – когда предыдущая частица имеет бóльший коэффициент трения по скатной поверхности, чем последующая за ней частица.

Для разработки математической модели с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности воспользуемся уравнением:

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot (\sin\alpha - f \cdot \cos\alpha).$$

Для упрощения представления формул обозначим:

$$g \cdot \sin\alpha - g \cdot f \cdot \cos\alpha = A. \quad (2.33)$$

При этом для предыдущей и последующей частиц уравнение (2.33) будет иметь вид:

$$g \cdot \sin\alpha - g \cdot f_1 \cdot \cos\alpha = A_1; \quad (2.34)$$

$$g \cdot \sin\alpha - g \cdot f_2 \cdot \cos\alpha = A_2, \quad (2.35)$$

где f_1 , f_2 – коэффициенты трения предыдущей и последующей частиц по скатной поверхности соответственно.

При разных коэффициентах трения частиц по скатной поверхности время их движения по лотку (t_1 и t_2) тоже будет разным. Тогда скорость движения предыдущей и последующей частиц на лотке, учитывая коэффициенты трения частиц по скатной поверхности, можно определить следующими выражениями:

$$V_1 = V_0 + A_1 \cdot t_1; \quad (2.36)$$

$$V_2 = V_0 + A_2 \cdot (t_1 - t_0^{mp}), \quad (2.37)$$

где V_1 и V_2 – скорость движения предыдущей и последующей частиц соответственно по лотку с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности, м/с;

t_1 – время движения предыдущей частицы по лотку с учётом её коэффициента трения по скатной поверхности, с;

t_0^{mp} – время, через которое на лоток поступает последующая частица с учётом коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, с.

Время t_0^{mp} можно определить следующим выражением:

$$t_0^{mp} = \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot A_1 \cdot r} - V_0}{A_1}. \quad (2.38)$$

Путь, пройденный предыдущей и последующей частицами с момента их попадания на лоток до его края с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности (S), будет одинаковый и может быть определён следующими уравнениями:

$$S = V_0 \cdot t_1^{mp} + \frac{A_1 \cdot t_1^{mp^2}}{2}; \quad (2.39)$$

$$S = V_0 \cdot t_2^{mp} + \frac{A_2 \cdot t_2^{mp^2}}{2}, \quad (2.40)$$

где t_1^{mp} , t_2^{mp} – время движения предыдущей и последующей частиц соответственно с момента их попадания на скатный лоток до его края с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности, с.

Из уравнения (2.39) можно вычислить время движения предыдущей частицы по скатному лотку (t_1^{mp}):

$$\begin{aligned} \frac{A_1}{2} \cdot t_1^{mp^2} + V_0 \cdot t_1^{mp} - S &= 0 \Rightarrow \\ \Rightarrow t_1^{mp} &= \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot A_1 \cdot S} - V_0}{A_1}. \end{aligned} \quad (2.41)$$

Аналогично, из уравнения (2.40) можно найти время движения последующей частицы по скатному лотку (t_2^{mp}):

$$\begin{aligned} \frac{A_2}{2} \cdot t_2^{mp^2} + V_0 \cdot t_2^{mp} - S &= 0 \Rightarrow \\ \Rightarrow t_2^{mp} &= \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot A_2 \cdot S} - V_0}{A_2}. \end{aligned} \quad (2.42)$$

Тогда скорость схода частиц с лотка с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности (V_{cx_1} и V_{cx_2}) будет определяться следующими выражениями:

$$V_{cx_1} = V_0 + A_1 \cdot t_1^{mp}; \quad (2.43)$$

$$V_{cx_2} = V_0 + A_2 \cdot t_2^{mp}, \quad (2.44)$$

где V_{cx_1} и V_{cx_2} – скорость схода предыдущей и последующей частиц с лотка соответственно с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности, м/с.

Путь, пройденный частицами по лотку за какой-то промежуток времени с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности, можно определить следующими уравнениями:

$$S_1 = V_0 \cdot t_1 + \frac{A_1 \cdot t_1^2}{2}; \quad (2.45)$$

$$S_2 = V_0 \cdot (t_1 - t_0^{mp}) + \frac{A_2 \cdot (t_1 - t_0^{mp})^2}{2}, \quad (2.46)$$

где S_1 и S_2 – путь, пройденный предыдущей и последующей частицами соответственно по лотку за какой-то промежуток времени с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности, м.

Чтобы определить интервал между частицами в конце лотка с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности необходимо в уравнение (2.46) подставить t_1^{mp} вместо t_1 и вычесть полученное уравнение из уравнения (2.39). В итоге получим следующее равенство:

$$S_{int}^{mp} = V_0 \cdot t_0^{mp} + \frac{A_1 \cdot t_1^{mp^2}}{2} - \frac{A_2 \cdot (t_1^{mp} - t_0^{mp})^2}{2}, \quad (2.47)$$

где S_{int}^{mp} – интервал между предыдущей и последующей частицами в конце лотка с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности, м.

Для наглядности приведём графическое представление зависимости интервала S_{int}^{mp} от разницы коэффициентов трения частиц по скатной поверхности. Для этого предположим, что коэффициент трения предыдущей частицы (обрушенной

зерновки гречихи), которую нужно удалить при подготовке семян, варьирует в пределах 0,36...0,43, а последующей частицы (полноценной зерновки гречихи) – изменяется в интервале 0,3...0,4 [25]. Допустим также, что скатный лоток установлен под углом к горизонту (α) в 60° , размер обрабатываемых частиц (r) равен 0,005 м; расстояние от края скатной поверхности до места выбраковки примесей $B_B = 0,038$ м; минимальное время воздействия воздушного импульса (t_{eu}) составляет 0,001 с; начальная скорость частиц на скатном лотке (V_0) равна 0,95 м/с; путь частиц по скатному лотку (S) составляет 1 м, а ускорение свободного падения (g) примем равное $9,81 \text{ м/с}^2$.

Чтобы построить графики, зафиксируем крайние и одно из средних значений коэффициента трения предыдущей частицы по скатной поверхности из выбранного интервала (например, равным 0,43; 0,39 и 0,36) и будем изменять коэффициент трения последующей частицы, увеличивая разницу между ними (Δf) от 0 до 0,045 с шагом в 0,005. Разница коэффициентов трения частиц определяется уравнением:

$$\Delta f = f_1 - f_2, \quad (2.48)$$

где Δf – разница между коэффициентами трения предыдущей и последующей частиц по скатной поверхности.

Вычитая разницу в коэффициентах трения Δf из фиксированных значений коэффициента трения предыдущей частицы ($f_{1.1} = 0,43$; $f_{1.2} = 0,39$ и $f_{1.3} = 0,36$), получим значения коэффициента трения последующей частицы по скатной поверхности (f_2). Подставляя различные значения коэффициента трения последующей частицы по скатной поверхности (f_2) в вышеприведённую математическую модель, будем получать разные значения интервала между частицами в конце скатной поверхности S_{int}^{mp} , определяемого уравнением (2.47). Характер зависимости интервала S_{int}^{mp} от разницы коэффициентов трения частиц по скатной поверхности Δf приведён в виде трёх графиков на рисунке 2.6.

Анализируя графики, изображённые на рисунке 2.6, можно сказать, что чем

больше разница коэффициентов трения обрабатываемых частиц по скатной поверхности (Δf), тем меньший интервал будет между ними в конце лотка. Причём, если Δf более 0,04, то значение интервала S_{int}^{mp} приближается к нулю, т. е. возрастает вероятность того, что последующая частица «догонит» предыдущую частицу к концу скатной поверхности, следовательно, возможны потери при выбраковке примесей и осложнения при распознавании дефектов.

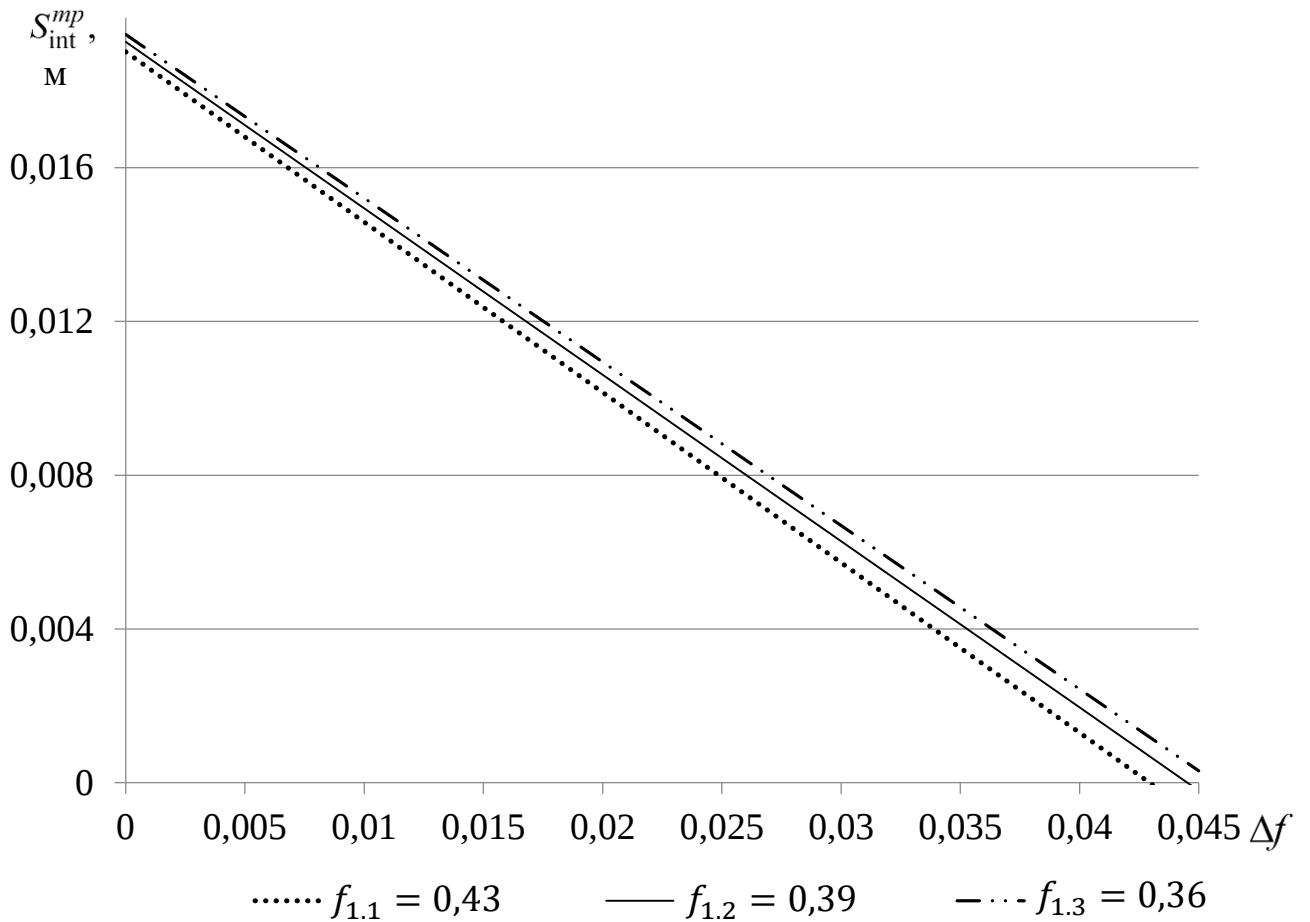


Рисунок 2.6 – Зависимость интервала S_{int}^{mp} от разницы коэффициентов трения частиц по скатной поверхности:

S_{int}^{mp} – интервал между предыдущей и последующими частицами в конце лотка с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности, м; Δf – разница коэффициентов трения предыдущей и последующей частиц по скатной поверхности

Из графиков рисунка 2.6 также видно, что чем меньше коэффициенты трения обрабатываемых частицы по скатной поверхности, тем бóльший будет интервал между частицами в конце лотка при равных прочих условиях.

Анализ графиков, изображённых на рисунке 2.6, позволяет сделать вывод,

что для повышения качества распознавания дефектов и минимизирования потерь при выбраковке желательно, чтобы частицы обрабатываемого на фотосепараторе материала имели как можно меньшую разницу в коэффициентах трения по скатной поверхности, тем более, если коэффициент трения примесей выше, чем годного продукта.

Чтобы описать движение частиц во время их свободного падения от скатного лотка до места выбраковки примесей, можно воспользоваться уравнениями (2.18...2.26), определяя при этом скорость схода частиц со скатного лотка (V_{cx_1} и V_{cx_2}) с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности – уравнениями (2.43) и (2.44). То есть время свободного падения частиц от лотка до места выбраковки примесей можно определить при помощи следующих уравнений:

$$t_{cn_1} = \frac{B_B}{V_{cx_1}}; \quad (2.49)$$

$$t_{cn_2} = \frac{B_B}{V_{cx_2}}, \quad (2.50)$$

где t_{cn_1} и t_{cn_2} – время свободного падения предыдущей и последующей частиц соответственно от лотка до места выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, с.

Минимальный интервал между частицами в момент попадания предыдущей частицы в поле действия воздушного факела пневмоэжектора с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности ($S_{\text{int}_B}^{\text{min} '}$), который обеспечит воздействие воздушного импульса только на одну частицу, можно определить уравнением:

$$S_{\text{int}_B}^{\text{min} '} = \frac{V_{n_B} + V_2'}{2} \cdot t_{\text{ви}}, \quad (2.51)$$

где $S_{\text{int}_B}^{\text{min} '}$ – минимальный интервал между частицами в момент попадания предыдущей частицы в место выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, который обеспечивает воздействие воздушного импульса только на одну частицу, м;

V_{n_B} – скорость последующей частицы в месте выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, м/с;

V_2' – скорость последующей частицы в момент попадания предыдущей частицы в место выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, м/с.

Скорость обрабатываемых частиц в месте выбраковки примесей (V_{np_B} и V_{n_B}) можно определить следующими выражениями:

$$V_{np_B} = \sqrt{(V_{cx_1} \cdot \cos \alpha)^2 + (V_{cx_1} \cdot \sin \alpha \cdot g \cdot t_{cn_1})^2}; \quad (2.52)$$

$$V_{n_B} = \sqrt{(V_{cx_2} \cdot \cos \alpha)^2 + (V_{cx_2} \cdot \sin \alpha + g \cdot t_{cn_2})^2}, \quad (2.53)$$

где V_{np_B} – скорость предыдущей частицы в месте выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, м/с.

Так как последующая частица имеет меньший коэффициент трения по скатной поверхности, чем предыдущая частица, то время движения последующей частицы до края скатного лотка (t_2^{mp}) будет меньше времени t_1^{mp} . Значит, время свободного падения последующей частицы до момента, когда предыдущая частица достигнет места выбраковки примесей, ($t_{cn_2} - t_0^{mp}$) измениться на величину ($t_1^{mp} - t_2^{mp}$). Тогда скорость V_2' возможно рассчитать следующим уравнением:

$$V_2' = \sqrt{(V_{cx_2} \cdot \cos \alpha)^2 + (V_{cx_2} \cdot \sin \alpha + g \cdot [t_{cn_2} - t_0^{mp} + (t_1^{mp} - t_2^{mp})])^2}. \quad (2.54)$$

Из анализа вышеприведённых суждений становится ясно, что при $S_{int}^{mp} \leq 0$, последующая частица вплотную приблизится к предыдущей частице в конце скатного лотка (при $S_{int}^{mp} = 0$) или даже раньше (при $S_{int}^{mp} < 0$). То есть существует вероятность того, что при выбраковке (или распознавании) предыдущей (дефектной) частицы в воздушный импульс (или в место сканирования) попадёт и последующая – годная частица. Поэтому для обеспечения высокого качества распознавания дефектов и минимизирования потерь годного продукта во время выбраковки примесей необходимо, чтобы выполнялись два условия:

$$S_{\text{int}}^{mp} > 0 \text{ и} \quad (2.55)$$

$$S_{\text{int}_B}^{mp} \geq S_{\text{int}_B}^{\min}, \quad (2.56)$$

где $S_{\text{int}_B}^{mp}$ – расчётный интервал между частицами в момент попадания предыдущей частицы в место выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, м.

Интервал $S_{\text{int}_B}^{mp}$ можно рассчитать по формуле:

$$S_{\text{int}_B}^{mp} = B_B - \frac{x_n^{mp}}{\cos \alpha} - r, \quad (2.57)$$

где x_n^{mp} – координата последующей частицы по оси x в момент попадания предыдущей частицы в место выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, м.

Координата x_n^{mp} рассчитывается следующим уравнением:

$$x_n^{mp} = V_{cx_2} \cdot \cos \alpha \cdot [t_{cn_2} - t_0^{mp} + (t_1^{mp} - t_2^{mp})]. \quad (2.58)$$

Как видно из вышеприведённых уравнений, на значение интервала $S_{\text{int}_B}^{mp}$ влияет время t_0^{mp} , которое зависит от размера частиц (r). При обработке сыпучей смеси с размером частиц, например, r_1 , интервал $S_{\text{int}_B}^{mp}$ будет отличаться от одноимённого интервала при обработке другой смеси с размером частиц r_2 (при одинаковых прочих условиях). Для наглядности приведём зависимость интервала между частицами в месте выбраковки примесей $S_{\text{int}_B}^{mp}$ от размера частиц (r) в виде графиков для разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности. Для этого примем следующие условия: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $\alpha = 60^\circ$; $B_B = 0,038 \text{ м}$; $t_{\text{бу}} = 0,001 \text{ с}$; $V_0 = 0,95 \text{ м/с}$; путь частиц по скатному лотку $S = 1 \text{ м}$. Также примем по три значения (крайние и среднее из ранее принятого интервала) коэффициентов трения частиц по скатной поверхности с одинаковой разницей между ними ($\Delta f = 0,04$): ($f_{1.1} = 0,43$, $f_{2.1} = 0,39$); ($f_{1.2} = 0,39$; $f_{2.2} = 0,35$) и ($f_{1.3} = 0,36$, $f_{2.3} = 0,32$). Изменяя значение размера частиц (r), допустим, от $0,004 \text{ м}$ до $0,008 \text{ м}$

с шагом в 0,0005 м, при помощи разработанной математической модели будем получать различные значения интервала между частицами в месте выбраковки примесей $S_{\text{int}_B}^{mp}$. Характер данной зависимости отражён на графиках рисунка 2.7.

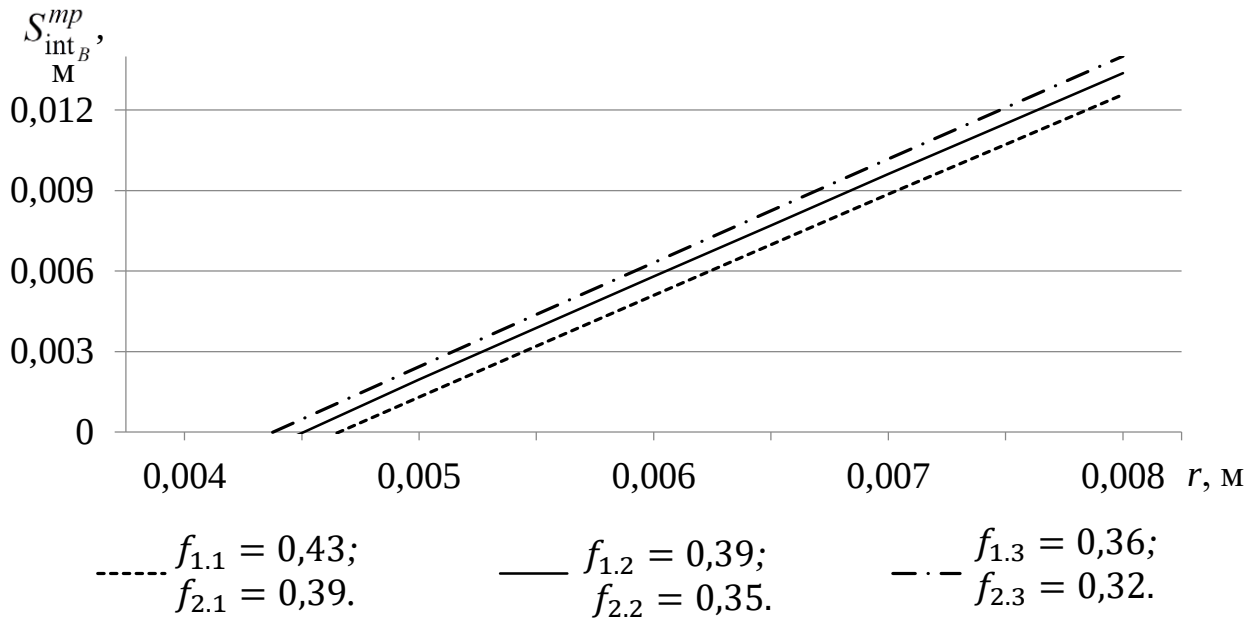


Рисунок 2.7 – Зависимость интервала $S_{\text{int}_B}^{mp}$ от размера обрабатываемых частиц:

$S_{\text{int}_B}^{mp}$ – расчётный интервал между частицами в момент попадания предыдущей частицы в место выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, м; r – размер частиц обрабатываемого материала, м

Анализируя графики на рисунке 2.7, можно сказать, что интервал $S_{\text{int}_B}^{mp}$ имеет прямую зависимость от размера обрабатываемых частиц (r), то есть с увеличением размера обрабатываемых частиц увеличивается и интервал между ними в месте выбраковки примесей и наоборот. Причём чем ниже коэффициенты трения частиц по скатной поверхности, тем бóльший интервал между ними будет в месте выбраковки примесей при одинаковых прочих условиях.

Реальный обрабатываемый на фотосепараторе материал содержит частицы разного размера. Если предположить, что на скатный лоток частицы последовательно поступают разного размера: сначала бóльшего размера, потом меньшего, затем снова бóльшего, то, даже при неизменной разнице в их коэффициентах трения по скатной поверхности, интервал между частицами в месте выбраковки при-

месей будет отличаться то в большую, то в меньшую сторону и может не удовлетворять условию $S_{\text{int}_B}^{mp} \geq S_{\text{int}_B}^{\min}$, описанному уравнением (2.56).

Из этого можно сделать вывод, что для минимизирования потерь годного продукта при выбраковке примесей семенной материал необходимо фракционировать перед обработкой его на фотосепараторе.

Также следует учесть, что при установке сплошной подачи обрабатываемого материала с вибропитателя на скатный лоток (как было оговорено) крайне сложно контролировать однослойность. В связи с этим возможны нарушения однослойности подачи. Поэтому длину скатной поверхности лучше выбирать максимальной, которая будет удовлетворять условиям: $S_{\text{int}}^{mp} > 0$ и $S_{\text{int}_B}^{mp} \geq S_{\text{int}_B}^{\min}$, чтобы была возможность выравнивания материала на скатной поверхности в один слой и частицы рассредоточивались, т. е. сход с лотка был разреженным, а не сплошным (выполнение условия $S_{\text{int}}^{mp} > 0$).

Приведённые во втором разделе уравнения, которые описывают движение обрабатываемых частиц в фотосепараторе, учитывают разный коэффициент трения частиц по скатной поверхности и свободное падение частиц от лотка до пневмоэжектора. То есть, представленные уравнения позволяют смоделировать движение частиц с момента их попадания на скатный лоток до места выбраковки примесей даже в случае, когда предыдущая частица (примесь) будет иметь бóльший коэффициент трения по скатной поверхности, чем последующая за ней частица (полноценная зерновка) – в худшем из возможных вариантов при фотосепарировании.

Чтобы воспользоваться разработанной математической моделью необходимо знать или определить (экспериментально или расчётным путём) значения следующих показателей: угол наклона скатной поверхности (α), коэффициенты трения обрабатываемых частиц по скатной поверхности (f_1 и f_2) или угол трения частиц по скатной поверхности (φ), размер обрабатываемых частиц (r), расстояние от края скатного лотка до места выбраковки примесей (B_B), время действия

воздушного импульса (t_{gu}), начальную скорость движения частиц на скатном лотке (V_0) и путь обрабатываемых частиц по скатной поверхности (S). Значения данных показателей позволят воспользоваться вышеприведённой математической моделью и при помощи уравнения (2.38) определить время, через которое на скатный лоток поступает каждая последующая частица (при сплошной однослойной подаче обрабатываемого материала) – t_0^{mp} ; с помощью уравнений (2.43) и (2.44) вычислить скорость схода обрабатываемых частиц со скатного лотка – V_{cx_1} и V_{cx_2} ; воспользовавшись равенством (2.47), рассчитать интервал между частицами в конце скатного лотка – $S_{int_B}^{mp}$; по формулам (2.49) и (2.50) определить время свободного падения предыдущей и последующей частиц от лотка до места выбраковки примесей – t_{cn_1} и t_{cn_2} ; воспользовавшись равенствами (2.52) и (2.53) вычислить скорость частиц в месте выбраковки примесей – V_{np_B} и V_{n_B} ; при помощи уравнения (2.57) определить интервал между частицами в месте выбраковки примесей – $S_{int_B}^{mp}$ и с помощью уравнения (2.51) рассчитать минимальный интервал между частицами в месте выбраковки примесей, который обеспечивает воздействие воздушного импульса только на предыдущую (дефектную) частицу – $S_{int_B}^{min}$.

Также разработанная математическая модель позволяет подобрать длину скатной поверхности, при которой обеспечивается выполнение двух условий: $S_{int}^{mp} > 0$ и $S_{int_B}^{mp} \geq S_{int_B}^{min}$, описанных уравнениями (2.55) и (2.56). При этом последующая частица не должна создавать помех при распознавании дефектов предыдущей частицы, а потери годного продукта при выбраковке примесей воздушной струёй будут минимизированы. Однако при разработке математической модели были приняты ряд допущений, поэтому необходимо обосновать адекватность данной модели экспериментально.

2.4. Выводы

Материалы, изложенные во втором разделе позволяют сделать следующие

ВЫВОДЫ:

- высокое качество фотосепарирования может быть обеспечено только при однослойной подаче сыпучего материала на скатный лоток. При этом максимальной производительности фотосепаратора будет соответствовать сплошная однослойная подача на скатный лоток;

- разработанная математическая модель описывает движение обрабатываемых частиц с момента их попадания на скатный лоток фотосепаратора до места выбраковки примесей, в том числе в случае, когда предыдущая частица (примесь) имеет больший коэффициент трения по скатной поверхности, чем последующая за ней частица (полноценная зерновка) – в худшем из возможных вариантов при фотосепарировании;

- анализ математической модели позволяет сделать вывод, что длину скатного лотка следует принимать максимального значения, при котором выполняются следующие условия: $S_{\text{int}}^{mp} > 0$ и $S_{\text{int}_B}^{mp} \geq S_{\text{int}_B}^{\min}$;

- расчёты показали, что при $\alpha = 60^\circ$; $r = 0,005\text{ м}$; $S = 1\text{ м}$; $V_0 = 0,95\text{ м/с}$; $f_1 = (0,36...0,43)$; $f_2 = (0,3...0,4)$; $B_B = 0,038\text{ м}$ и $t_{\text{бу}} = 0,001\text{ с}$ для снижения потерь при выбраковке примесей и сокращения помех при распознавании дефектов разница $\Delta f = f_1 - f_2$ должна быть не более 0,04;

- для снижения потерь при выбраковке также целесообразно фракционировать сыпучий материал по размерам перед его обработкой на фотосепараторе;

- так как при разработке математической модели были приняты ряд допущений, то необходимо доказать экспериментально её достоверность.

3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для получения качественных семян необходимо обрабатывать бункерный ворох без укладки его на ток или площадку. При этом целесообразно проводить фракционирование семенного материала [74]. Для решения данных задач предпочтительно использовать двухаспирационную воздушно-решётную фракционную зерноочистительную машину, например, семейства ОЗФ [113]. После очистки бункерного вороха на воздушно-решётной машине в нём должны остаться только трудноотделимые примеси (например, обрушенные зерновки гречихи, минеральные примеси (комочки земли, камни) и семена других культур), которые выделяют фотосепаратором. При этом для наиболее эффективной очистки с минимальными потерями ценных семян необходимо выбрать рациональные конструктивные и режимные параметры работы зерноочистительных машин. Поэтому следует разработать рекомендации по комплектованию и настройке воздушно-решётной машины для подготовки зернового вороха гречихи к его фотосепарированию.

На качество фотосепарирования зернового вороха, вероятно, будут влиять состав обрабатываемого материала (количество и вид примесей), производительность фотосепаратора и тип используемых скатных лотков.

Результаты теоретических исследований необходимо проверить экспериментально с целью уточнения и подтверждения достоверности предлагаемой математической модели.

Исходя из вышеизложенного, была определена следующая программа экспериментальных исследований:

- обосновать комплектацию и настройку двухаспирационной воздушно-решётной фракционной зерноочистительной машины для подготовки бункерного вороха гречихи к его очистке на фотосепараторе, а именно: определить подходящие размеры отверстий применяемых решёт и значения скорости воздушного потока аспираций;

- экспериментально проверить адекватность усовершенствованной математической модели движения частиц обрабатываемого материала в фотосепараторе и обосновать рациональную длину скатного лотка при очистке семенной гречихи;
- исследовать влияние содержания обрубленных зёрен гречихи и примесей в зерновой массе гречихи на качество её фотосепарирования;
- исследовать влияние конструктивных параметров скатной поверхности лотка на качество фотосепарирования семян гречихи;
- исследовать влияние производительности фотосепаратора на качество очистки семян гречихи.

3.2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАШИНЫ И ПРИБОРЫ

Экспериментальные исследования очистки гречихи на воздушно-решётной зерноочистительной машине, а также анализ результатов экспериментальных исследований проводили в лабораториях кафедры сельхозмашин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ» с учётом рекомендаций Погорелого Л.В. и других учёных [92, 93]. Экспериментальные исследования очистки гречихи на фотосепараторе были проведены в отделе производства фотосепараторов «Воронежсельмаш».

Линейные размеры в исследованиях определяли измерительной линейкой Линейка-150 ГОСТ 427-75 (диапазон измерений 150 мм $\pm 0,1$ мм), рулеткой РЗУ2Д ГОСТ 7502-98 (номинальная длина 3 м; класс точности 2; отклонение действительной длины: миллиметрового интервала $\pm 0,15$ мм; сантиметрового интервала $\pm 0,20$ мм; дециметрового интервала $\pm 0,30$ мм; отрезка шкалы 1 м и более $\pm [0,30 + 0,15 \cdot (L - 1)]$, где L – количество полных и неполных метров) и Штангенциркулем ШЦК-I-150-0,02 ГОСТ 166-89 (диапазон измерения 150 мм, цена деления круговой шкалы 0,01 мм). Данным штангенциркулем также измеряли и диаметральные размеры. Скорость воздушного потока измеряли многофункциональным измерительным прибором Testo 435 с трубкой Пито (длиной 1000 мм) с точностью до 0,1 м/с, устанавливая трубку Пито в воздухопроводы аспираций воздушно-решётной машины.

Воздушно-решётную очистку семян гречихи проводили на зерноочистительной машине МЗС-10, оборудованной колосовыми решётами с диаметром отверстий 7,5 мм и сортировальными решётами с диаметром отверстий 4,0 мм. Скорость воздушного потока дорешётной аспирации устанавливали около 5,0 м/с; послерешётной аспирации – 5,5 м/с. Влажность исследуемого зернового вороха гречихи измеряли влагомером «Wile-65» (диапазон измерения содержания влаги: для зерновых и зернобобовых культур (8...35)%, для масличных – (5...25)%; погрешность $\pm 0,5\%$). Исследования фракционного состава зернового вороха гречихи проводили на парусном классификаторе конструкции ВИМ с микроманометром и решётном классификаторе – Рассев лабораторный У-1-ЕРЛ-2-1, оборудованном набором решёт с круглыми отверстиями диаметром от 2,5 до 6,5 мм с шагом 0,5 мм. Для определения массы образцов зернового вороха гречихи, навесок и их компонентов использовали: весы напольные «Polaris PWS 1526DGF» (наибольший предел взвешивания 150 кг, цена деления 0,1 кг), весы лабораторные «Асом JW-1-2000» (наибольший предел взвешивания 2 кг, цена деления 0,1 гр.) и весы лабораторные «Асом JW-1-200» (наибольший предел взвешивания 200 гр., цена деления 0,01 гр.).

Исследования фотосепарирования гречихи проводили на фотосепараторах Ф10.1 и СВ-4 производства «Воронежсельмаш», общие виды которых приведены на рисунке 3.1. Для экспериментов задействовали только один скатный лоток фотосепараторов.

Фотосепаратор Ф10.1 был оборудован скатными лотками длиной 1,1 м, установленными под углом 60° к горизонту. На фотосепараторе СВ-4 были установлены скатные лотки длиной 1,3 м, установленные под углом 70° к горизонту. Скатные лотки фотосепараторов для упрощения изготовления, транспортировки и монтажа выполнены в виде двух полулотков с рабочей шириной 180 мм каждый. На каждый скатный лоток, состоящий из двух полулотков, обрабатываемый материал подаётся одним вибропитателем.

Перед началом исследований на фотосепараторах проводили спектрографический анализ состава зернового вороха гречихи. По его результатам определяли

необходимую комплектацию машины – какие осветители, камеры, световые фильтры и т. п. лучше подойдут для выделения той или иной примеси.

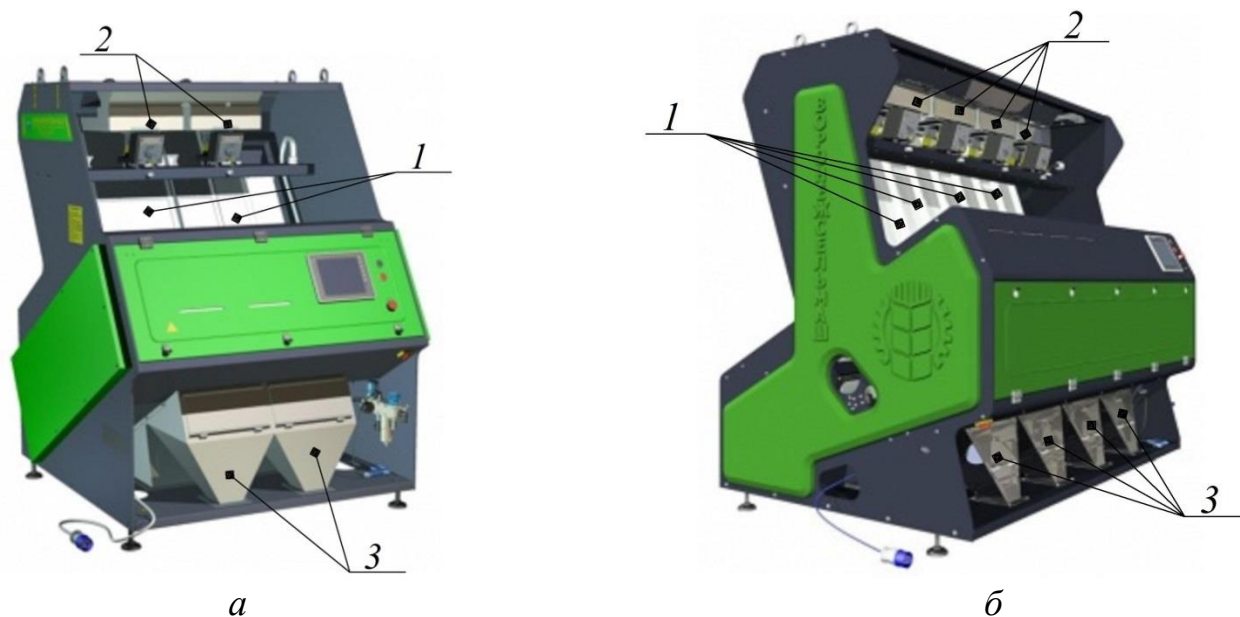


Рисунок 3.1 – Общий вид используемых фотосепараторов:
а – фотосепаратор Ф10.1; *б* – фотосепаратор СВ-4; 1 – скатные лотки; 2 – вибропитатели; 3 – приёмники годного продукта

В экспериментальных исследованиях фотосепаратор Ф10.1 работал в монохромном режиме, т. е. был оборудован одной камерой с каждой стороны скатного лотка, как показано на схеме рисунка 3.2 а. При этом выделяли преимущественно более светлые примеси, чем полноценные семена гречихи.

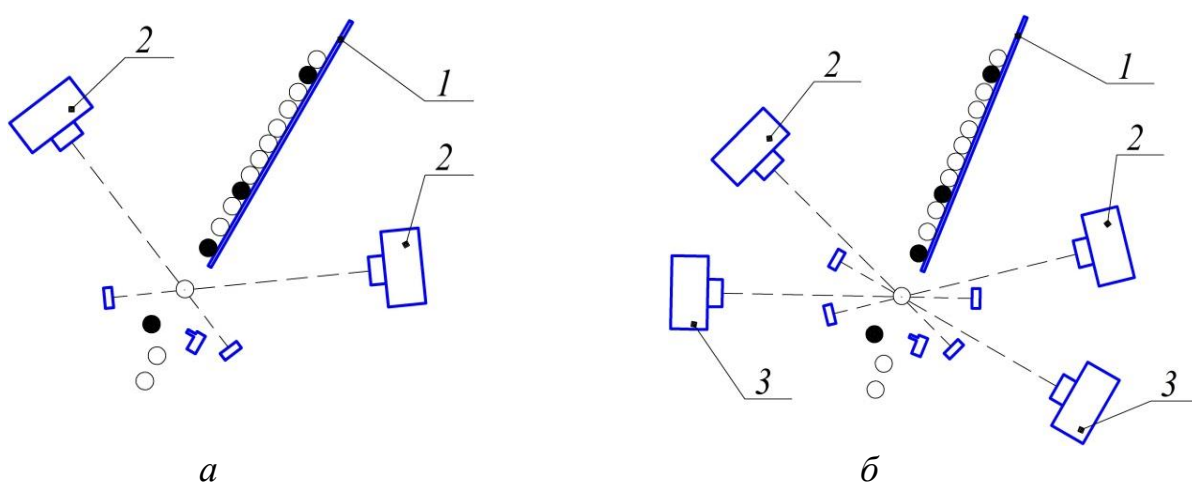


Рисунок 3.2 – Схемы оптического распознавания дефектов:
а – схема, используемая на фотосепараторе Ф10.1; *б* – схема, используемая на фотосепараторе СВ-4; 1 – скатный лоток; 2 – камеры, работающие в видимом диапазоне длин световых волн; 3 – камеры, работающие в ближнем инфракрасном диапазоне длин световых волн

Для выделения примесей светлого и тёмного цветов одновременно (например, обрушенная гречиха и семена подсолнечника) фотосепаратор СВ-4 был оснащён четырьмя камерами на каждый лоток (по две с каждой стороны лотка), как показано на схеме рисунка 3.2 б. При этом камеры настраивали попарно на работу в разных диапазонах световых волн. Две из них работали в ближнем инфракрасном диапазоне световых волн (длина волны 850 ± 30 нм), другие две – в красном цвете (длина волны 650 ± 30 нм).

3.3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ

Экспериментальные исследования проводили, основываясь на методы планирования эксперимента и обработки полученных данных по методике И.П. Ашмарина, Н.Н. Васильева, В.А. Амбросова, С.В. Мельникова, В.Р. Алёшкина, П.М. Рощина и др. [8, 50]. Выбрав надёжность эксперимента, равную 0,95, определили количество повторностей опытов. Всё применяемое оборудование и измерительные приборы проверяли до эксперимента и после него. Значение каждого параметра определяли как среднеарифметическое из проведённых повторностей. Образцы и пробы в экспериментальных исследованиях отбирали в соответствии с требованиями ГОСТ 12036-85 [31]. Качественные показатели образцов и фракций, а также посевные качества семян гречихи определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 12037-81, ГОСТ 12038-84 и ГОСТ 20290-74 [32, 33, 34]. В исследованиях использовали гречиху, влажность которой не превышала 14,0%.

Для определения рациональных комплектации и режима работы воздушно-решётной машины при подготовке бункерного вороха к его очистке на фотосепараторе, образец зернового вороха гречихи, взятый от комбайнов, исследовали на парусном классификаторе конструкции ВИМ. Изменяя скорость воздушного потока, получили различные фракции. Затем определили процентное соотношение фракций и их компонентов. В результате было определено, что при скорости воздушного потока 5,7 м/с выделялось наибольшее количество легковесных примесей без потерь ценных семян. Поэтому образец бункерного вороха гречихи был

очищен парусным классификатором при скорости воздушного потока 5,7 м/с.

Очищенный парусным классификатором образец был направлен на решётный классификатор – Рассев лабораторный У-1-ЕРЛ-2-1, оборудованный набором решёт с круглыми отверстиями диаметром от 2,5 до 6,5 мм с шагом 0,5 мм. Под решетом с диаметром отверстий 2,5 мм было установлено глухое решето. В ходе исследований образца на решётном классификаторе также определяли процентное соотношение полученных фракций и их компонентов. В тех фракциях, в которых присутствовали семена гречихи с содержанием ядра, были определены посевные качества семян: содержание ядра, масса 1000 зёрен, энергия прорастания и лабораторная всхожесть.

Для проверки адекватности разработанной во второй главе математической модели движения частиц проводили опыты на фотосепараторе Ф10.1. Изначально был известен угол установки скатного лотка к горизонту α . Для определения угла трения φ обрушенных и полноценных зерновок гречихи по скатной поверхности использовали отдельный скатный лоток, который расположили на равную горизонтальную поверхность. Угол φ определяли путём поднятия одного края скатного лотка с уложенными на него зерновками, как показано на схеме рисунка 3.3.

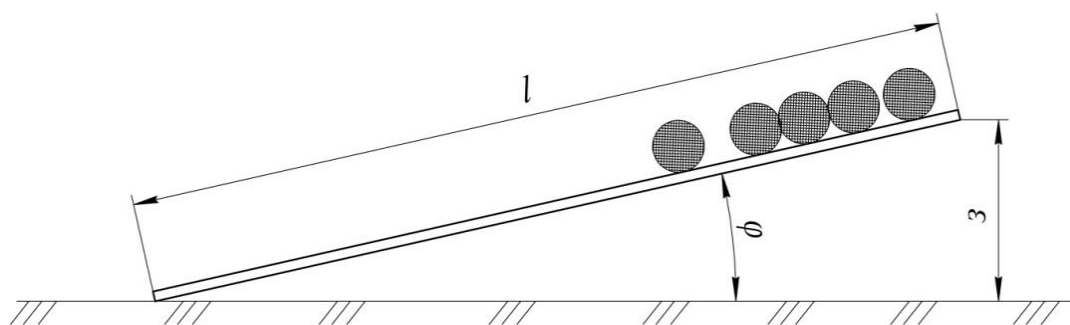


Рисунок 3.3 – Схема определения угла трения частиц по скатному лотку:
 l – длина лотка, м; z – высота подъёма края лотка, м; φ – угол трения, °

Высоту поднятия края лотка, при которой зерновки начинали скользить, фиксировали и подставляли в уравнение для вычисления угла их трения по скатной поверхности φ :

$$\varphi = \arcsin \frac{z}{l}, \quad (3.1)$$

где z – высота подъёма края лотка, м;

l – длина лотка, м.

Зная угол трения обрушенных и полноценных зерновок гречихи по скатной поверхности, были определены их коэффициенты трения по скатному лотку (f_1 и f_2 соответственно), пользуясь следующим уравнением:

$$f = \tan \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}.$$

В ходе исследований также определяли начальную скорость зерновок гречихи на скатном лотке V_{0_i} в каждом i -ом опыте (рисунок 3.4) уравнением:

$$V_{0_i} = V_{n_i} \cdot \sin \alpha, \quad (3.2)$$

где V_{0_i} – начальная скорость движения зерновок по скатному лотку в i -ом опыте, м/с;

V_{n_i} – скорость падения зерновок на скатный лоток с вибропитателя в i -ом опыте, м/с.

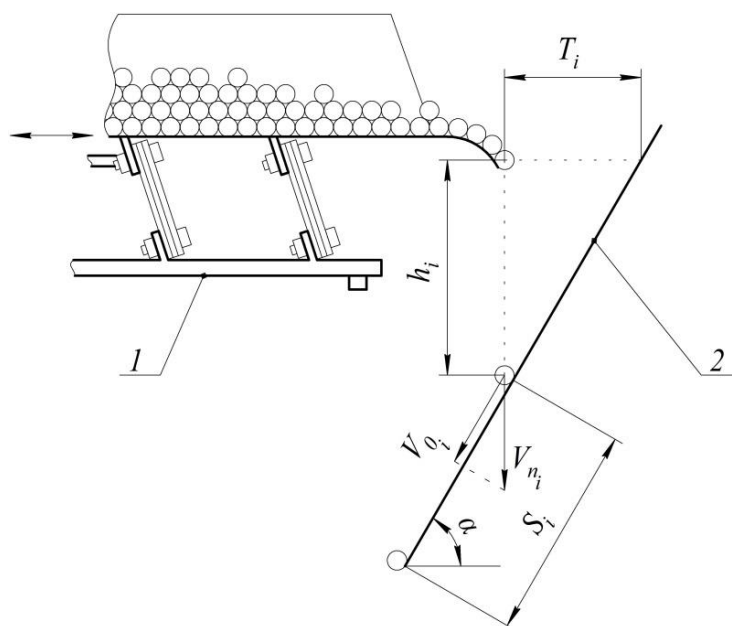


Рисунок 3.4 – Схема определения начальной скорости частиц на скатном лотке:

1 – вибропитатель; 2 – скатный лоток; α – угол наклона скатного лотка, °; T_i – расстояние от вибропитателя до скатного лотка в горизонтальной плоскости в каждом i -ом опыте, м; h_i – высота падения частиц с вибропитателя на скатный лоток в каждом i -ом опыте, м; V_{n_i} – скорость падения частиц на скатный лоток с вибропитателя в каждом i -ом опыте, м/с; V_{0_i} – начальная скорость движения частиц по скатному лотку в каждом i -ом опыте, м/с; S_i – путь частиц по скатному лотку в каждом i -ом опыте, м

Скорость падения зерновок V_{n_i} изменяли за счёт изменения высоты их падения путём перемещения вибропитателя в горизонтальной плоскости относительно скатного лотка (рисунок 3.4) и определяли уравнением:

$$V_{n_i} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_i}, \quad (3.3)$$

где h_i – высота падения зерновок от вибропитателя до скатного лотка в i -ом опыте, м.

Для каждого i -го опыта вибропитатель перемещали относительно скатного лотка в горизонтальной плоскости, то есть изменяли значение расстояния T_i (рисунок 3.4), вследствие чего изменялось значение h_i , а, следовательно, и значение V_{0_i} . При этом путь зерновок по скатному лотку в каждом i -ом опыте определяли экспериментально путём замера данного расстояния – S_i . Таким образом в исследованиях изменяли начальную скорость зерновок на скатном лотке (V_{0_i}).

Вследствие изменения V_{0_i} в каждом i -ом опыте изменялась и скорость схода зерновок со скатного лотка. Для проверки адекватности математической модели скорость схода полноценных зерновок гречихи со скатного лотка в каждом i -ом опыте определяли экспериментально (V_{cx_i}) и теоретически (расчётным путём) ($V_{cx_i}^m$). Для определения V_{cx_i} камеры фотосепаратора фокусировали в разные точки траектории полёта зерновок со скатного лотка, как показано на рисунке 3.5.

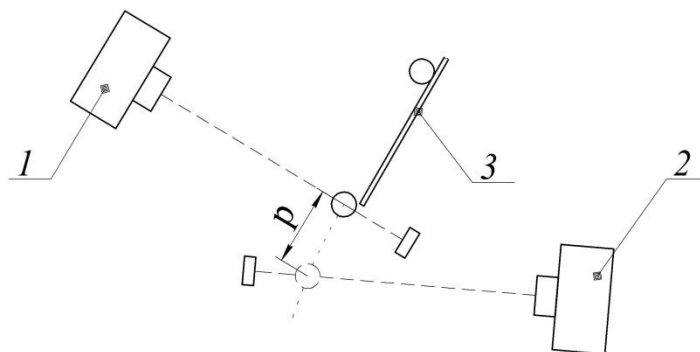


Рисунок 3.5 – Схема определения скорости схода зерновок со скатного лотка: 1 и 2 – камеры; 3 – скатный лоток; p – расстояние между фокусами камер, м

Такое смещение фокусов камер позволило определить время полёта зерновок с момента их фиксации камерой 1 до момента фиксации зерновок камерой 2.

Зная расстояние ($p=0,02$ м) между фокусами камер 1 и 2, вычисляли скорость схода зерновок со скатного лотка V_{cx_i} в каждом i -ом опыте отношением расстояния полёта зерновок p ко времени данного полёта.

Для определения $V_{cx_i}^m$ использовали известные значения угла наклона скатного лотка α , коэффициента трения полноценных зерновок по скатной поверхности f_2 , начальной скорости зерновок на скатном лотке V_{0_i} и пути движения зерновок по скатному лотку S_i :

$$A_2 = g \cdot \sin \alpha - g \cdot f_2 \cdot \cos \alpha;$$

$$t_i^{mp} = \frac{\sqrt{V_{0_i}^2 + 2 \cdot A_2 \cdot S_i} - V_{0_i}}{A_2}, \quad (3.4)$$

где t_i^{mp} – время движения зерновок по скатному лотку в i -ом опыте, с;

S_i – путь зерновок по скатному лотку в i -ом опыте, м.

Затем рассчитывали теоретическое значение скорости схода полноценных зерновок гречихи со скатного лотка в i -ом опыте следующим уравнением:

$$V_{cx_i}^m = V_{0_i} + A_2 \cdot t_i^{mp}, \quad (3.5)$$

где $V_{cx_i}^m$ – теоретическое значение скорости схода зерновок со скатного лотка в i -ом опыте, м/с.

Расхождение экспериментальных значений с теоретическими расчётами определяли величиной относительной погрешности теоретических расчётов:

$$\delta = \frac{|V_{cx_i} - V_{cx_i}^m|}{V_{cx_i}} \cdot 100, \quad (3.6)$$

где δ – относительная погрешность теоретических расчётов, %;

V_{cx_i} – скорость схода зерновок гречихи со скатного лотка в i -том опыте, определённая экспериментально, м/с.

Для обоснования рациональной длины скатной поверхности при фотосепарировании семян гречихи сначала проводили расчёты на примере конкретного зернового вороха, используя разработанную математическую модель. Ход расчёта

с подобранным максимальным значением длины скатного лотка, при котором выполняются условия: $S_{\text{int}}^{mp} > 0$ и $S_{\text{int}_B}^{mp} \geq S_{\text{int}_B}^{\min}$, приведён в приложении 3. При этом использовались значения следующих показателей: g , α , B_B , V_0 , f_1 и f_2 , определённые по вышеописанной методике. Также был определён средний размер обрабатываемых частиц (семян гречихи) r при помощи рассева лабораторного.

Используемые в опытах фотосепараторы, выпускаемые заводом «Воронежсельмаш», включали в себя пневмоэжекторы, минимальное время открытия которых составляет 1 мс (0,001 с) [23]. Поэтому время воздушного импульса (выбраковки) принимали $t_{\text{gu}} = 0,001$ с.

Так как при подготовке семян гречихи на фотосепараторе выделяют обрушенные зерновки из зерновой массы, и коэффициент трения обрушенных зерновок гречихи по скатной поверхности (как оказалось на практике) превышает коэффициент трения полноценных семян по скатной поверхности, то, чтобы рассмотреть худший из возможных вариантов движения обрабатываемых частиц по скатному лотку, обрушенную зерновку гречихи мы приняли за предыдущую частицу, а полноценную зерновку гречихи – за последующую частицу.

В ходе расчётов, подбирая значение длины скатной поверхности, определили максимальную длину пути обрабатываемых частиц по скатному лотку S_{max} (приложение 3), при которой выполнялись условия, описанные уравнениями (2.55) и (2.56). Выполнение этих условий означает, что полноценные семена гречихи не должны создавать помех при распознавании примесей (обрушенных зерновок) и не должны попадать в воздушную струю при выбраковке обрушенных зерновок гречихи.

Нижний порог длины скатной поверхности был определён экспериментально по ухудшению качества очистки при фотосепарировании подготовленного зернового вороха гречихи, основной примесью которого были обрушенные зерновки. Чистота обрабатываемого вороха соответствовала требованиям ГОСТ Р 52325-2005 [38] к репродукционным семенам (РС) и составляла 98,0%. Исследования проводили при одинаковых настройках и неизменной производительности

фотосепаратора, установив сплошную подачу материала на скатный лоток. Однослойность подачи контролировали визуально.

Для исследования влияния состава зернового вороха гречихи на качество его фотосепарирования были отобраны образцы гречихи из ряда хозяйств Воронежской и Липецкой областей. Состав и качество образцов были различны. Отобранные образцы очищали фотосепаратором Ф10.1 при одинаковых режимах его работы. В результате получили очищенные семена и товарную фракцию. В ходе исследований определяли количественные и качественные показатели полученных фракций, а также посевные качества семян, которые сравнивали с исходным ворохом и требованиями ГОСТ Р 52325-2005 [38]. По результатам исследований были определены зависимости чистоты полученных семян и выхода очищенной фракции от состава обрабатываемого материала (исходного вороха). Состав обрабатываемого материала представляли содержанием в нём целых зерновок гречихи, примесей и обрубленных зерновок гречихи.

Обработку результатов проводили путём дисперсионного и регрессионного анализа. Построчную дисперсию параметра оптимизации каждого опыта определяли выражением:

$$S_n^2 = \frac{\sum_{\beta=1}^u (Y_{\beta n} - \bar{Y}_n)^2}{u - 1}, \quad (3.7)$$

где S_n^2 – построчная дисперсия параметра оптимизации в каждом (n -ном) опыте;

n – номер опыта (строки);

β – номер повторности опыта;

u – количество повторностей опытов;

$Y_{\beta n}$ – значение параметра оптимизации в β -ой повторности n -го опыта;

$\bar{Y}_n$ – среднеарифметическое значение параметра оптимизации n -го опыта.

Значимость отдельных коэффициентов уравнений регрессии определяли при помощи критерия Стьюдента. Коэффициент регрессии (b) признавали значимым, если выполнялось условие, описываемое следующим выражением:

$$b > S_b \cdot t^{kp}, \quad (3.8)$$

где b – значение коэффициента уравнения регрессии;

S_b – дисперсия определения коэффициентов регрессии;

t^{kp} – табличный критерий Стьюдента, определяемый в зависимости от числа степеней свободы (γ) и уровня значимости, равного 0,05.

Число степеней свободы для определения критерия Стьюдента вычисляется при помощи следующего уравнения:

$$\gamma = N \cdot (u - 1), \quad (3.9)$$

где γ – число степеней свободы;

N – количество опытов (строк).

Дисперсия определения коэффициентов регрессии вычисляется по формуле:

$$S_b^2 = \frac{D^2}{N \cdot u}, \quad (3.10)$$

где D^2 – дисперсия воспроизводимости, которую можно определить уравнением:

$$D^2 = \frac{\sum_{n=1}^N S_n^2}{N}. \quad (3.11)$$

Значимость полученных уравнений регрессии проверяли при помощи критерия Фишера. Считается, что уравнение регрессии адекватно описывает зависимость, если выполняется следующее неравенство:

$$F_{расч} = \frac{\sigma_{ад}^2}{D^2} \leq F_{табл}, \quad (3.12)$$

где $F_{расч}$ и $F_{табл}$ – расчётное и табличные значения критерия Фишера соответственно;

$\sigma_{ад}^2$ – дисперсия адекватности, которую можно определить уравнением:

$$\sigma_{ад}^2 = \frac{u}{N - C} \cdot \sum_{n=1}^N (\bar{Y}_n - \hat{Y}_n)^2, \quad (3.13)$$

где C – количество значимых коэффициентов уравнения регрессии;

$\hat{Y}_n$ – расчётное значение параметра оптимизации в β -ом опыте.

Табличное значение критерия Фишера определяли в зависимости от степени свободы γ_1 и γ_2 для уровня значимости, равного 5%: $\gamma_1 = N - C$; $\gamma_2 = u - 1$.

Результаты статистического анализа приведены в приложении И.

Сравнивая содержание обрушенных зерновок гречихи в полученных при экспериментах фракциях с долей обрушенных зерновок в исходном ворохе, можно оценить насколько увеличилось количество обрушенных зёрен в результате фотосепарирования. Для этого необходимо из суммы значений средневзвешенного содержания обрушенных зерновок гречихи в семенной и товарной фракциях вычесть содержание обрушенных зерновок в исходном ворохе:

$$\Delta_{O1} = O_1^{cpв} + O_2^{cpв} - Co = \frac{Co_1 \cdot K_1}{100} + \frac{Co_2 \cdot K_2}{100} - Co, \quad (3.14)$$

где Δ_{O1} – увеличение количества обрушенных зерновок гречихи в результате фотосепарирования образца, %;

$O_1^{cpв}$, $O_2^{cpв}$ – средневзвешенное содержание обрушенных зерновок гречихи в семенной и товарной фракциях соответственно, %;

Co , Co_1 и Co_2 – содержание обрушенных зерновок гречихи в исходном ворохе, семенной фракции и товарной фракции соответственно, %;

K_1 , K_2 – доля семенной и товарной фракций соответственно от исходного вороха образца, %.

Таким образом, было определено увеличение количества обрушенных зерновок гречихи в результате фотосепарирования каждого образца.

Для определения влияния типа скатного лотка на качество фотосепарирования образец зернового вороха гречихи, подготовленный на воздушно-решётной машине, разделили на 4 примерно равные части и очищали на фотосепараторе Ф10.1. При этом поочерёдно устанавливали 4 различных типа исследуемых скатных лотков без изменения режима работы фотосепаратора. Исследования проводили с использованием широкорифлёного, глубокорифлёного, мелкорифлёного и гладкого лотков. Скатная поверхность рифлёных лотков, как и сами лотки, выполнена из алюминиевого сплава с анодированным покрытием, а гладкого лотка –

стеклянная. Поэтому они имели не только геометрические отличия, но и разный коэффициент трения с обрабатываемым материалом. По заявлениям завода-изготовителя обрабатываемый материал имеет меньший коэффициент трения по стеклянной скатной поверхности, чем по рифлёным. В результате определяли количественные и качественные показатели фракций, полученных при использовании различных лотков, и проводили их анализ и сравнение.

Для определения влияния производительности фотосепаратора на качество очистки семян образец зернового вороха гречихи разделили на несколько частей и обрабатывали на одном лотке фотосепаратора СВ-4 при ориентировочной подаче обрабатываемого материала на скатный лоток в 0,1; 1; 2; 3 и 4 т/ч. Остальные настройки фотосепаратора были неизменными. Подачу обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора в каждом опыте, определяли отношением суммы масс получаемых фракций (семенной и отходовой) ко времени очистки:

$$W_i = \frac{m_{c_i} + m_{o_i}}{t_i^n} \quad (3.15)$$

где W_i – подача обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора в i -ом опыте, т/ч;

m_{c_i} – масса семенной фракции в i -ом опыте, т;

m_{o_i} – масса отходовой (товарной) фракции в i -ом опыте, т;

t_i^n – время i -го опыта, ч.

Анализ количественных и качественных показателей производили по вышеописанной методике. Затем по результатам исследований определили зависимости количества, чистоты получаемых семян и содержания обрубленных зерновок гречихи и примесей в очищенных семенах от подачи обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратор, а также изменение массы 1000 зёрен очищенных семян при различной производительности фотосепаратора.

На основе литературного обзора и результатов проведённых исследований была разработана технологическая линия семяочистительного агрегата, включающая воздушно-решётную машину для первичной очистки бункерного вороха в

режиме фракционирования и фотосепаратор для окончательной очистки семян. Для оценки экономической эффективности предлагаемого семяочистительного агрегата в качестве базового объекта для сравнения был выбран типовой ЗАВ-20Т. При расчётах пользовались данными ГОСТ 23729-88, ГОСТ 23730-88 и ГОСТ 53056-2008 [34-37], а также рекомендациями Горланова С.А. [30].

Математическую обработку результатов экспериментальных исследований проводили, учитывая рекомендации Ю.В. Кемница, И.П. Ашмарина, Н.Н. Васильева и В.А. Амбросова [8, 47]. При обработке и представлении результатов исследований использовали следующие программы: Mathcad, SMATH Studio, Statistica, Kompas, Microsoft Excel, Microsoft Word, ACDSee и некоторые другие.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ГРЕЧИХИ

4.1. ПОДГОТОВКА ЗЕРНОВОГО ВОРОХА ГРЕЧИХИ К ОБРАБОТКЕ НА ФОТОСЕПАРАТОРЕ

Для определения рациональных параметров и режимов работы воздушно-решётной машины при подготовке бункерного вороха гречихи к его очистке на фотосепараторе нами были проведены исследования [66]. Образец бункерного вороха гречихи, который содержал 95,45% целого зерна гречихи, 2,43% обрубленных зёрен и 2,13% примесей (из которых 0,19% лузги), обрабатывали на парусном классификаторе конструкции ВИМ. Процентное соотношение полученных при этом фракций приведено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Распределение фракций по аэродинамическим свойствам

Скорость воздушного потока, м/с	5,7	6,3	6,9	8,0	8,9	9,8
Процентное соотношение фракций, %	4,71	6,87	15,76	52,88	17,96	1,82

Состав фракций, полученных при обработке на парусном классификаторе с разной скоростью воздушного потока, и посевные качества выделяемых при этом семян представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты обработки гречихи на парусном классификаторе

Наименование показателя	Скорость воздушного потока, м/с					
	5,7	6,3	6,9	8,0	8,9	9,8
Состав фракций, %:						
целое зерно,	57,53	95,25	98,55	99,18	95,69	56,67
обрубленное зерно,	4,53	3,16	1,20	0,64	3,99	41,31
примеси всего,	37,94	1,59	0,25	0,18	0,32	2,02
в том числе:						
лузга	3,99	0	0	0	0	0
Содержание ядра в выделенном зерне, %	58,14	74,31	76,92	78,45	80,29	82,46
Масса 1000 зёрен, гр.	10,88	22,23	26,23	29,85	33,81	35,85
Энергия прорастания семян, %	56	96	96	100	99	100
Лабораторная всхожесть семян, %	62	97	96	100	100	100

Из таблицы 4.1 видно, что при скорости воздушного потока 5,7 м/с было выделено 4,71% от общей массы образца. При этом данная фракция содержала

57,53% целого зерна гречихи (табл. 4.2), 4,53% обрушенных зерновок и 37,94% примесей, из которых 3,99% составила лузга гречихи в свободном виде. Лузга при скорости воздушного потока 5,7 м/с выделилась полностью. Низкие показатели содержания ядра (58,14%), массы 1000 зёрен (10,88 гр.) и лабораторной всхожести (62%) семян данной фракции свидетельствуют о непригодности фракции для семенных целей. То есть при скорости воздушного потока 5,7 м/с выделялись щуплые зерновки с низкими посевными качествами, поэтому данную фракцию целесообразно использовать для скармливания животным.

В ходе исследований было выявлено, что при скорости воздушного потока 5 м/с происходило выделение всех составляющих, кроме обрушенных зерновок. При этом зёрна гречихи резко отличались более светлой окраской и практически не содержали ядра. Это значит, что фракцию, выделяемую при скорости воздушного потока 5 м/с, следует направлять в отходы. Поэтому не было необходимости в глубоком анализе данной фракции и информация о ней не приведена в таблицах 4.1 и 4.2.

При дальнейшем увеличении скорости воздушного потока от 6,3 до 8,9 м/с (включительно) были получены фракции с содержанием целого зерна свыше 90%. При этом масса 1000 зёрен составила 22,23...33,81 гр., а лабораторная всхожесть – 97...100%. Это говорит о том, что данные фракции содержат семена гречихи с высокими посевными качествами.

Фракция, которая выделялась при скорости воздушного потока 9,8 м/с, составила 1,82% от массы всего образца (табл. 4.1) и содержала 56,67% целого зерна гречихи, 41,31% обрушенного зерна и 2,02% примесей (табл. 4.2).

Исходя из вышеизложенного следует, что при обработке данного зернового вороха скорость воздушного потока не должна превышать 5,7 м/с. При этом будут выделяться: бо́льшая часть легковесных примесей, некоторая часть обрушенных зерновок гречихи и вся лузга в свободном виде. Потери полноценных зерновок с высокими посевными качествами при этом будут минимальными.

Поэтому образец зернового вороха гречихи был очищен при скорости воздушного потока 5,7 м/с. Затем очищенный образец был направлен на решётный

классификатор, оборудованный набором решёт с диаметром отверстий от 2,5 до 6,5 мм с шагом в 0,5 мм. Снизу было установлено глухое решето. В результате определили процентное соотношение полученных фракций, которое представлено в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Распределение фракций по размерам

Диаметр отверстий решета, мм	Глухое решето	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
Процентное соотношение фракций, %	0,6	0,33	0,56	2,12	18,52	48,67	24,5	4,06	0,57	0,07

Состав и качественные показатели полученных на решётном классификаторе фракций приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты обработки гречихи на решётном классификаторе

Наименование показателя	Диаметр отверстий решёт, мм									
	глухое решето	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
Состав фракций, %: целое зерно, обрушенное зерно, примеси	0	0	0,53	30,73	97,41	99,94	99,85	99,46	99,18	93,17
	63,30	88,97	95,32	66,98	2,39	0,03	0	0	0	0
	36,70	11,03	4,15	2,29	0,20	0,03	0,15	0,54	0,82	6,83
Содержание ядра в выделенном зерне, %	—	—	0	81,58	78,35	79,09	77,44	73,61	78,08	72,26
Масса 1000 зёрен, гр.	—	—	—	19,5	24,6	29,8	33,9	37,9	42	44,9
Энергия прорастания семян, %	—	—	—	—	96	97	99	96	94	—
Лабораторная всхожесть семян, %	—	—	—	—	97	98	100	98	99	—

Анализ таблиц 4.3 и 4.4 показывает, что на решётах с диаметром отверстий менее 3,5 мм происходит выделение зерновок гречихи, в которых отсутствует ядро. Также через решето с диаметром отверстий 3,5 мм проходит большинство мелких примесей и некоторая часть обрушенных зерновок гречихи.

На решете с диаметром отверстий 3,5 мм остаётся небольшое количество зерновок гречихи (около 0,65% от всего образца), которые отличаются существенно меньшей массой 1000 зёрен (19,5 гр.), в сравнении с зерновками других фракций, что говорит об их низких посевных качествах, поэтому их энергию про-

растания и лабораторную всхожесть не определяли. Семена, имеющие высокие посевные качества, остаются на решётах с диаметром отверстий от 4,0 до 6,5 мм. При этом обрушенные зерновки отсутствуют только на решётах с диаметром отверстий 5 мм и более.

Таким образом, результаты исследований показали, что аспирацией и на решётах без потерь семенного материала возможно выделить лишь малую долю обрушенных зерновок гречихи. Это объясняется тем, что обрушенные зёрна имеют схожие размеры и аэродинамические свойства с полноценными семенами. Однако они резко различаются по цвету. Поэтому для выделения обрушенных зерновок гречихи целесообразно применять оптический сортировщик, тем более что фотосепаратор не имеет рабочих органов, травмирующих семена.

Проведённые исследования позволяют составить рекомендации по комплектации и настройке двухаспирационной фракционной воздушно-решётной машины для обработки данного зернового вороха гречихи. А именно: скорость воздушного потока первой аспирации должна быть (4,8...5,0) м/с; колосовые решёта должны иметь отверстия диаметром не менее (7,0...7,5) мм; сортировальные решёта необходимо устанавливать с диаметром отверстий 4,0 мм, а подсевные – (3,0...3,5) мм; скорость воздушного потока второй аспирации следует устанавливать (5,5...5,7) м/с. В этом случае потери полноценных зерновок с высокими посевными качествами будут минимальными, а в зерновом ворохе гречихи останутся только трудноотделимые примеси, и фотосепаратор будет работать наиболее эффективно.

4.2. ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО СКАТНОМУ ЛОТКУ ФОТОСЕПАРАТОРА

Для проверки адекватности разработанной математической модели движения частиц с момента их попадания на скатный лоток до места выбраковки примесей были проведены опыты на фотосепараторе. Угол установки скатного лотка фотосепаратора к горизонту был известен: $\alpha = 60^\circ$. Экспериментально определили коэффициент трения полноценных зерновок гречихи по скатной поверхности –

$$f_2 = 0,338.$$

В эксперименте изменяли начальную скорость зерновок гречихи на скатном лотке V_{0_i} , вследствие чего менялась скорость схода гречихи со скатного лотка V_{cx_i} и путь, который проходят зерновки гречихи по скатному лотку S_i . Скорость схода зерновок с лотка V_{cx_i} в каждом i -ом опыте определяли экспериментально.

Для проверки адекватности разработанной математической модели также рассчитывали теоретическую скорость схода зерновок со скатного лотка ($V_{cx_i}^m$).

Экспериментальные и теоретические значения некоторых параметров, а также их расхождения представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Экспериментальные и теоретические значения

Номер опыта	Экспериментальные значения		Расчётные значения скорости схода $V_{cx_i}^m$, м/с	Расхождение экспериментальных и теоретических значений δ , %
	начальной скорости V_{0_i} , м/с	скорости схода V_{cx_i} , м/с		
1	0,62	3,03	2,97	1,98
2	0,71	3,13	3,01	3,83
3	0,80	3,14	3,05	2,87
4	0,87	3,15	3,08	2,22
5	0,94	3,17	3,11	1,89

Для наглядности, экспериментальные и теоретические значения скорости схода зерновок гречихи со скатного лотка в зависимости от начальной скорости зерновок на скатном лотке приведены в виде графиков на рисунке 4.1.

Данные таблицы 4.5 и рисунка 4.1 свидетельствуют о том, что минимальное расхождение экспериментальных и теоретических значений скорости схода зерновок гречихи со скатного лотка составляет 1,89%, а максимальное расхождение – 3,83%. То есть максимальное расхождение экспериментальных и теоретических данных не превышает 4%.

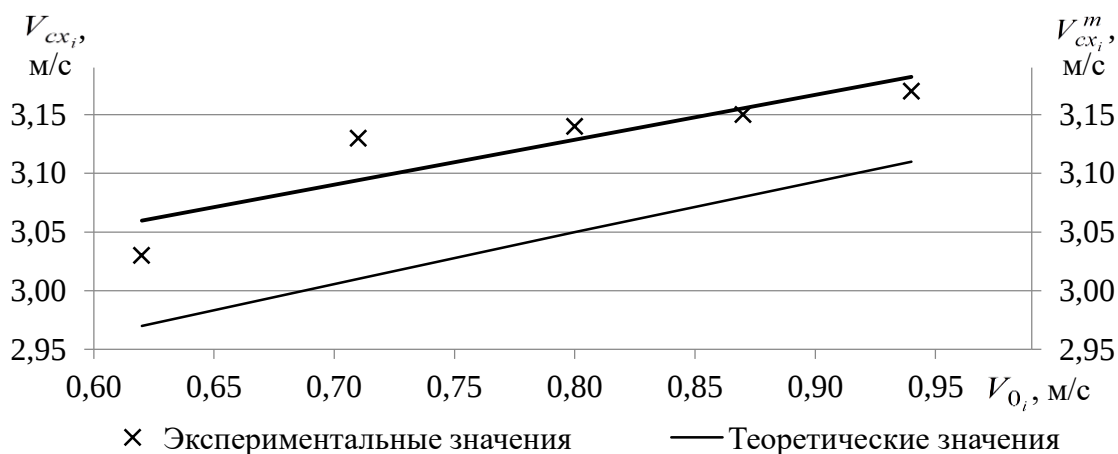


Рисунок 4.1 – Экспериментальные и теоретические значения скорости схода семян гречихи со скатного лотка:

$V_{cx_i}^m$ – теоретическая (расчётная) скорость схода зерновок гречихи со скатного лотка, м/с; V_{cx_i} – скорость схода зерновок гречихи со скатного лотка, определённая экспериментально, м/с; V_{0_i} – начальная скорость зерновок гречихи на скатном лотке, м/с

Таким образом, результаты проведённых исследований подтверждают адекватность математической модели движения обрабатываемых частиц в фотосепараторе с момента их попадания на скатный лоток до места выбраковки примесей и говорят о том, что разработанная математическая модель позволяет получать достаточно точные результаты.

4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ДЛИНЫ СКАТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛОТКА ФОТОСЕПАРАТОРА

Для определения рациональной длины скатной поверхности при фотосепарировании гречихи проводили расчёты на примере конкретного зернового вороха, используя разработанную математическую модель. Ход расчёта с подобранным максимальным значением длины скатной поверхности, при котором выполняются необходимые условия, указанные в математической модели, приведён в приложении 3. При этом на фотосепараторе экспериментально были установлены следующие показатели: начальная скорость частиц на наклонной плоскости – $V_0 = 0,952$ м/с; коэффициент трения обрушенных зерновок гречихи по гладкой стеклянной скатной поверхности – $f_1 = 0,359$; коэффициент трения полноценных

семян гречихи по той же скатной поверхности – $f_2 = 0,338$ и расстояние от края (торца) скатного лотка до места выбраковки примесей – $B_B = 0,038$ м. Также был определён средний размер обрабатываемых частиц (семян гречихи) – $r = 0,0045$ м.

В ходе расчётов, подбирая значение длины лотка, определили максимальную длину скатной поверхности $S_{\max} = 1,04$ м (приложение 3), при которой выполнялись условия, описанные уравнениями (2.55) и (2.56) математической модели:

$$(S_{\text{int}}^{\text{mp}} = 8,43 \cdot 10^{-3}) > 0;$$

$$(S_{\text{int}_B}^{\text{mp}} = 5,8 \cdot 10^{-3}) > (S_{\text{int}_B}^{\text{min}} = 3,96 \cdot 10^{-3}).$$

Выполнение этих условий означает, что полноценные семена гречихи не должны создавать помех при распознавании примесей (обрушенных зерновок) и не должны попадать в воздушную струю при выбраковке обрушенных зерновок гречихи.

Нижний порог длины скатной поверхности был определён экспериментально по ухудшению качества очистки. Результаты исследований фотосепарирования гречихи при разной длине скатной поверхности приведены в виде графиков на рисунке 4.2.

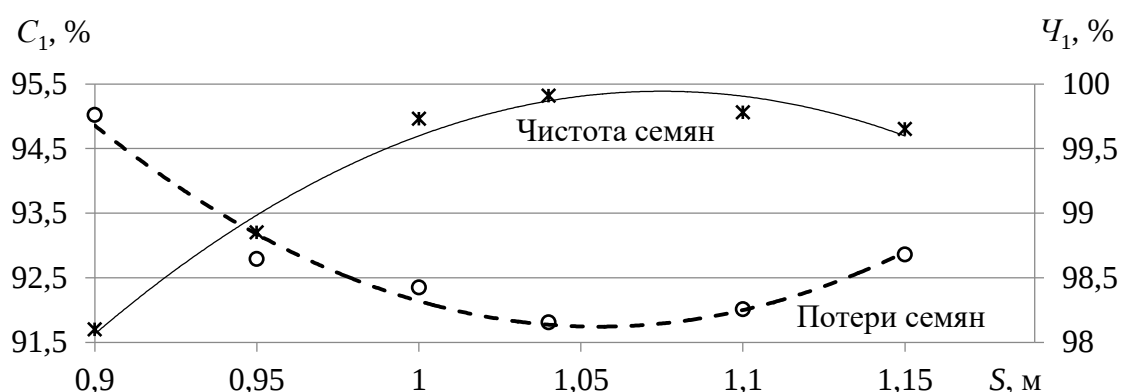


Рисунок 4.2 – Фотосепарирование гречихи при разной длине скатной поверхности:

C_1 – содержание семян гречихи в товарной фракции, %; S – путь обрабатываемых частиц по скатному лотку, м; $Ч_1$ – содержание целых зерновок гречихи в семенах (чистота семян), %

Как наглядно видно из графиков на рисунке 4.2, при увеличении длины

скатной поверхности S свыше значения, определённого при помощи математической модели $S_{\max} = 1,04$ м, наблюдается увеличение потерь годных семян в отходы и несущественно снижается чистота получаемых семян. При сокращении длины лотка S ниже значения $S_{\max} = 1,04$ м наблюдается более значительное снижение чистоты семенной фракции и увеличение потерь семян в отходы. Существенное увеличение потерь наблюдается при $S \leq 0,95$ м (рис. 4.2). Исследования не проводили при длине скатного лотка менее 0,9 м, т. к. при этом чистота семенной фракции (98,1%) несущественно отличалась от чистоты исходного вороха (98,5%), т. е. очистка не происходила.

Исследования проводили с неизменной производительностью фотосепаратора. При этом была выбрана максимальная производительность, которая обеспечивала сплошную (непрерывную) однослойную подачу материала на скатный лоток. Однослойность подачи контролировали визуально. Поэтому не исключена была возможность нарушения однослойности подачи. Этим можно объяснить увеличение потерь годного продукта в отходы и снижение чистоты семенной фракции при сокращении длины скатной поверхности менее 1,04 м. Можно предположить, что длины лотка более 1,0 м достаточно для выравнивания в один слой и распределения обрабатываемых частиц по скатному лотку относительно друг друга при нарушении однослойности подачи. Поэтому не наблюдается существенного снижения чистоты получаемых семян при длине лотка свыше 1,0 м. При сокращении длины скатного лотка менее 1,0 м частицы не успевают выравниваться в один слой и распределяться относительно друг друга по скатному лотку, что приводит к ухудшению распознавания дефектов и увеличению потерь при выбраковке примесей, т. е. к снижению качества фотосепарирования.

При увеличении используемой длины наклонной плоскости свыше $S_{\max} = 1,04$ м частицы с меньшим коэффициентом трения по скатной поверхности (семена гречихи) «догоняют» частицы с большим коэффициентом трения (обрушенные зерновки), т. е. при выбраковке обрушенных зерновок годные семена гречихи попадают в воздушный факел. Поэтому наблюдается увеличение потерь годного продукта в отходную фракцию. При этом семена гречихи могут также

создавать помехи при распознавании примесей, чем можно объяснить незначительное снижение чистоты семенных фракций, полученных при $S > 1,04$ м.

Анализируя графики на рисунке 4.2, можно сделать вывод, что для фотосепарирования данного зернового вороха гречихи предпочтительной является длина скатной поверхности в пределах (1,0...1,1) м. Наилучшим её значением является значение $S_{\max} = 1,04$ м, определённое при помощи математической модели.

4.4. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЗЕРНОВОГО ВОРОХА ГРЕЧИХИ НА КАЧЕСТВО ЕГО ФОТОСЕПАРИРОВАНИЯ

Для исследования влияния состава зернового вороха на качество его фотосепарирования были отобраны образцы гречихи из ряда хозяйств Воронежской и Липецкой областей. Состав образцов был различным. Образцы очищали при одинаковых режимах работы фотосепаратора [59, 63-65, 67, 147]. Результаты очистки образцов на фотосепараторе приведены в таблице 4.6. Процентное соотношение полученных при этом фракций приведено в таблице 4.7, из которой видно, что при фотосепарировании образцов гречихи выход семенной фракции в среднем составил 87,94%, выход товарной фракции при этом составил от 5,99 до 32,57% (в среднем 12,06%) от исходного вороха. Результаты без усреднения и ход регрессионного анализа приведены в приложении И.

Из таблицы 4.6 видно, что исходный ворох образцов гречихи содержал от 0,05 до 1,40% (в среднем 0,35%) обрубленных зерновок и от 0,21 до 8,99% (в среднем 1,61%) примесей. В результате обработки гречихи на фотосепараторе семенная фракция содержала от 0 до 0,51% обрубленного зерна, что в среднем составило 0,08%. То есть, при помощи фотосепарирования содержание обрубленного зерна сократили в среднем более чем в 4 раза. При этом содержание примесей было снижено в среднем более чем в 2 раза (в среднем до 0,74%).

Для снижения потерь товарную фракцию нередко обрабатывают повторно. Однако, несмотря на возможность эффективной очистки товарной фракции фотосепаратором [61, 62, 95], мы считаем, что в товарной фракции содержатся зерновки с более низкими посевными качествами, которые лучше использовать для по-

Таблица 4.6 – Результаты фотосепарирования образцов зернового вороха гречихи

Наименование фракции	Наименование компонента	Содержание компонентов в образцах, %											Среднее по образцам
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Исходный ворох	целое зерно	99,15	98,74	98,49	90,42	97,81	97,59	99,29	99,12	99,46	98,86	99,48	98,04
	обрушенное зерно	0,14	0,13	0,53	0,59	1,40	0,09	0,10	0,20	0,05	0,30	0,31	0,35
	примеси	0,71	1,13	0,98	8,99	0,79	2,32	0,61	0,68	0,49	0,84	0,21	1,61
Семенная фракция	целое зерно	99,56	99,61	99,51	95,58	98,95	99,25	99,82	99,63	99,79	99,46	99,77	99,18
	обрушенное зерно	0,05	0,03	0,07	0,10	0,51	0	0,04	0,07	0	0,01	0,03	0,08
	примеси	0,39	0,36	0,42	4,32	0,54	0,75	0,14	0,30	0,21	0,53	0,20	0,74
Товарная фракция	целое зерно	99,10	96,14	94,26	87,81	85,74	96,73	93,59	97,48	98,76	97,12	94,19	94,63
	обрушенное зерно	0,49	0,97	2,91	2,47	12,53	0,41	1,21	1,28	0,48	1,86	4,31	2,63
	примеси	0,41	2,89	2,83	9,72	1,73	2,86	5,20	1,24	0,76	1,02	1,50	2,74

Таблица 4.7 – Процентное соотношение полученных фракций, %

Номер образца	Наименование фракций	
	Семенная фракция	Товарная фракция
1	92,31	7,69
2	92,07	7,93
3	87,89	12,11
4	67,43	32,57
5	87,11	12,89
6	83,71	16,29
7	89,81	10,19
8	88,52	11,48
9	92,98	7,02
10	91,62	8,38
11	94,01	5,99
Среднее по образцам	87,94	12,06

лучения крупы [68, 96]. Поэтому мы рекомендуем проводить операции не связанные с получением семян за пределом семяочистительного агрегата (например, на крупозаводе).

В ходе исследований также было определено увеличение обрубленных зерновок гречихи в результате фотосепарирования каждого образца. Результаты представлены в таблице 4.8. Необходимо уточнить, что данные таблицы 4.8 учитывают влияние только фотосепаратора, т. к. загрузку проводили вручную без использования транспортирующих органов, применяя пластиковые контейнеры.

Таблица 4.8 – Обрушивание гречихи в результате фотосепарирования

Показатель	Значение показателя по образцам											Среднее по образцам
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
$\Delta_{O1}, \%$	0,01	0,04	0,02	0,07	0,09	0	0,06	0,01	0	0,01	0	0,03

Данные таблицы 4.8 позволяют сделать вывод, что применение фотосепаратора привело к незначительному увеличению содержания обрубленных зерновок. При этом увеличение содержания обрубленных зерновок наблюдалось в 8-ми образцах из 11 и в среднем составило 0,03%. Очень важно отметить, что увеличение количества обрубленных зерновок происходило не в семенной фракции, а в товарной. Это объясняется тем, что недозревшие и обрубленные зерновки гречихи, которые выделяет фотосепаратор, могут травмироваться при сообщении им импульса воздушной струей, ударяясь о боковые поверхности приёмного устройства (стенки приёмника товарной фракции). Зерновки, травмированные ранее, могут обрушиваться вследствие соударения со стенками приёмника. При этом семенная фракция не подвергается воздействию воздушной струи и в свободном падении движется в приёмник для сбора очищенной фракции.

Данные результаты исследований показывают, что для снижения травмирования семян, увеличения их выхода и повышения их посевных качеств целесообразно применять фотосепаратор, т. к. при фотосепарировании практически не оказываются механических воздействий на семенной материал.

Также в ходе исследований, используя данные таблицы 4.6, была определе-

на зависимость содержания полноценных зерновок гречихи в семенной фракции (чистоты семян) от состава исходного вороха, а именно от содержания примесей и обрубленных зерновок гречихи в ворохе, который подавали для очистки на фотосепаратор. Данная зависимость описывается следующим уравнением:

$$Ч_1 = 99,8924 - 0,2107 \cdot П - 0,2973 \cdot Со - 0,0761 \cdot П \cdot Со - 0,1303 \cdot Со^2, \quad (4.2)$$

где $П$ – содержание примесей в исходном ворохе, %.

Выражение (4.2) является итоговым уравнением после исключения незначимых коэффициентов регрессии (приложение II). Зависимость, описываемая уравнением (4.2), более наглядно представлена в виде графика на рисунке 4.3.

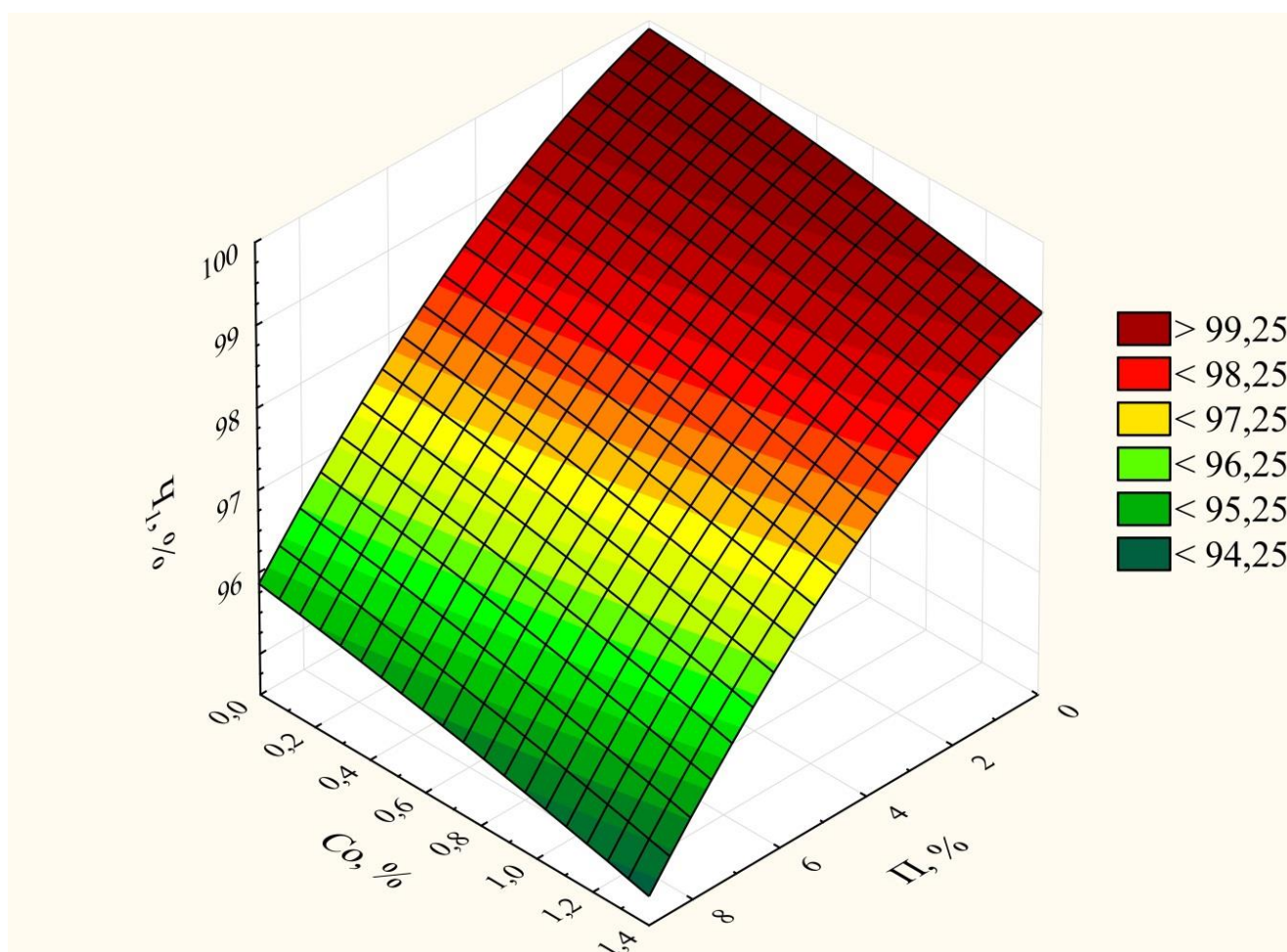


Рисунок 4.3 – Зависимость чистоты семян от состава исходного вороха:
 $Ч_1$ – содержание целых зерновок гречихи в очищенных семенах (чистота семян), %; $П$ – содержание примесей в исходном ворохе, %; $Со$ – содержание обрубленных зерновок гречихи в исходном ворохе, %

Анализируя график на рисунке 4.3, становится ясно, что при полном отсутствии или низком содержании примесей в исходном ворохе содержание в нём об-

рушенных зерновок гречихи до 1,4% будет незначительно влиять на чистоту получаемых семян. В этом случае чистота семенной фракции будет близка к 100%. Если же процент примесей в исходном ворохе высок, то даже отсутствие в нём обрушенных зерновок гречихи не позволит достичь высоких результатов очистки семян.

Пользуясь уравнением (4.2), можно рассчитать, что при фотосепарировании зернового вороха гречихи с содержанием обрушенных зёрен до 1,4% и наличии в нём примесей до 3,3% возможно получать семенную фракцию с чистотой около 98%, что соответствует требованиям ГОСТа к репродукционным семенам [38].

В ходе исследований было определено, что от состава исходного вороха также зависит и количество семенной фракции (выход семян). Данную зависимость после исключения незначимых коэффициентов регрессии (приложение И) можно представить следующим уравнением:

$$K_1 = 95,2818 - 2,8664 \cdot Co - 5,195 \cdot П - 0,5116 \cdot Co \cdot П + 0,2869 \cdot П^2. \quad (4.3)$$

Зависимость, описываемая уравнением (4.3), приведена в графическом виде на рисунке 4.4.

График на рисунке 4.4 показывает, что на выход семенной фракции значительное влияние оказывает содержание примесей в исходном ворохе. При низком содержании или полном отсутствии примесей в исходном ворохе, количество получаемых семян будет максимально высоким. Это ещё раз доказывает необходимость очистки зернового вороха перед фотосепарированием.

Уравнение (4.3) позволяет рассчитать, что фотосепарирование зернового вороха гречихи, содержащего обрушенных зерновок гречихи до 1,4%, может позволить получать около 85% очищенных семян от массы исходного вороха, если в исходном ворохе содержание примесей не будет превышать 1,15%.

Для анализа соответствия полученных семян требованиям ГОСТа были определены их энергия прорастания и лабораторная всхожесть. Результаты сравнили с исходным ворохом и требованиями ГОСТ Р 52325-2005. Среднее значение лабораторной всхожести исходного вороха образцов составляло 91%, что отвечает требованиям ГОСТа к репродукционным семенам, предназначенным для то-

варных целей (РСт). Лабораторная всхожесть очищенных на фотосепараторе семян, которая в среднем составила 97%, превышает требования ГОСТа для элитных и оригинальных семян (92%) [38].

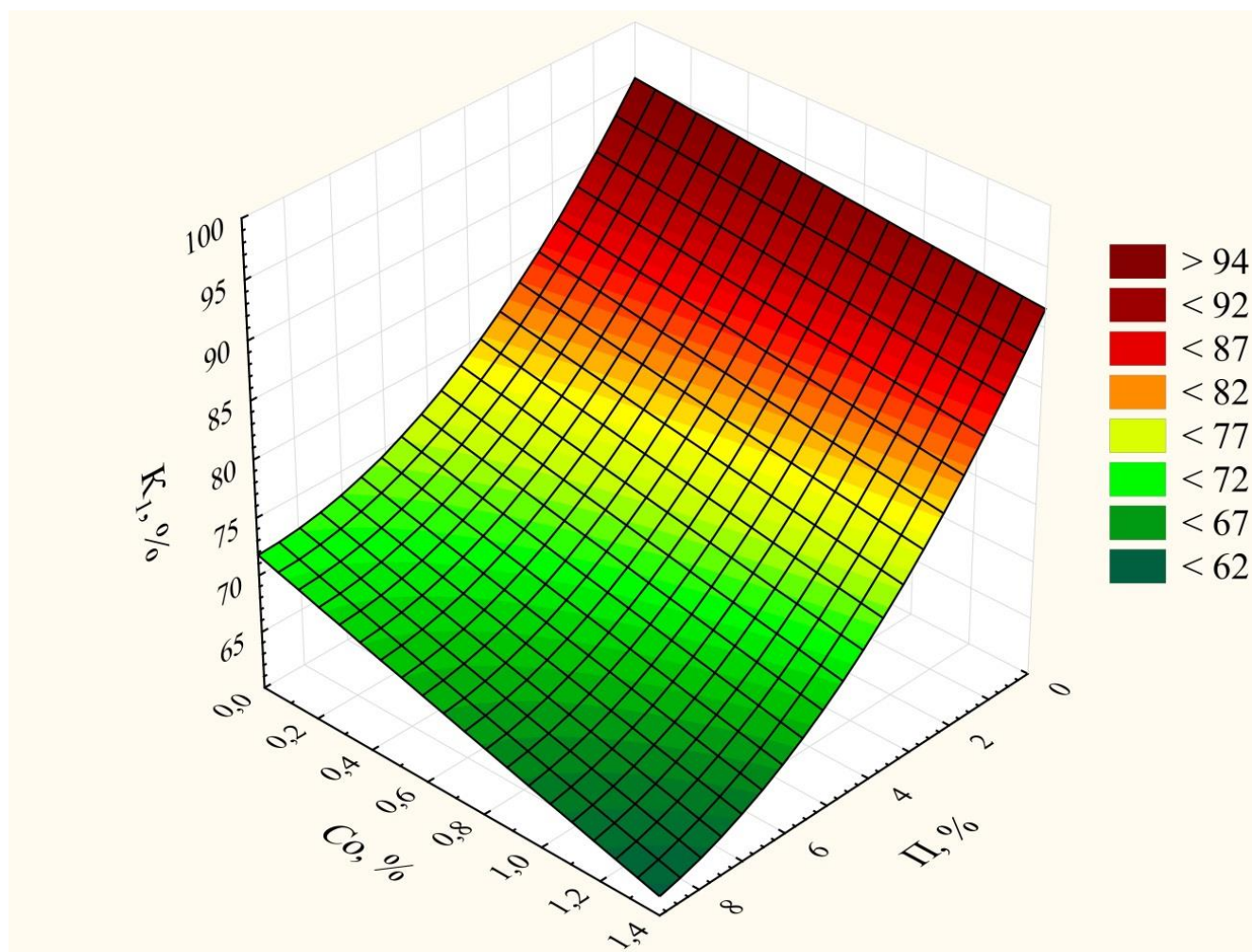


Рисунок 4.4 – Зависимость количества семян от состава исходного вороха:
 K_1 – доля (количество) семенной фракции от исходного вороха (выход семян), %;
 P – содержание примесей в исходном ворохе, %; Co – содержание обрубленных зерновок гречихи в исходном ворохе, %

Применение фотосепаратора может позволить не только повысить всхожесть получаемых семян, но и лучше сохранить их посевные качества. Данный эффект будет особенно явным при возделывании яровых культур. Сев гречихи начинается весной, то есть семена с момента уборки и очистки хранятся около полугода. Если семена очищать без использования фотосепаратора, то в них останется значительное количество обрубленных зерновок, т. к. их сложно выделить по размерам и аэродинамическим свойствам. Обрубленные зерновки гречихи являются благоприятной средой обитания и размножения различных микроорга-

низмов, которые могут существенно снизить посевные качества семян с течением времени. Фотосепарирование же, снижая в значительной мере содержание обрубленных зерновок гречихи в семенах, может позволить увеличить срок хранения семян, сохраняя их посевные качества. Это ещё раз доказывает необходимость и целесообразность обработки семенного материала на фотосепараторе.

Полученные в результате исследований зависимости (уравнения (4.2) и (4.3); рисунки 4.3 и 4.4) наглядно показывают влияние состава зернового вороха на чистоту и количество очищенных на фотосепараторе семян и отражают характер изменения чистоты и количества очищенной фракции от состава обрабатываемого вороха. Полученные зависимости позволяют определить ориентировочные значения количества и чистоты семенной фракции до начала фотосепарирования, зная состав зернового вороха, подготовленного к фотосепарированию.

Анализ результатов исследований также говорит о том, что фотосепарирование позволяет повысить всхожесть получаемых семян и может улучшить их сохранность. Однако зерновой ворох необходимо подготавливать к обработке на фотосепараторе, максимально снизив содержание в нём примесей, не превышая при этом допустимые потери ценных семян. Это позволит повысить чистоту и увеличить выход очищенных на фотосепараторе семян.

4.5. ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СКАТНЫХ ЛОТКОВ НА КАЧЕСТВО ФОТОСЕПАРИРОВАНИЯ ГРЕЧИХИ

Важным рабочим органом фотосепаратора является скатный лоток, который предназначен для разгона, рассредоточения компонентов обрабатываемого материала относительно друг друга и при необходимости выравнивания их в однослойный поток. Скатные лотки могут быть гладкими или рифлёными. По гладкому лотку зерновой ворох может двигаться однослойным потоком, используя всю ширину лотка. По рифлёному лотку, обрабатываемый материал движется по желобкам, разделённым рифами, т.е. ширина лотка используется не полностью. Тогда, очевидно, что при одинаково разреженном потоке на выходе со скатного лотка и одинаковой ширине лотков более высокую производительность фотосепара-

тора обеспечивает гладкий скатный лоток.

Характер движения обрабатываемых частиц по скатному лотку влияет на качество его очистки и зависит как от геометрических параметров скатной поверхности лотка, так и от коэффициента трения обрабатываемого материала по ней. Более высокий коэффициент трения снижает ускорение зерновок по лотку, ухудшает рассредоточение обрабатываемых частиц и может вызывать их качение по скатной поверхности. Это может снизить качество фотосепарирования.

Для определения влияния типа скатного лотка на качество фотосепарирования исследовали четыре разновидности скатных лотков [57]. Некоторые технические характеристики исследуемых лотков приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Параметры исследуемых лотков

Наименование параметра	Обозначение и наименование используемых лотков			
	Ф5.1.04.722 (Гладкий)	Ф5.1.04.721 (Мелко- рифлённый)	Ф5.1.04.724 (Широко- рифлённый)	Ф5.1.04.723 (Глубоко- рифлённый)
Ширина лотка, мм	360	360	360	360
Длина лотка, мм	1100	1100	1100	1100
Высота рифов, мм	–	2,5	2,7	12,8
Шаг желобов, мм	–	5	15	10

Как видно из таблицы 4.9, длина и ширина исследуемых лотков были одинаковы. Ширина и глубина желобов рифлёных лотков различались. Следует отметить, что скатные поверхности рифлёных лотков, как и сами лотки, выполнены из алюминиевого сплава с анодированным покрытием, а скатная поверхность гладкого лотка – стеклянная, поэтому они имеют разные коэффициенты трения с обрабатываемым материалом. Коэффициент трения зернового вороха гречихи по стеклянной скатной поверхности ниже, чем по рифлёным скатным лоткам.

Зерновой ворох гречихи, взятый от комбайнов, был очищен воздушно-решётной машиной. При этом содержание полноценного зерна в ворохе составило 98,83%, обрушенного – 0,90% и примесей – 0,27%. Подготовленный зерновой ворох разделили на 4 образца для исследования фотосепарирования с использованием четырёх типов скатных лотков.

При очистке гречихи на фотосепараторе из исходного вороха получили

очищенные семена и товарную фракцию. Количественные результаты фотосепарирования образцов гречихи при установке на фотосепаратор каждого из исследуемых лотков приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Процентное соотношение фракций при использовании различных лотков, %

Наименование фракции	Используемые скатные лотки:			
	гладкий (лоток 1)	мелкорифлённый (лоток 2)	широкорифлённый (лоток 3)	глубокорифлённый (лоток 4)
Исходный ворох	100,00	100,00	100,00	100,00
Очищенные семена	94,32	92,50	91,38	87,34
Товарная фракция	5,68	7,50	8,62	12,66

Для более наглядного представления данные таблицы 4.10 изображены на рисунке 4.5.

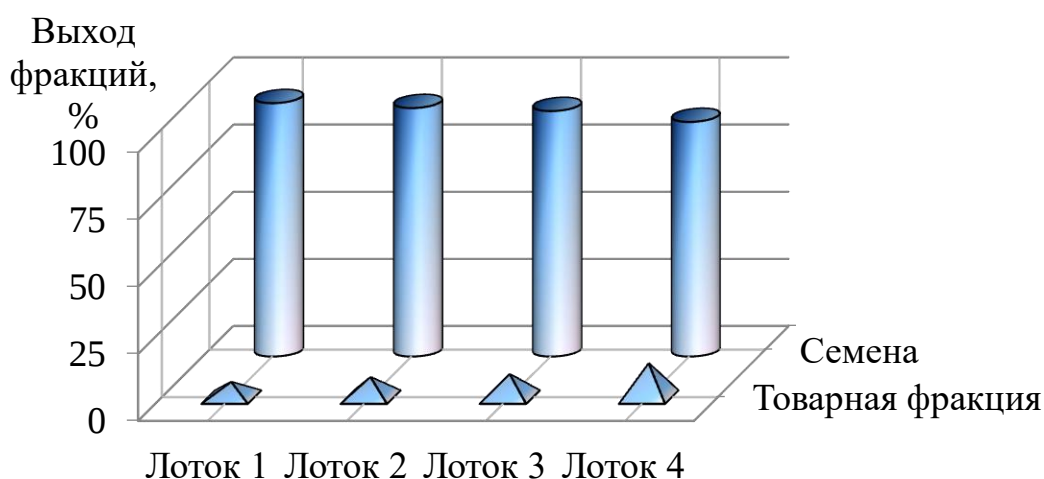


Рисунок 4.5 – Выход фракций на разных лотках

Анализ данных таблицы 4.10 и рисунка 4.5 показывает, что при очистке гречихи на фотосепараторе с использованием гладкого лотка выделили наибольшее количество очищенных семян – 94,32%, тогда как при использовании лотков с мелкорифлённой рабочей поверхностью было выделено 92,50% очищенных семян от массы исходного вороха, с ширококорифлённой скатной поверхностью – 91,38% и глубокорифлённой – 87,34%.

Это может быть связано как с более эффективным использованием рабочей поверхности гладкого лотка, так и с более низким коэффициентом трения обрабатываемого материала по стеклянной скатной поверхности, чем по рифлёным лот-

кам.

Анализ качественных показателей полученных фракций представлен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Результаты фотосепарирования гречихи на различных скатных лотках

Наименование фракции	Используемые лотки	Процентное соотношение компонентов, %		
		целое зерно	обрушенное зерно	примеси
Исходный ворох		98,73	0,90	0,37
Семена	гладкий	99,92	0,01	0,07
	мелкорифлённый	99,79	0,03	0,18
	широкорифлённый	99,77	0,03	0,20
	глубокорифлённый	99,78	0,07	0,15
Товарная фракция	гладкий	82,97	15,04	1,99
	мелкорифлённый	85,45	13,28	1,27
	широкорифлённый	87,85	11,23	0,92
	глубокорифлённый	92,71	6,56	0,73

Данные таблицы 4.11 свидетельствуют о том, что применение гладкого лотка позволило получить наиболее чистую семенную фракцию (99,92%) в сравнении с другими скатными лотками (99,77...99,79%). При этом наименьшее содержание обрушенных зерновок в очищенных семенах (0,01%) было получено также при использовании гладкого скатного лотка.

Использование гладкого скатного лотка также позволило получить товарную фракцию с содержанием целых зёрен гречихи 82,97%, в то время как при использовании мелкорифлённого лотка в товарной фракции содержалось 85,45% целых зёрен гречихи; при использованииширокорифлённого лотка содержание целых зёрен в товарной фракции составило 87,85%, а при использованииглубокорифлённого скатного лотка – 92,71%. То есть наименьшие потери целых зерновок гречихи были получены при использовании гладкого лотка со стеклянной скатной поверхностью.

Таким образом, результаты проведённых исследований показывают, что применение гладкого скатного лотка фотосепаратора позволяет увеличить чистоту получаемых семян на 0,13...0,15% и выход семенной фракции на 1,82...6,98% по сравнению с рифлёными скатными лотками. При этом наблюдается сокраще-

ние потерь семян гречихи на 2,48...9,74%.

4.6. ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФОТОСЕПАРАТОРА НА КАЧЕСТВО ФОТОСЕПАРИРОВАНИЯ ГРЕЧИХИ

В фотосепараторе обрабатываемый материал при помощи вибрации вибропитателя подают из бункера на скатный лоток (рис. 4.6) [98], где происходит разгон и рассредоточение компонентов относительно друг друга. Затем компоненты смеси попадают в зону обследования, где сканируется фотоэлементами. При обнаружении примеси происходит её удаление воздушным импульсом. При обнаружении примеси происходит её удаление воздушным импульсом.



Рисунок 4.6 – Принцип работы фотосепаратора

Производительность фотосепаратора (количество подаваемого материала в единицу времени) регулируют уровнем вибрации вибропитателя, изменяя амплитуду колебаний электромагнитного вибропривода при неизменной частоте колебаний. Устанавливаемая производительность фотосепаратора зависит от вида обрабатываемого материала и его засорённости.

Для определения влияния производительности на качество фотосепарирования семян образец подготовленного зернового вороха гречихи разделили на пять примерно равных частей, и обрабатывали их при 5-ти различных значениях подачи обрабатываемого материала на один скатный лоток фотосепаратора (W_i , т/ч). Остальные настройки фотосепаратора были неизменными [58]. В результате из каждого образца были получены очищенные семена и товарная фракция. Ко-

личественные и качественные показатели обрабатываемой зерновой смеси и полученных фракций приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Результаты очистки гречихи при разной производительности фотосепаратора

Ориентировочная подача материала на скатный лоток, т/ч	Процентное соотношение компонентов, %				Масса 1000 зёрен, гр.	Процентное соотношение фракций, %
	Зерно гречихи			Примеси		
	целое	обрушенное	повреждённое			
Исходный ворох						
—	97,62	0,93	1,30	0,15	29,75	100
Семена						
0,1	98,50	0,08	1,41	0,01	29,87	89,16
1	98,46	0,09	1,42	0,04	29,83	88,60
2	98,16	0,07	1,75	0,02	29,71	88,60
3	97,94	0,09	1,91	0,06	29,73	86,43
4	97,44	0,14	2,31	0,11	29,70	85,27
Товарная фракция						
0,1	80,26	16,42	2,42	0,90	27,74	10,84
1	81,65	15,17	2,53	0,65	27,89	11,40
2	83,40	13,25	2,46	0,89	28,17	11,40
3	86,00	11,38	1,96	0,66	28,41	13,57
4	88,05	9,18	2,29	0,48	28,64	14,73

Наименьшее исследуемое значение W_i соответствует очень низкой производительности (~ 100 кг/ч), при которой крайне редко могут использовать фотосепаратор. Поэтому исследование более низких производительностей нецелесообразно. При увеличении подачи обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора было выявлено, что при $W_i \approx 4$ т/ч чистота получаемых семян оказалась ниже, чем чистота исходного вороха (таблица 4.12). То есть на данном режиме фотосепаратор перестал выполнять своё непосредственное назначение. Поэтому исследование более высоких значений его производительности нецелесообразно.

Из таблицы 4.12 видно, что с увеличением подачи обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора с 0,1 до 4 т/ч доля целых зёрен гречихи в получаемых семенах снижается с 98,50 до 97,44%. При этом содержание целых зерновок в товарной фракции возрастает с 80,26 до 88,05%. Содержание обрушенных зёрен гречихи в семенах возрастает с увеличением производительности фотосепаратора, а в товарной фракции – снижается.

Как видно из данных таблицы 4.12, наименьшее содержание примесей в семенной фракции (0,01%) было получено при минимальной подаче обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора (0,1 т/ч). Минимальное содержание примесей (0,48%) в товарной фракции наблюдалось при $W_i \approx 4$ т/ч. Также данные таблицы 4.12 показывают, что с увеличением производительности масса 1000 зёрен семенной фракции снижается с 29,87 до 29,70 гр., а товарной фракции возрастает с 27,74 до 28,64 гр.

Анализируя данные таблицы 4.12, становится ясно, что увеличение подачи обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора с 0,1 до 4 т/ч привело к снижению выхода семенной фракции с 89,16 до 85,27% от массы исходного вороха.

Всё это говорит о том, что с увеличением производительности фотосепаратора потери полноценных семян в отходную фракцию возрастают, а чистота и выход получаемых семян снижаются.

Пользуясь данными таблицы 4.12, были определены зависимости количества и чистоты семенной фракции от производительности фотосепаратора, приведённые на рисунке 4.7.

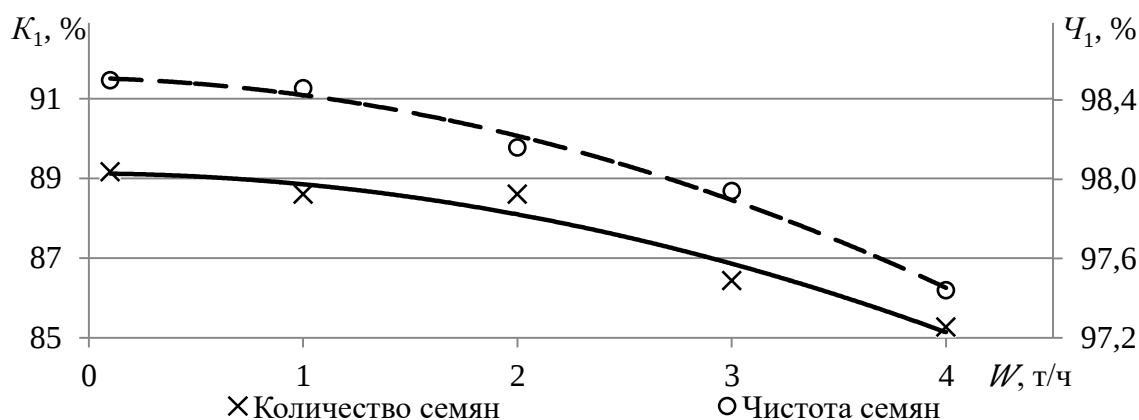


Рисунок 4.7 – Зависимости чистоты и выхода семенной фракции от производительности фотосепаратора:

K_1 – доля семенной фракции от исходного вороха, %; $Ч_1$ – содержание целых зерновок гречихи в семенах (чистота семян), %; W – подача обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора, т/ч

Графики на рисунке 4.7 наглядно показывают, что с увеличением производительности фотосепаратора снижается процент (количество) семенной фракции

(K_1), причём, чем выше подача обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора, тем стремительнее сокращается выход семян. Чистота семян ($Ч_1$) имеет схожую зависимость – при увеличении производительности чистота семян снижается.

Зависимости содержания обрушенных зерновок и примесей в семенах от производительности фотосепаратора представлены на рисунке 4.8.

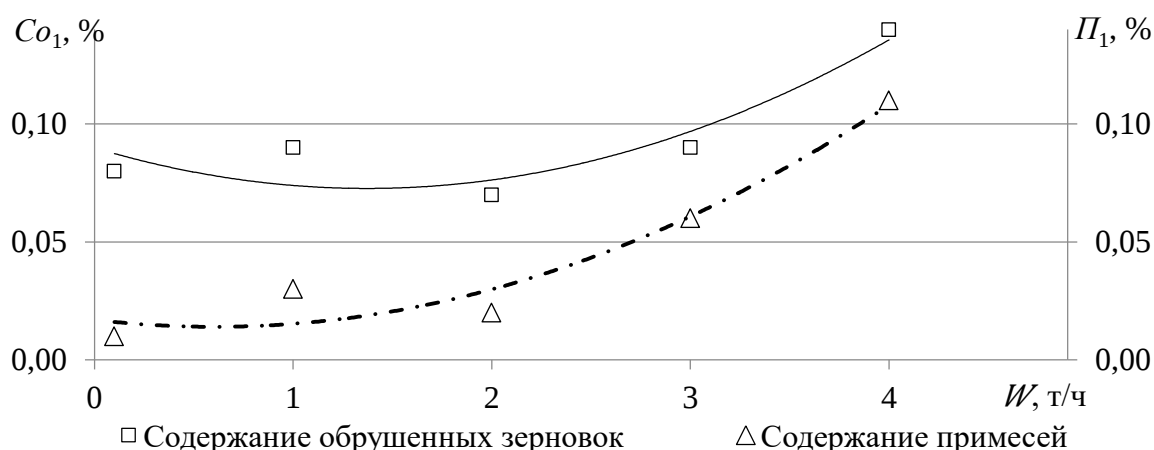


Рисунок 4.8 – Зависимости содержания обрушенных зерновок и примесей в семенной фракции от производительности фотосепаратора:

Co_1 – содержание обрушенных зерновок гречихи в семенной фракции, %;
 $П_1$ – содержание примесей в семенной фракции, %; W – подача обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора, т/ч

При анализе графиков на рисунке 4.8 становится ясно, что содержание обрушенных зерновок и примесей в получаемых семенах (Co_1 и $П_1$) имеют прямую квадратичную зависимость от подачи обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора, т. е. чем больше производительность, тем больше обрушенных зерновок и примесей остаётся в семенной фракции.

В ходе исследований также была определена зависимость изменения массы 1000 зёрен в семенной фракции от подачи обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора, которая наглядно представлена на рисунке 4.9.

График рисунка 4.9 свидетельствует о том, что изменение массы 1000 зёрен семенной фракции имеет обратную квадратичную зависимость, то есть, с увеличением производительности фотосепаратора масса 1000 зёрен очищенных семян снижается.

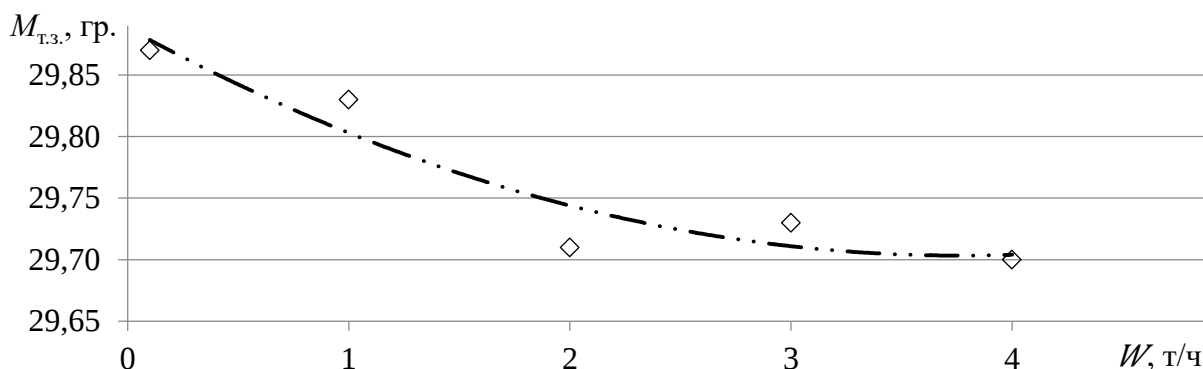


Рисунок 4.9 – Изменение массы 1000 зёрен семенной фракции от производительности фотосепаратора:

$M_{т.з.}$ – масса 1000 зёрен семенной фракции, гр.; W – подача обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора, т/ч

Таким образом, результаты исследований показывают, что при увеличении производительности фотосепаратора уменьшается количество получаемых семян, и снижается их чистота. Снижение массы 1000 зёрен семенной фракции при увеличении подачи обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора говорит о том, что с увеличением производительности фотосепаратора наиболее зрелые, выполненные зерновки гречихи в большей мере направляются в товарную фракцию, снижая тем самым качество семян и увеличивая их потери. Качество семян при увеличении производительности фотосепаратора также снижается ещё и потому, что при этом увеличивается количество обрушенных зерновок гречихи и примесей, которые остаются в семенах.

Из этого следует, что производительность фотосепаратора имеет прямое влияние на качество и количество получаемой семенной фракции, а также на потери ценных семян. Поэтому производительность фотосепаратора следует устанавливать таким образом, чтобы обеспечивалось необходимое качество получаемой продукции, не допуская потерь ценных семян. Также можно сделать вывод, что для получения нужного качества готовой продукции обработка хорошо подготовленного семенного материала позволит установить бóльшую производительность фотосепаратора, нежели при обработке неподготовленной или плохо подготовленной зерновой массы.

4.7. Выводы

Данные четвёртой главы позволяют сделать следующие выводы:

- проведённые исследования позволяют составить рекомендации по комплектации и настройке воздушно-решётной машины для подготовки зернового вороха гречихи к его очистке на фотосепараторе: скорость воздушного потока первой аспирации должна быть 4,8...5,0 м/с; колосовые решёта должны иметь отверстия диаметром не менее 7,0...7,5 мм; сортировальные решёта необходимо устанавливать с диаметром отверстий 4,0 мм, а подсевные – 3,0...3,5 мм; скорость воздушного потока второй аспирации следует устанавливать 5,5...5,7 м/с. В этом случае потери полноценных зерновок с высокими посевными качествами будут минимальными, а в зерновом ворохе гречихи останутся преимущественно трудноотделимые примеси;

- результаты проведённых исследований подтверждают адекватность разработанной во второй главе математической модели движения обрабатываемого материала в фотосепараторе – расхождения экспериментальных и теоретических значений не превышают 4%. Определена рациональная длина скатной поверхности при фотосепарировании гречихи, значение которой находится в пределах (1,0...1,1) м, причём наилучшим оказалось значение длины лотка 1,04 м, которое было рассчитано при помощи математической модели;

- полученные в результате исследований зависимости (уравнения (4.2) и (4.3)) позволяют определить, что для получения семян, отвечающих требованиям ГОСТа, предъявляемым к чистоте репродукционных семян, зерновой ворох, подаваемый на фотосепаратор, должен содержать обрубленных зерновок не более 1,4% и примесей – не более 3,3%. При этом выход семян будет составлять около 75%. Для увеличения выхода семенной фракции до 85% необходимо подавать на фотосепаратор зерновой ворох, в котором примеси не будут превышать 1,15%, а обрубленные зерновки – 1,4%. Чистота получаемых при этом семян составит около 98,85%, что соответствует требованиям ГОСТа, предъявляемым к элитным семенам. Это значит, что зерновой ворох необходимо подготавливать к обработке на фотосепараторе, максимально снизив содержание в нём примесей, что позво-

лит повысить чистоту и увеличить выход очищенной фотосепаратором фракции;

- в ходе экспериментальных исследований также определили, что применение гладкого лотка фотосепаратора со стеклянной скатной поверхностью позволяет увеличить чистоту получаемых семян на 0,13...0,15% и выход семенной фракции на 1,82...6,98% по сравнению с рифлёными скатными лотками. При этом наблюдается сокращение потерь семян гречихи на 2,48...9,74%;

- результаты исследований также позволили определить зависимость качества очистки от производительности фотосепаратора. Опыты показали, что при увеличении подачи обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора с 0,1 до 4 т/ч чистота семенной фракции снизилась с 98,50 до 97,44%, выход семян уменьшился с 89,16 до 85,27%, а потери ценных семян увеличились. Это значит, что производительность фотосепаратора следует устанавливать только контролируя качество очистки, а зерновой ворох необходимо как можно лучше подготавливать для очистки его на фотосепараторе. Следовательно, можно сделать вывод, что чем лучше подготовлен материал для его очистки на фотосепараторе, тем бóльшую производительность возможно установить при фотосепарировании.

5. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЕМЯОЧИСТИТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА И ОЦЕНКА ЕГО ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

5.1. НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СЕМЯОЧИСТИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Из вышеизложенного следует, что для получения качественных семян необходимо обеспечить первичную обработку поступаемого от комбайнов зернового вороха без укладки его на ток [51, 52, 60, 83, 84, 102, 104, 108, 119], где на него воздействуют микроорганизмы, а также при последующем подборе зернометателем или подборщиком зерно дополнительно травмируется [72, 121]. При этом за счёт увеличения травмирования зерна существенно ухудшаются посевные качества семян.

Семеноводческие хозяйства, как правило, имеют небольшие объёмы производства и малое разнообразие возделываемых культур. Поэтому предлагаем технологическую линию зерно- и семяочистительного агрегата, схема которого изображена на рисунке 5.1.

Семяочистительный агрегат (рис. 5.1) включает: приёмное устройство 1 с норией 2, двухаспирационную воздушно-решётную фракционную зерноочистительную машину 3, бункеры для сбора неиспользуемых отходов 4 и фуражной фракции 5, направляющий клапан 6, бункер для сбора товарного зерна после первичной очистки 7, тихоходную норию 8, фотосепаратор 9, а также бункеры для сбора очищенных семян 10 и товарной фракции после фотосепаратора 12.

Работает семяочистительный агрегат следующим образом. Бункерный ворох из транспортного средства выгружается в приёмное устройство 1 и далее подаётся норией 2 по самотёчному устройству в двухаспирационную воздушно-решётную фракционную зерноочистительную машину 3.

При помощи воздушно-решётной машины 3 в режиме фракционирования проводят первичную очистку обрабатываемого материала. При этом легковесные и мелкие примеси направляются в бункер для сбора неиспользуемых отходов 4, а фуражная фракция из машины 3 направляется в бункер для сбора фуража 5. На выходе чистого продукта из зерноочистительной машины 3 установлен направ-

ляющий клапан 6.

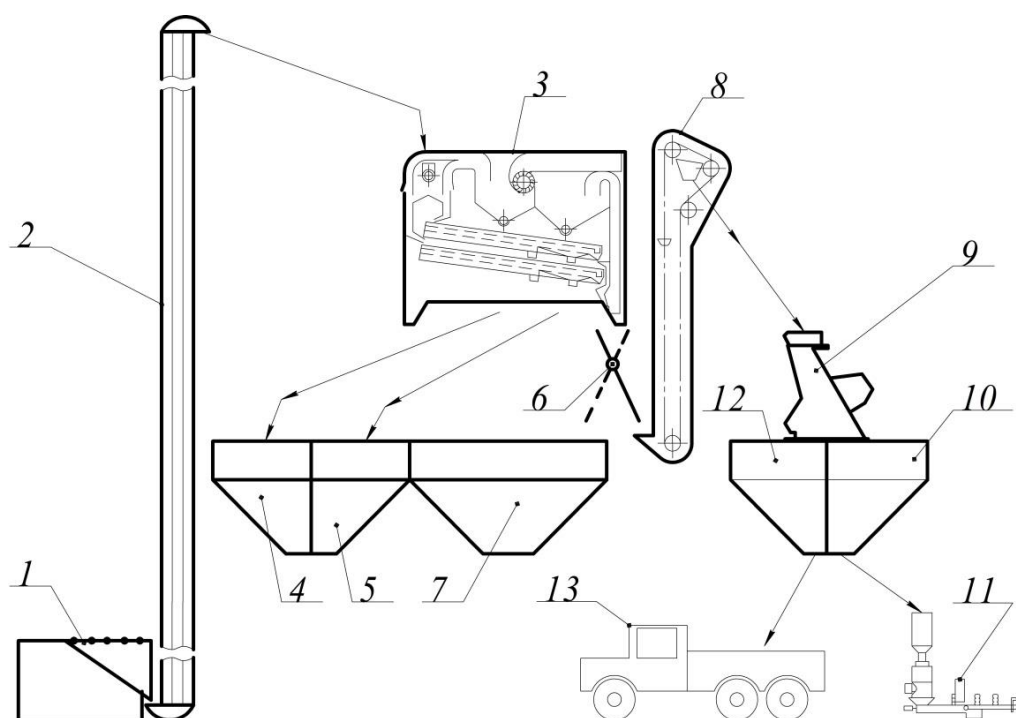


Рисунок 5.1 – Технологическая линия семяочистительного агрегата:

1 – приёмное устройство (завальная яма); 2 – нория; 3 – двухаспирационная воздушно-решётная фракционная зерноочистительная машина; 4 – бункер для сбора неиспользуемых отходов; 5 – бункер для сбора фуражной фракции; 6 – направляющий клапан; 7 – бункер для сбора товарного зерна; 8 – тихоходная нория; 9 – фотосепаратор; 10 – бункер для сбора семян; 11 – пункт затаривания семян; 12 – бункер для сбора товарной фракции, полученной в результате фотосепарирования; 13 – транспортное средство

При подготовке товарного зерна, когда зерно после первичной очистки не нуждается в последующей обработке, клапан 6 устанавливают в положение, при котором очищенный продукт из машины 3 направляется в зерновой бункер 7. При подготовке семян клапан 6 устанавливают таким образом, что зерно, прошедшее первичную очистку, направляется в тихоходную норию 8, которая подаёт его для окончательной обработки на фотосепаратор 9. Очищенные фотосепаратором 9 семена направляются в семенной бункер 10 и далее на пункт их затаривания 11. Отходовая фракция из фотосепаратора 9 направляется в секцию бункера для сбора товарной фракции 12. По мере заполнения бункера 12 товарное зерно отгружается в транспортное средство 13 для перемещения к месту хранения или реализации.

Данная технологическая линия семяочистительного агрегата позволяет точно обрабатывать бункерный ворох сельскохозяйственных культур в семеноводческих или небольших фермерских хозяйствах. При этом технологическая линия включает минимально-необходимое количество зерноочистительных машин для подготовки семян. Тип машин и транспортирующего оборудования подобран таким образом, чтобы максимально сократить количество и интенсивность механических воздействий на семена, с целью сохранения их посевных качеств.

При больших объёмах производства лучше использовать схему семяочистительного агрегата, которая изображена на рисунке 5.2.

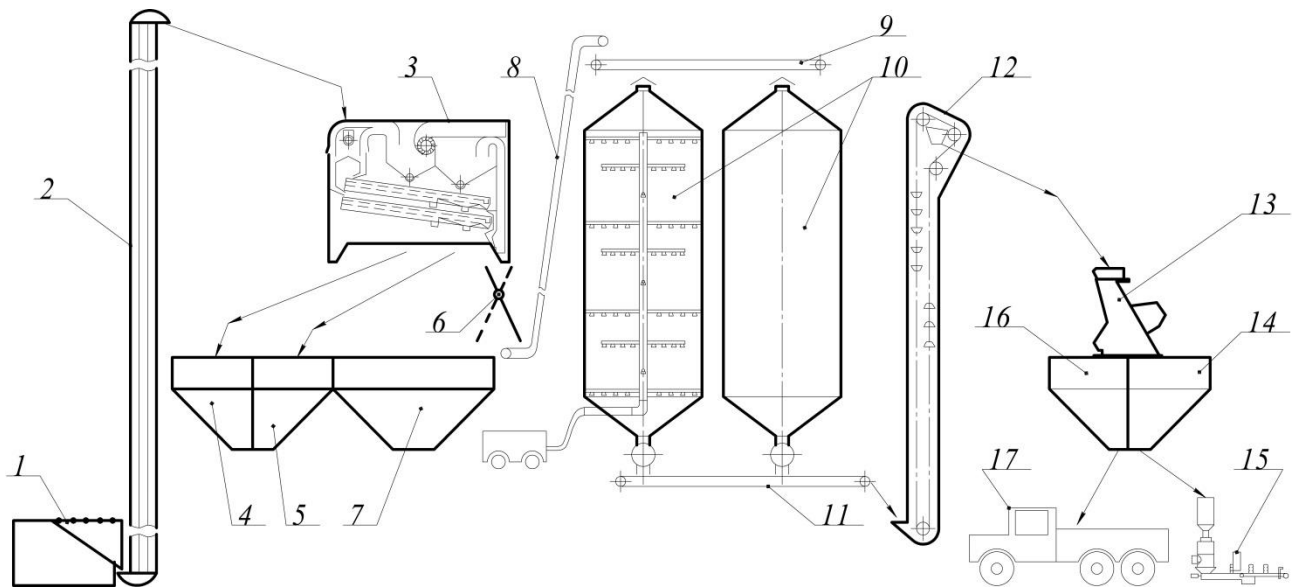


Рисунок 5.2 – Схема семяочистительного агрегата для больших хозяйств:
 1 – приёмное устройство (завальная яма); 2 – нория; 3 – двухаспирационная воздушно-решётчатая фракционная зерноочистительная машина; 4 – бункер для сбора неиспользуемых отходов; 5 – бункер для сбора фуражной фракции; 6 – направляющий клапан; 7 – бункер для сбора товарного зерна; 8 – наклонный ленточный транспортёр; 9 – верхний ленточный транспортёр; 10 – силосы; 11 – нижний ленточный транспортёр; 12 – тихоходная нория; 13 – фотосепаратор; 14 – бункер для сбора семян; 15 – пункт затаривания семян; 16 – бункер для сбора товарной фракции, полученной при фотосепарировании; 17 – транспортное средство

Схема семяочистительного агрегата, изображённая на рисунке 5.2, отличается от вышеописанной схемы (рис. 5.1) наличием отделения временного хранения, представленного силосами с конусным дном 10 (рис. 5.2). Также представленная схема, изображённая на рисунке 5.2, дополнительно включает ленточные транспортёры 8, 9 и 11 для загрузки силосов 10 и направления материала из сило-

сов 10 в тихоходную норию 12.

При уборке в сжатые агротехнические сроки больших объёмов урожая необходимо устанавливать высокопроизводительную воздушно-решётную машину 3. При этом производительность фотосепаратора 13 может быть значительно ниже, чем машины 3. В таком случае, отделение временного хранения компенсирует разницу производительностей воздушно-решётной машины 3 и фотосепаратора 13. В то же время в силосах возможно проводить сушку или активное вентилирование семенного материала холодным, подогретым воздухом или озонозвушной смесью, что позволит сохранить природные посевные качества семян и повысить урожайность культуры.

Если производительности одной воздушно-решётной машины 3 недостаточно, то следует установить необходимое количество машин параллельно [84]. Параллельное расположение машин 3 позволит поточно обрабатывать большие объёмы бункерного вороха, не увеличивая травмирование семян, в отличие от последовательного их расположения. При этом также целесообразно использовать приёмное отделение с двухсекционной завальной ямой и установкой норий в каждой из секций, что позволит уменьшить глубину завальной ямы и вероятность её заполнения грунтовыми водами. Использование системы резервных зернопроводов в отделении первичной очистки повысит надёжность работы семяочистительного агрегата [87]. В случаях, когда нет возможности использования двухсекционного приёмного устройства, и применяется одна загрузочная нория, лучше использовать современные делители потока [124, 125, 126].

Технологическая линия семяочистительного агрегата, изображённая на рисунке 5.2, универсальна и подходит для подготовки зерна и семян различных сельскохозяйственных культур на предприятиях с большими объёмами производства. Однако при подготовке семян в семеноводческих или малых фермерских хозяйствах, вероятно, более выгодно будет обрабатывать бункерный ворох по схеме, представленной на рисунке 5.1. При этом используется минимально необходимое количество машин и вспомогательного оборудования, а их тип подобран таким образом, чтобы минимизировать травмирование семян.

5.2. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СЕМЯОЧИСТИТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА ПРИ ПОДГОТОВКЕ СЕМЯН ГРЕЧИХИ

Для обоснования экономической целесообразности использования предлагаемого семяочистительного агрегата, технологическая схема которого изображена на рисунке 5.1, необходимо выбрать объект для сравнения [30]. Наиболее близким по выполняемым задачам, составу и производительности поточной обработки является типовой зерно- и семяочистительный агрегат ЗАВ-20Т, который производится и реализуется в настоящее время, например ГСКБ «Зерноочистка». Поэтому в качестве объекта для сравнения (базового варианта) был выбран типовой агрегат ЗАВ-20Т.

Будем считать, что состав и цена металлоконструкции с бункерами предлагаемого и типового семяочистительных агрегатов схожи. Поэтому для упрощения расчёта экономической эффективности они не рассматриваются. В расчёт включены зерноочистительные машины и транспортирующее оборудование (нории), непосредственно участвующие в послеуборочной подготовке семян гречихи.

Рекомендованные сроки уборки (обмолота) гречихи – 2...3 дня [5]. Поэтому расчёт экономической эффективности работы предлагаемой семяочистительной линии проводится на объём гречихи, который возможно поточно обработать типовым семяочистительным агрегатом (ЗАВ-20Т) и предлагаемым по проекту (рис. 5.1) за 3 дня обмолота гречихи. При этом принимаем одну рабочую смену в сутки продолжительностью 12 часов.

Так как в технических характеристиках машин приводится ориентировочная их производительность при обработке пшеницы, то необходимо определить значение данной производительности при очистке гречихи. Поэтому производительность зерноочистительных машин принимаем с учётом коэффициента эквивалентности (для гречихи 0,6) [121]. Производительность транспортирующего оборудования можно пересчитать, учитывая объёмную массу гречихи, которая составляет 650 кг/м^3 [71]. Объёмная масса пшеницы равна 750 кг/м^3 [71]. Умножив производительность транспортирующего оборудования, указанную в технической характеристике (на пшенице), на переводной коэффициент ($650/750 \approx 0,87$),

можно определить их производительность на гречихе.

Состав и некоторая техническая характеристика машин и оборудования рассматриваемых семяочистительных агрегатов приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Состав базового и проектного семяочистительных агрегатов

Применяемые машины	Производи- тельность (на гречихе), т/ч	Габариты, мм	Мас- са, кг	Установлен- ная мощ- ность, кВт	Коли- чество, шт.
Типовой ЗАВ-20Т					
ОЗС-50 (при первичной очистке)	12	3620×1950×2930	2 000	11,25	1
БТЦ-700	3,6	3840×973×2535	1 495	2,25×2	2
МОС-9Н	3,6	2600×1900×2000	1 180	16,1	2
НПК-25 (13,5 м)	21	13500×1755×675	780	2,2	1
НПК-25 (8 м)	21	8000×1755×675	730	2,2	1
НПК-10 (10 м)	8,7	10000×1100×480	520	1,5	2
Всего	—	—	6705	59,85	9
Проектный семяочистительный агрегат					
ОЗФ-50 (при первичной очистке)	15	2995×2280×3000	2 300	15	1
Ф20.1	12	1900×1500×2300	1150	3,1	1
НПК-25 (13,5 м)	21	13500×1755×675	780	2,2	1
НТХ-20 (10 м)	17	10000×2550×950	1022	2,2	1
Всего	—	—	5252	22,5	4

Путём перемножения производительности воздушно-решётной машины при первичной очистке, сроков обмолота, количества, длительности рабочих смен агрегата за сутки и коэффициента использования времени смены, можно определить планируемый объём обрабатываемого бункерного вороха гречихи каждого агрегата:

$$Q_n = W^{zp} \cdot n_d \cdot n_{pc} \cdot t_{pc} \cdot \tau_{cm}, \quad (5.1)$$

где Q_n – планируемый объём обрабатываемого бункерного вороха гречихи, т;

W^{zp} – производительность воздушно-решётной машины при первичной обработке гречихи, т/ч;

n_d – количество дней обмолота гречихи;

n_{pc} – количество рабочих смен в сутки;

t_{pc} – продолжительность рабочей смены, ч;

τ_{cm} – коэффициент использования времени смены.

Как видно из данных таблицы 5.1, машины первичной очистки типового и предлагаемого семяочистительных агрегатов имеют разную производительность. Воздушно-решётная машина предлагаемого семяочистительного агрегата (ОЗФ-50) имеет производительность при первичной очистке гречихи: $25 \times 0,6 = 15$ т/ч. В типовом ЗАВ-20Т воздушно-решётная машина (ОЗС-50) при первичной очистке гречихи имеет производительность: $20 \times 0,6 = 12$ т/ч. Поэтому за одинаковое время работы (3 дня в одну 12-ти часовую рабочую смену) поточно они могут обработать разное количество гречихи: типовой ЗАВ-20Т – 367,2 т, а предлагаемый семяочистительный агрегат – 459 т бункерного вороха.

Основные исходные данные для экономического анализа проекта приведены в таблице 5.2 (информация действительна на 20.10.2016 г.). Технические характеристики машин и оборудования, их цены и ориентировочные значения процентного соотношения получаемых на каждой машине фракций принимались по данным заводов-изготовителей. Значения процентного соотношения фракций, получаемых при фотосепарировании гречихи, приняты из результатов проведённых исследований (табл. 4.7). Цены на продукцию приняты средние по стране.

Таблица 5.2 – Данные для экономического анализа

Наименование показателя	Значение показателя	
	в типовом ЗАВ-20Т	по проекту
Стоимость машин, тыс. руб.:		
ОЗС-50	890	–
БТЦ-700	550×2	–
МОС-9Н	750×2	–
НПК-25 (13,5 м)	300	300
НПК-25 (8 м)	270	–
НПК-10 (10 м)	240×2	–
ОЗФ-50	–	1 100
Ф20.1	–	4 037
НТХ-20	–	310
Суммарная стоимость машин агрегата, тыс. руб.	4 540	5 747
Дополнительные капитальные вложения, тыс. руб.	–	1 411
Срок эксплуатации агрегата, лет.	9	9
Продолжительность работы агрегата, дней.	3	3
Продолжительность рабочей смены, ч.	12	12
Количество смен в сутки.	1	1
Коэффициент использования времени смены	0,85	0,85
Производительность поточной первичной очистки, т/ч.	12	15
Планируемый объём обрабатываемого бункерного вороха гречихи, т.	367,2	459
Соотношение получаемых фракций, %:		
очищенная при первичной очистке,	80	80
отходоная при первичной очистке (фураж),	15	15

Таблица 5.2 (Продолжение)

Наименование показателя	Значение показателя	
	в типовом ЗАВ-20Т	по проекту
неиспользуемые отходы первичной очистки,	5	5
очищенная при вторичной очистке,	85	–
отходовая при вторичной очистке (фураж),	15	–
очищенная при окончательной обработке (семена),	85	88
отходовая при окончательной обработке (товарное зерно).	15	12
Соотношение получаемых фракций, т:		
очищенная при первичной очистке,	293,76	367,2
отходовая при первичной очистке (фураж),	55,08	68,85
неиспользуемые отходы первичной очистки,	18,36	22,95
очищенная при вторичной очистке,	249,7	–
отходовая при вторичной очистке (фураж),	44,06	–
очищенная при окончательной обработке (семена),	212,24	323,14
отходовая при окончательной обработке (товарное зерно).	37,45	44,06
Количество обслуживающего персонала, чел.	1	1
Годовой фонд времени одного работника, чел.-ч.	36	36
Тарифная ставка оператора агрегата, руб./чел.-ч.	140	140
Суммарная потребляемая мощность агрегата, кВт.	59,85	22,5
Стоимость электроэнергии, руб./кВт-ч.	3,40	3,40
Себестоимость 1 т бункерного вороха гречихи, руб.	11 000	11 000
Цена продукции, руб./т:		
семена,	36 000	36 000
товарное зерно,	22 000	22 000
фураж.	6 000	6 000
Отчисления, %:		
на реновацию,	12,5	12,5
на ТО и ТР.	10	10
Учётная процентная ставка по кредитам или вкладам, %.	14	14

Из таблицы 5.2 видно, что применение более производительной машины первичной очистки (ОЗФ-50), меньшее количество зерноочистительных машин в линии, а также бóльшая доля очищенной фракции при окончательной обработке (на фотосепараторе) в предлагаемом агрегате позволяют получить больше готовых семян на выходе (323,14 т), чем в типовом агрегате (212,24 т) за одинаковое время работы машин. Использование предлагаемого агрегата позволяет также получить больше товарного (44,06 т) и меньше фуражного зерна (68,85 т) в сравнении с типовым ЗАВ-20Т (37,45 и 99,14 т соответственно).

Производственные затраты представлены в таблице 5.3, данные которой говорят о том, что производственные затраты предлагаемого семяочистительного агрегата превышают данные затраты типового ЗАВ-20Т. Однако в предлагаемом

агрегате затраты труда в пересчёте на 1 т сырья ниже данных затрат типового агрегата. Также из таблицы 5.3 видно, что в предлагаемом агрегате затраты на электроэнергию ниже, чем в типовом.

Таблица 5.3 – Затраты при производстве семян гречихи

Наименование показателя	Значение показателя	
	в типовом ЗАВ-20Т	по проекту
Планируемый объём обрабатываемого бункерного вороха гречихи, т.	367,2	459
Количество работников, обслуживающих агрегат, чел.	1	1
Годовой фонд времени одного работника, чел.-ч.	36	36
Затраты труда в расчёте на 1 т сырья, чел.-ч/т.	0,098	0,078
Экономия затрат труда, чел.-ч/т: в расчёте на 1 т сырья,	–	0,02
в расчёте на весь объём сырья (за год).	–	9,18
Уровень оплаты труда с начислениями, руб./ч.	140	140
Оплата труда за весь объём работ, руб.	5 040	5 040
Оплата труда в расчёте на 1 т сырья, руб./т.	13,73	10,98
Экономия фонда оплаты труда, руб./т: в расчёте на 1 т сырья,	–	2,75
в расчёте на весь объём сырья (за год).	–	1 262,25
Затраты на сырьё (бункерный ворох гречихи), руб.	4 039 200	5 049 000
Амортизация оборудования, руб.	567 500	718 375
Отчисления на ремонт и все виды ТО, руб.	454 000	574 700
Затраты на электроэнергию: всего, руб.,	7 325,64	2 754
в расчёте на 1 т сырья, руб./т.	19,95	6,0
Экономия затрат на электроэнергию, руб./т: в расчёте на 1 т сырья,	–	13,95
в расчёте на весь объём сырья (за год).	–	6 403
Прямых затрат, руб.	5 073 066	6 349 869
Непредвиденные расходы (5% от Прямых затрат), руб.	253 653	317 493
Всего прямых затрат, руб.	5 326 719	6 667 362
Накладные расходы (15% от Всего прямых затрат), руб.	799 008	1 000 104
Производственные затраты, руб.	6 125 727	7 667 467
Дополнительные производственные затраты, руб.	–	1 541 740

Показатели экономической эффективности использования предлагаемого семяочистительного агрегата в сравнение с типовым ЗАВ-20Т представлены в таблице 5.4, данные которой свидетельствуют о том, что предлагаемый агрегат позволяет получить дополнительную чистую прибыль в размере 1 926 201 руб. При этом рентабельность производства предлагаемого агрегата по чистой прибыли превышает данный показатель типового агрегата на 19,64%.

Таблица 5.4 – Оценка экономического эффекта

Наименование показателя	Значение показателя	
	в типовом ЗАВ-20Т	по проекту
Производственные затраты, руб.	6 125 727	7 667 467
Валовая продукция за год, т:		
семена гречихи,	212,24	323,14
товарное зерно гречихи,	37,45	44,06
фураж,	99,14	68,85
неиспользуемые отходы.	18,36	22,95
Цена продукции, руб./т:		
семена гречихи,	36 000	36 000
товарное зерно гречихи,	22 000	22 000
фураж гречихи.	6 000	6 000
Стоимость продукции, руб.:		
всего,	8 960 414	12 946 554
в том числе:		
семена гречихи,	7 640 698	11 632 896
товарное зерно гречихи,	823 997	969 408
фураж гречихи.	495 720	344 250
Прибыль, руб.	2 834 688	5 279 087
Налоги (13% от Прибыли), руб.	1 164 854	1 683 052
Чистая прибыль, руб.	1 669 834	3 596 035
Уровень рентабельности, % по чистой прибыли.	27,26	46,90
Дополнительная чистая прибыль, руб.	–	1 926 201
Дополнительные производственные затраты, руб.	–	1 541 740
Годовой экономический эффект, руб.	–	384 461

Годовой экономический эффект ($\mathcal{E}_e$) от использования предлагаемого агрегата рассчитывали следующим образом:

$$\mathcal{E}_e = \Pi_{\text{ч}}^{\delta} - 3_{\text{пр}}^{\delta} = \Pi_{\text{ч}}^{\delta} + (3_{\text{пр}}^m - 3_{\text{пр}}^n), \quad (5.2)$$

где $\mathcal{E}_e$ – годовой экономический эффект от использования предлагаемого семяочистительного агрегата, руб.;

$\Pi_{\text{ч}}^{\delta}$ – дополнительная чистая прибыль предлагаемого агрегата в сравнении с типовым, руб.;

$3_{\text{пр}}^{\delta}$ – дополнительные производственные затраты предлагаемого агрегата в сравнении с типовым, руб.;

$3_{\text{пр}}^m$, $3_{\text{пр}}^n$ – производственные затраты типового семяочистительного агрегата (ЗАВ-20Т) и предлагаемого соответственно, руб.

Годовой экономический эффект ($\mathcal{E}_2$) от использования предлагаемого семяочистительного агрегата составил 384 461 руб.

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений ($T_{ок}$) определяли выражением:

$$T_{ок} = \frac{-\ln(1 - \frac{K_{\partial} \cdot NS}{\mathcal{E}_2})}{\ln(1 + NS)}, \quad (5.3)$$

где $T_{ок}$ – срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет;

K_{∂} – дополнительные капитальные вложения, руб.;

NS – коэффициент, отражающий учётную годовую процентную ставку по кредитам или вкладам в банк ($NS = 0,14$);

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений в разработанный агрегат составил менее четырёх с половиной лет (4,42 года).

Экономический эффект за срок эксплуатации предлагаемого агрегата ($\mathcal{E}_{сэ}$) определяли уравнением:

$$\mathcal{E}_{сэ} = \mathcal{E}_2 \cdot \frac{(1 + NS)^{\Gamma} - 1}{NS}, \quad (5.4)$$

где $\mathcal{E}_{сэ}$ – экономический эффект за срок эксплуатации, руб.;

Γ – срок эксплуатации проектного семяочистительного агрегата, лет.

Экономический эффект за срок эксплуатации проекта составил 6 184 194 руб.

Коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений (E_t), который показывает относительную величину прироста суммы экономического эффекта, находится по уравнению:

$$E_t = \left(\frac{\mathcal{E}_{сэ}}{K_{\partial}} \right)^{\frac{1}{\Gamma}} - 1, \quad (5.5)$$

где E_t – коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений в проект.

Показатели экономической эффективности использования предлагаемого

семяочистительного агрегата приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Показатели экономической эффективности агрегата

Наименование показателя	Значение показателя	
	в типовом ЗАВ-20Т	по проекту
Планируемый объём обрабатываемого бункерного вороха гречихи, т.	367,2	459
Затраты труда в расчёте на 1 т сырья, чел.-ч/т.	0,098	0,078
Экономия труда, чел.-ч/т:		
в расчёте на 1 т сырья,	—	0,02
в расчёте на весь объём сырья (за год).	—	9,18
Экономия фонда оплаты труда, руб./т:		
в расчёте на 1 т сырья,	—	2,75
в расчёте на весь объём сырья (за год).	—	1 262,25
Экономия затрат на электроэнергию, руб./т:		
в расчёте на 1 т сырья,	—	13,95
в расчёте на весь объём сырья (за год).	—	6 403,05
Дополнительная чистая прибыль, руб.	—	1 926 201
Годовой экономический эффект, руб.	—	384 461
Экономический эффект за срок эксплуатации, руб.	—	6 184 194
Коэффициент эффективности вложений.	—	0,20
Срок окупаемости вложений, лет.	—	4,42

Анализируя данные таблицы 5.5, можно сделать вывод, что использование проектного семяочистительного агрегата является экономически целесообразным, так как коэффициент, отражающий учётную годовую процентную ставку по кредитам или вкладам в банк ($NS = 0,14$) меньше коэффициента эффективности капитальных вложений в проект ($E_t = 0,20$) [30].

Разработанный семяочистительный агрегат может быть использован для подготовки семян гречихи и других сельскохозяйственных культур.

Расчёт экономической целесообразности показал, что внедрение предлагаемой технологической линии семяочистительного агрегата позволит сэкономить на оплате труда в пересчёте на 1 т сырья и уменьшить затраты на электроэнергию при подготовке семян гречихи в сравнении с типовым ЗАВ-20Т. При этом за одинаковое время работы агрегатов разработанный агрегат позволяет получить больше семян и товарного зерна гречихи, и меньше фуражной фракции, в сравнении с типовым агрегатом.

Как показали результаты экономического расчёта, срок окупаемости допол-

нительных капитальных вложений в проект составит менее четырёх с половиной лет (4,42 года), а экономический эффект за срок службы предлагаемого агрегата составит 6 184 194 руб.

Применение предлагаемой технологической линии семяочистительного агрегата позволяет не только сократить материало- и энергозатраты при производстве семян гречихи в сравнении с базовым ЗАВ-20Т. Предлагаемый семяочистительный агрегат не содержит промежуточной норией НПК-25 (высотой 8 м) и триерных блоков БТЦ-700, которые входят в типовой агрегат ЗАВ-20Т. Также для подачи обрабатываемого материала на окончательную его очистку в предлагаемом агрегате применяется тихоходная нория НТХ-20 (которая меньше травмирует семена) вместо норией НПК-10 в типовом агрегате. Поэтому очевидно, что количество и интенсивность механических воздействий на семенной материал в разработанном агрегате будет ниже, чем в базовом варианте. Если предположить, что травмирование семян вследствие их очистки на триерном блоке составляет (2,5...3,1)% [56], а погрузка зерна норией травмирует (4...12)% семян [56], то можно сказать, что разработанная технологическая линия зерноочистительного агрегата позволяет снизить травмирование семян минимум на 6,5% по сравнению с типовым ЗАВ-20Т.

Сокращение травмирования семян положительно повлияет на посевные качества получаемых семян и увеличивает их выход.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для наиболее эффективной очистки бункерного вороха гречихи без потерь ценных семян скорость воздушного потока первой аспирации воздушно-решётной машины необходимо устанавливать (4,8...5,0) м/с, второй аспирации – (5,5... 5,7) м/с, колосовые решёта необходимо использовать с диаметром отверстий не менее (7,0...7,5) мм, подсевные решёта – с диаметром отверстий (3,0...3,5) мм, а сортировальные – 4,0 мм.

2. В ходе математического моделирования выявили влияние различий в размерных и фрикционных свойствах частиц зерновой массы гречихи на качество её фотосепарирования и определили максимальную длину скатного лотка $S_{\max} = 1,04$ м.

3. Адекватность усовершенствованной математической модели была подтверждена высокой сходимостью (свыше 96%) результатов экспериментальных и теоретических исследований. Экспериментально определена рациональная длина скатного лотка в пределах (1,0...1,1) м. Наилучшим является её значение $S_{\max} = 1,04$ м, определённое при помощи усовершенствованной математической модели.

4. Репродуктивные семена гречихи с выходом до 75% можно получить в результате фотосепарирования зерновой массы, предварительно очищенной на воздушно-решетной машине и содержащей обрушенных зерновок не более 1,4%, примесей не более 3,3%. Для получения элитных семян с выходом до 85% содержание примесей в подаваемом на фотосепаратор материале не должно превышать 1,15% и обрушенных зерновок – 1,4%.

5. Для получения семян гречихи фотосепаратор рекомендуется оборудовать гладким лотком со стеклянной скатной поверхностью, что позволит увеличить выход семенной фракции на 1,82...6,98%, чистоту получаемых семян на 0,13...0,15% при сокращении потерь семян гречихи на 2,48...9,74% по сравнению с рифлёными скатными лотками.

6. Увеличение подачи обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора с 0,1 до 4 т/ч уменьшает выход семенной фракции с 89,16 до 85,27% и

снижает чистоту семенной фракции с 98,50 до 97,44%. Поэтому при очистке зерновой массы гречихи с чистотой 97,62%, с содержанием обрубленных зерновок 0,93% и примесей 1,30% подачу обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора следует устанавливать не более 2 т/ч, чтобы получить репродукционные семена.

7. Разработана технологическая линия семяочистительного агрегата, включающая двухаспирационную фракционную воздушно-решётную зерноочистительную машину первичной очистки и фотосепаратор для окончательной очистки семян. Данная технологическая линия позволяет сократить травмирование обрабатываемого материала на 6,5% в сравнении с базовым вариантом. Годовой экономический эффект от использования разработанной линии, в сравнении с типовым ЗАВ-20Т, составит 384 461 руб., экономический эффект за срок эксплуатации – 6 184 194 руб. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений при этом составит 4,42 года.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АПК – агропромышленный комплекс;

ФГБОУ ВО – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования;

ГАУ – государственный аграрный университет;

У.М.Н.И.К. – участник молодёжного научно-инновационного конкурса;

ГОСТ – государственный стандарт (государственный общесоюзный стандарт);

ГОСТ Р – государственный стандарт Российской Федерации;

ОС, ЭС, РС и РСт – категории семян: оригинальные, элитные, репродукционные и репродукционные семена для производства товарной продукции соответственно (по ГОСТ Р 52325-2005);

P – степень повреждения зерна, %;

L_1 – средневзвешенное содержание лузги в выходах, %;

Z – средневзвешенное содержание целого зерна в выходах, %;

L – содержание лузги в зерне, %;

ЭБУ – электронный блок управления;

α – угол наклона скатного лотка к горизонту, °;

T – расстояние от вибропитателя до скатного лотка в горизонтальной плоскости, м;

h – высота падения частиц от вибропитателя до скатного лотка, м;

V_n – скорость падения частиц с вибропитателя на скатный лоток, м/с;

V_0 – начальная скорость движения частицы на наклонной плоскости (в начале скатного лотка), м/с;

S – путь частиц по скатному лотку, м;

g – ускорение свободного падения ($g \approx 9,81$), м/с²;

m – масса частицы обрабатываемого материала, кг;

V – скорость движения частицы обрабатываемого материала по наклонной плоскости, м/с;

t – время движения частицы по наклонной плоскости, с;

f – коэффициент трения частицы по скатной поверхности;

φ – угол трения частицы по скатной поверхности, °;

S_{t-t_0} – путь последующей частицы, пройденный по скатной поверхности, м;

t_0 – время, через которое каждая последующая частица попадает на скатный лоток, с;

$t - t_0$ – время движения последующей частицы по скатному лотку, с;

S_{int} – интервал между предыдущей и последующей частицами в любой момент времени их движения по скатной поверхности, м;

S_{t_0} – путь, пройденный предыдущей частицей по скатному лотку до попадания на скатную поверхность последующей частицы, м;

r – размер частицы обрабатываемого материала, м;

t_k – время движения частиц от места их падения на скатный лоток до его края, с;

V_{cx} – скорость схода частиц со скатного лотка, м/с;

x, y – оси координат;

V_{cx}^x – скорость схода частиц со скатного лотка, спроецированная на ось x , м/с;

V_{cx}^y – скорость схода частиц со скатного лотка, спроецированная на ось y , м/с;

x_B – координата частиц по оси x в месте выбраковки примесей, м;

y_B – координата частиц по оси y в месте выбраковки примесей, м;

V_B – скорость движения частиц в месте выбраковки примесей, м/с;

V_B^x – скорость движения частиц в месте выбраковки примесей, спроецированная на ось x , м/с;

V_B^y – скорость движения частиц в месте выбраковки примесей, спроецированная на ось y , м/с;

B_B – расстояние между краем скатного лотка и местом выбраковки примесей в плоскости скатного лотка, м;

S_x – координата (путь) частиц по оси x во время их свободного падения, м;

x_0 – координата частиц по оси x в момент их схода со скатного лотка, м;

- t_{cn} – время свободного падения частиц от скатного лотка до места выбраковки примесей, с;
- a_x – ускорение движения частиц во время их свободного падения от скатного лотка, спроецированное на ось x , м/с²;
- S_y – координата (путь) частиц по оси y во время их свободного падения, м;
- y_0 – координата частиц по оси y в момент их схода со скатного лотка, м;
- a_y – ускорение движения частиц во время их свободного падения от скатного лотка, спроецированное на ось y , м/с²;
- S_{int_B} – интервал между частицами в момент попадания предыдущей частицы в поле действия воздушного факела (в месте выбраковки примесей), м;
- $t_{ви}$ – длительность воздушного импульса при выбраковке примеси, с;
- $S_{int_B}^{\min}$ – минимальный интервал между частицами в момент попадания предыдущей частицы в поле действия воздушного факела (спустя время $t_B = t_k + t_{cn}$), который обеспечивает воздействие воздушного импульса только на одну частицу, м;
- $V_{(t_B - t_0)}$ – скорость последующей частицы в момент попадания предыдущей частицы в место выбраковки примесей, м/с;
- t_B – время движения обрабатываемых частиц к месту выбраковки ($t_k + t_{cn}$), с;
- x_n – координата последующей частицы по оси x в момент попадания предыдущей частицы в место выбраковки примесей, м;
- f_1, f_2 – коэффициенты трения предыдущей и последующей частиц по скатной поверхности соответственно;
- V_1 и V_2 – скорость предыдущей и последующей частиц соответственно с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности, м/с;
- t_1 – время движения предыдущей частицы по лотку с учётом её коэффициента трения по скатной поверхности, с;
- t_0^{mp} – время, через которое на лоток поступает последующая частица с учётом ко-

коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, с;

t_1^{mp} , t_2^{mp} – время движения предыдущей и последующей частиц соответственно с момента их попадания на скатный лоток до его края с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности, с;

V_{cx_1} и V_{cx_2} – скорость схода предыдущей и последующей частиц с лотка соответственно с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности, м/с;

S_1 и S_2 – путь, пройденный предыдущей и последующей частицами соответственно по лотку за какой-то промежуток времени с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности, м;

S_{int}^{mp} – интервал между предыдущей и последующей частицами в конце лотка с учётом их коэффициентов трения по скатной поверхности, м;

Δf – разница между коэффициентами трения предыдущей и последующей частиц по скатной поверхности;

t_{cn_1} и t_{cn_2} – время свободного падения предыдущей и последующей частиц от лотка до места выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, с;

$S_{int_B}^{min}$ – минимальный интервал между частицами в момент попадания предыдущей частицы в место выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, который обеспечивает воздействие воздушного импульса только на одну частицу, м;

V_{n_B} – скорость последующей частицы в месте выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, м/с;

V_2' – скорость последующей частицы в момент попадания предыдущей частицы в место выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, м/с;

V_{np_B} – скорость предыдущей частицы в месте выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, м/с;

$S_{\text{int}_B}^{mp}$ – расчётный интервал между частицами в момент попадания предыдущей частицы в место выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, м;

x_n^{mp} – координата последующей частицы по оси x в момент попадания предыдущей частицы в место выбраковки примесей с учётом разных коэффициентов трения частиц по скатной поверхности, м;

ВИМ – Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства;

L – количество полных и неполных метров при измерении рулеткой РЗУ2Д;

l – длина лотка, м;

z – высота подъёма края лотка, м;

V_{0_i} – начальная скорость движения зерновок по скатному лотку в i -ом опыте, м/с;

V_{n_i} – скорость падения зерновок на скатный лоток с вибропитателя в i -ом опыте, м/с;

T_i – расстояние от вибропитателя до скатного лотка в горизонтальной плоскости в каждом i -ом опыте, м;

h_i – высота падения зерновок от вибропитателя до скатного лотка в i -ом опыте, м;

S_i – путь зерновок по скатному лотку в i -ом опыте, м

V_{cx_i} – скорость схода зерновок гречихи со скатного лотка в i -ом опыте, определённая экспериментально, м/с;

$V_{cx_i}^m$ – теоретическое значение скорости схода зерновок со скатного лотка в i -ом опыте, м/с;

t_i^{mp} – время движения зерновок по скатному лотку в i -ом опыте, с;

δ – относительная погрешность теоретических расчётов, %;

S_{max} – максимальная длина скатного лотка, при которой выполняются условия:

$S_{\text{int}}^{mp} > 0$ и $S_{\text{int}_B}^{mp} \geq S_{\text{int}_B}^{\text{min}}$, подобранная при помощи математической модели, м;

S_n^2 – построчная дисперсия параметра оптимизации в каждом (n -ном) опыте;

n – номер опыта (строки);

β – номер повторности опыта;

u – количество повторностей опытов;

$Y_{\beta n}$ – значение параметра оптимизации в β -ой повторности n -го опыта;

$\bar{Y}_n$ – среднеарифметическое значение параметра оптимизации n -го опыта;

b – значение коэффициента уравнения регрессии;

S_b – дисперсия определения коэффициентов регрессии;

$t^{\kappa p}$ – табличный критерий Стьюдента, определяемый в зависимости от числа степеней свободы (γ) и уровня значимости, равного 0,05;

γ – число степеней свободы;

N – количество опытов (строк);

D^2 – дисперсия воспроизводимости;

$F_{расч}$ и $F_{табл}$ – расчётное и табличные значения критерия Фишера соответственно;

$\sigma_{ад}^2$ – дисперсия адекватности;

C – количество значимых коэффициентов уравнения регрессии;

$\hat{Y}_n$ – расчётное значение параметра оптимизации в β -ом опыте;

γ_1 и γ_2 – бóльшая и меньшая степени свободы для выбора табличного критерия Фишера;

Δ_{O1} – увеличение количества обрушенных зерновок гречихи в результате фотосепарирования образца, %;

$O_1^{срв}$, $O_2^{срв}$ – средневзвешенное содержание обрушенных зерновок гречихи в семенной и товарной фракциях соответственно, %;

Co , Co_1 и Co_2 – содержание обрушенных зерновок гречихи в исходном ворохе, семенной фракции и товарной фракции соответственно, %;

K_1 , K_2 – доля семенной и товарной фракций соответственно от исходного вороха образца, %;

W_i – подача обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора в i -ом опыте, т/ч;

m_{c_i} – масса семенной фракции в i -ом опыте, т;

m_{o_i} – масса отходовой (товарной) фракции в i -ом опыте, т;

t_i^n – время i -го опыта, ч;

ЗАВ – агрегат для очистки зернового вороха;

C_1 – содержание семян гречихи в товарной фракции, %;

$Ч_1$ – содержание целых зерновок гречихи в семенах (чистота семян), %;

$П$ – содержание примесей в исходном ворохе, %;

W – подача обрабатываемого материала на скатный лоток фотосепаратора, т/ч;

$П_1$ – содержание примесей в семенной фракции, %;

$M_{т.з.}$ – масса 1000 зёрен семенной фракции, гр.;

ГСКБ – Головное специализированное конструкторское бюро;

Q_n – планируемый объём обрабатываемого бункерного вороха гречихи, т;

W^{cp} – производительность воздушно-решётной машины при первичной обработке гречихи, т/ч;

n_o – количество дней обмолота гречихи;

n_{pc} – количество рабочих смен в сутки;

t_{pc} – продолжительность рабочей смены, ч;

τ_{cm} – коэффициент использования времени смены;

$\mathcal{E}_2$ – годовой экономический эффект от использования предлагаемого семяочистительного агрегата, руб.;

$\Pi_{\text{ч}}^{\partial}$ – дополнительная чистая прибыль предлагаемого агрегата в сравнении с типовым, руб.;

$З_{np}^{\partial}$ – дополнительные производственные затраты предлагаемого агрегата в сравнении с типовым, руб.;

$З_{np}^m, \quad З_{np}^n$ – производственные затраты типового семяочистительного агрегата

(ЗАВ-20Т) и предлагаемого соответственно, руб.

$T_{ок}$ – срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет;

K_{∂} – дополнительные капитальные вложения, руб.;

NS – коэффициент, отражающий учётную годовую процентную ставку по кредитам или вкладам в банк;

$\mathcal{E}_{сэ}$ – экономический эффект за срок эксплуатации, руб.;

Γ – срок эксплуатации проектного семяочистительного агрегата, лет;

E_t – коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. RU 12534 U1, МПК В07С 5/342. Рентгенолюминесцентный сепаратор / Е.Н. Владимиров [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «Науч.-произв. предприятие «Буревестник». – №99114671/20; заявл. 05.07.1999; опубл. 20.01.2000, Бюл. № 2 , 12 с.: 2 ил.
2. А. с. RU 15552 U1, МПК В07С 5/342, В03В 13/06. Рентгенолюминесцентный сепаратор минералов / Л.В. Казаков, А.В. Мальков, В.М. Потапов; заявитель и патентообладатель ОАО «Науч.-произв. предприятие «Буревестник». – № 2000117836/20; заявл. 29.06.2000; опубл. 27.10.2000, Бюл. № 30 , 9 с.: 2 ил.
3. Аверин А. Сепарирование зернопродуктов по цвету / А. Аверин, В. Казеннов, Л. Чиркова // Хлебопродукты. – 1992. – №6. – С. 10-14.
4. Агрономический портал. Основы сельского хозяйства [Электрон. ресурс]: Биолог. особенности гречихи – Электрон. дан. – Режим доступа: http://agronomiy.ru/grechicha/osobennosti_biologii_grechichi/biologicheskie_osobennosti_grechichi.html. – Загл. с экрана (дата обращения: 12.06.2013).
5. АГРОФАК. Помощник агронома [Электрон. ресурс]: Возделывание гречихи – Электрон. данные. – Режим доступа: <http://agrofak.com/rastenievodstvo/grechixa/vozdelyvanie-grechixi.html>. – Загл. с экрана (дата обращения: 21.07.2013).
6. Александрова И.Е. Действие озона на плесень при хранении / И.Е. Александрова, О.И. Плясухина, Л.В. Алексеева // Труды ВНИИС. – 1983. – №103. – С. 35-40.
7. Антонов Н. Влияние сроков уборки гречихи на урожай и семенные качества / Н. Антонов // Урожайные нивы, 1976. – №6. – С.43-45.
8. Ашмарин И.П. Быстрые методы статистической обработки и планирование экспериментов / И.П. Ашмарин, Н.Н. Васильев, В.А. Амбросов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. – 78 с.
9. Баскаков И.В. Озонирование семенного материала – резерв повышения урожайности зерновых культур / И.В. Баскаков [и др.] // Современ. тенденции развития технологий и техн. средств в сельском хозяйстве: мат. междунар. науч.-

практ. конф., посвящ. 80-летию А.П. Тарасенко, д. т. н., заслуж. деятеля науки и техники РФ, проф. каф. с.-х. машин Воронеж. гос. аграр. ун-та им. императора Петра I (Россия, Воронеж, 10 янв. 2017 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ, 2017. – Ч. II. – С 10-16.

10. Белина И. Фотосепаратор приносит прибыль уже через неделю / И. Белина // Хлебопродукты. – 2012. – №1. – С. 44-45.

11. Белоусов В.И. Повышение посевных, урожайных свойств семян и снижение токсичности зерна гречихи: Дис. ... канд. с.-х. наук: 03.00.16 / Белоусов Вадим Игоревич. – Ставрополь: ФГБОУ ВПО Ставроп. ГАУ, 2005. – 151с.

12. Бобрышев Ф.И. Эффективные способы предпосевной подготовки семян / Ф.И. Бобрышев, Г.П. Стародубцева, В.Ф. Попов // Земледелие. – 2000. – №3. – С. 45.

13. Бородин И.Ф. Электроозоновые технологии в сельском хозяйстве / И.Ф. Бородин, Д.А. Нормов // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009. – №1. – С. 85-86.

14. Боумане Г. Эффективная обработка и хранение зерна / Г. Боумане: пер. с англ., под ред. В.И. Дашевского. – М.: Агропромиздат, 1991. – 607 с.

15. Броваренко С.У. Гречиха на целине / С.У. Броваренко, А.А. Щепетков. – М.: Колос, 1967. – 192 с.

16. Броваренко С.У. Способы посева и раздельная уборка гречихи / С.У. Броваренко // Сельское хозяйство Сибири, 1961. – №6. – С.21-24.

17. Бутовченко А.В. Применение механизированной очистки и фотосепарации семенного зерна и початков кукурузы в современных технологиях / А.В. Бутовченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №10(134). – С. 984 – 994.

18. Бутовченко А.В. Применение механизированной очистки и фотосепарации семенного зерна и початков кукурузы в современных технологиях / А.В. Бутовченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Красно-

дар: КубГАУ, 2018. – №135. С. 158 – 168.

19. Василенко В.В. Сельскохозяйственные машины: Практикум / В.В. Василенко [и др.], под ред. В.Н. Солнцева. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ, 2013. – 108 с.

20. Василенко П.М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко, под ред. М.И. Медведева. – Киев: Украин. акад. с.-х. наук, 1960. – 283 с.

21. Власов О. Конечная очистка зерна – теперь не проблема / О. Власов // Хлебопродукты. – 2011. – №10. – С. 18-19.

22. ВОРОНЕЖСЕЛЬМАШ [Электрон. ресурс]: Оптиковолоконный лазерный сепаратор СВ1 – Электрон. данные – Режим доступа: http://vselmash.ru/newsite/optical/optical_sorters/optovolokonfotoseparator_cv_1/. – Загл. с экрана (дата обращения: 03.10.2014).

23. ВОРОНЕЖСЕЛЬМАШ [Электрон. ресурс]: Фотосепаратор Ф15.1 – Электрон. данные. – Режим доступа: http://vselmash.ru/newsite/optical/optical_sorters/fotoseparator_f15_1/. – Загл. с экрана (дата обращения: 03.10.2014).

24. Воронежсельмаш. Революция в зерноочистке // Хлебопродукты. – 2009. – №8. – С. 39.

25. Всё о зерне. Технологии хранения и переработки [Электрон. ресурс]: Физические свойства шелушённых и не шелушённых зёрен (часть 1). – Электрон. данные. – © 2019 Всё о зерне. – Режим доступа: <http://visacon.ru/pererabotka-zerna/378-fizicheskie-svoystva-shelushenyh-i-neshelushenyh-zeren-chast-1.html>. – Загл. с экрана (дата обращения: 10.02.2020).

26. Галли М. OCRIM стремится стать идеальным партнёром для заказчиков / М. Галли // Хлебопродукты. – 2013. – №11. – С. 28-30.

27. Гаршин С.В. Чистая крупа – чистая прибыль / С.В. Гаршин // Хлебопродукты. – 2012. – №6. – С. 24-25.

28. Гиевский А.М. Применение конечно-объёмного метода решения уравнений гидродинамики для обоснования отдельных параметров пневмосистемы /

А.М. Гиевский [и др.] // Вестник аграрной науки. – Орёл: ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2017. – № 5(68) . – С. 65-73.

29. Гиевский А.М. Пути повышения производительности универсальных зерноочистительных машин / А. М. Гиевский, В. А. Гулевский, В. И. Оробинский. — Электрон. текстовые дан. // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина", 2018. – Вып. 3. – С. 12-16.

30. Горланов С.А. Экономическая оценка проектных разработок в АПК: учеб.-метод. пособие. Метод. указания / С.А. Горланов, Е.В. Злобин. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронеж. ГАУ, 2002. – Ч.1. – 66 с.

31. ГОСТ 12036-85 Семена сельскохозяйственных культур. Правила приёмки и методы отбора проб. – Введ. 01.07.1986. – М.: Стандартиформ, 2011. – С. 5-14.

32. ГОСТ 12037-81 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения чистоты и отхода семян. – Введ. 01.07.1982. – М.: Стандартиформ, 2011. – С. 16-34.

33. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – Введ. 01.07.1986. – М.: Стандартиформ, 2011. – С. 36-64.

34. ГОСТ 20290-74 Семена сельскохозяйственных культур. Определение посевных качеств семян. Термины и определения. – Введ. 01.07.1975. – М.: Стандартиформ, 2011. – С. 248-264.

35. ГОСТ 23729-88 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки специализированных машин: Сб. ГОСТов. – Введ. 01.01.1989. – М.: Изд.-во стандартов, 1988. – С. 4-12.

36. ГОСТ 23730-88 Методы экономической оценки универсальных машин и технологических комплексов: Сб. ГОСТов. – Введ. 01.01.1989. – М.: Из.-во стандартов, 1988. – С. 13-25.

37. ГОСТ 53056-2008 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Введ. 01.01.2009. – М.: Стандартиформ, 2009. – 19 с.

38. ГОСТ Р 52325-2005 Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. – Введ. 01.01.2006. – М.: Стандартинформ, 2009. – 20 с.
39. ГОСТ Р 56105-2014 Гречиха. Технические условия. – Введ. 01.07.2015. – М.: Стандартинформ, 2015. – 6 с.
40. Елагин И.Н. Агротехника гречихи / И.Н. Елагин. – М.: Колос, 1984. – 127 с.
41. Ефименко Д.Я. Гречиха / Д.Я. Ефименко, Г.И. Барабаш. – М.: «Агропромиздат», 1990. – 192 с.
42. Ефименко Д.Я. Индустриальная технология производства гречихи / Д.Я. Ефименко, Г.И. Барабаш. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 160 с.
43. Запевалов М.В. Послеуборочная обработка зерна / М.В. Запевалов, Н.В. Коваленко, Г.В. Петрова // Известия Оренбург. ГАУ, 2015. – №3 (53). – С. 80-83.
44. Знаев А. Коронный электросепаратор семян / А. Знаев, Е. Осинцев // Сельский механизатор. – 2008. – №3. – С. 10-11.
45. Кандроков Р. Фракционирование зерна твёрдой пшеницы на фотоэлектронном сепараторе Ф5.1 / Р. Кандроков [и др.] // Хлебопродукты. – 2011. – №8. – С. 48-49.
46. Каргальцев Ю.В. Гречиха / Ю.В. Каргальцев, Ф.М. Пруцков. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 120 с.
47. Кемниц Ю.В. Математическая обработка зависимых результатов измерений / Ю.В. Кемниц. – М.: Изд-во «Недра», 1970. – 192 с.
48. Красилов Ю. Фотосепараторы Optima: меньше примесей – выше доход / Ю. Красилов // Хлебопродукты. – 2012. – №10. – С. 24-25.
49. Кузнецов В.В. Влияние внешних и внутренних факторов на процесс травмирования зерна / В.В. Кузнецов, С.З. Манойлина // Вестник Воронежского ГАУ. – 2009. – №2 (21). – С. 39-44.
50. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алёшкин, П.М. Роцин. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1980. – 168 с.

51. Мерчалова М.Э. Семяочистительные агрегаты для получения качественных семян / М.Э. Мерчалова, К.В. Мяснянкин, В.Н. Ожерельев // Повышение эффективности использования мобил. энергет. средств в различ. режимах движения: мат. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 115 годовщине со дня рождения проф. Харитончика Ефима Мироновича. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ, 2017. – С. 79-84.

52. Мерчалова М.Э. Семяочистительный агрегат нового поколения / М.Э. Мерчалова, А.П. Тарасенко, К.В. Мяснянкин // Современ. тенденции развития технологий и технич. средств в сельском хозяйстве: мат. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию А.П. Тарасенко, д. т. н., заслуж. деятеля науки и техники РФ, проф. каф. с.-х. машин Воронеж. гос. аграр. ун-та им. императора Петра I (Россия, Воронеж, 10 янв. 2017 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ, 2017. – Ч. II. – С. 164-171.

53. Мерчалова М.Э. Снижение повреждения зерна крупяных культур при уборке и послеуборочной обработке / М.Э. Мерчалова [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – №4. – С. 5-6.

54. Морозов А.Ф. Пути снижения потерь зерна при уборке урожая / А.Ф. Морозов, А.Н. Пугачёв. – М.: Колос, 1973. – Изд. 2-е перераб. и доп. – 320 с.

55. Мякин В.Н. Механизация послеуборочной обработки зерна и семян в современных условиях / В.Н. Мякин, С.Г. Урюпин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – №2 (30). – С. 61-63.

56. Мякин В.Н. Травмирование семян при послеуборочной обработке и пути его снижения / В.Н. Мякин, С.Г. Урюпин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2006. – №3 (11). – С. 73-75.

57. Мяснянкин К.В. Влияние типа лотков на качество очистки гречихи фотосепаратором / К.В. Мяснянкин, А.А. Агеев, А.П. Тарасенко // Техника в сельском хозяйстве. – 2014. – №6. – С. 5-7.

58. Мяснянкин К.В. Влияние уровня вибрации вибропитателя фотосепаратора на качество очистки гречихи / К.В. Мяснянкин, А.П. Тарасенко // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – №12. – С. 26-28.

59. Мяснянкин К.В. Влияние фотосепаратора на качество семян гречихи // Инновац. технологии и технич. средства для АПК: мат. междунар. науч.-практич. конф. молодых учён. и специалистов (Россия, Воронеж, 27-28 марта 2014 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ, 2014. – Ч. III. – С. 54-60.

60. Мяснянкин К.В. Инновационные направления совершенствования подготовки семян гречихи / К.В. Мяснянкин, А.П. Тарасенко // Инновац. направления развития технологий и технич. средств механизации сельского хозяйства: мат. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию каф. с.-х. машин агроинженер. фак.-та Воронеж. гос. аграр. ун-та им. императора Петра I (Россия, Воронеж, 25 дек. 2015 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ, 2015. – Ч. I. – С. 135-139.

61. Мяснянкин К.В. Обоснование применения фотосепаратора для второго цикла обработки зернового вороха гречихи / К.В. Мяснянкин // Вестник Воронежского ГАУ. – 2015. – №3(46). – С. 126-131.

62. Мяснянкин К.В. Оценка очистки первоотхода зернового вороха на фотосепараторе / К.В. Мяснянкин [и др.] // Молодёж. вектор развития аграр. науки: мат. 65-й науч. студ. конф. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ, 2014. – Ч. I. – С. 40-42.

63. Мяснянкин К.В. Оценка первой ступени очистки зернового вороха на фотосепараторе / К.В. Мяснянкин [и др.] // Молодёж. вектор развития аграр. науки: мат. 65-й науч. студ. конф. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ, 2014. – Ч. I. – С. 50-52.

64. Мяснянкин К.В. Очистка гречихи на фотосепараторе Ф10.1 / К.В. Мяснянкин, А.А. Агеев, А.П. Тарасенко // Соврем. тенденции развития технологий и технич. средств для АПК: мат. науч. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов по актуал. проблемам АПК в области механизации, электрификации сельского хозяйства и переработки с.-х. продукции (31 марта – 7 апр. 2014 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ, 2014. – С. 14-18.

65. Мяснянкин К.В. Повышение качества семян гречихи / К.В. Мяснянкин, А.П. Тарасенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – №9. – С. 26-28.

66. Мяснянкин К.В. Подготовка зернового вороха гречихи к очистке на фотосепараторе / К.В. Мяснянкин // Науч.-практ. аспекты ресурсосберегающих технологий производства продукции и переработки отходов АПК: межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ, 2014. – С. 66-70.

67. Мяснянкин К.В. Применение фотосепаратора для очистки гречихи / К.В. Мяснянкин, А.П. Тарасенко // Актуал. направления науч. исслед. XXI в. Теория и практика: сб. науч. тр. по мат. междунар. заоч. науч.-практ. конф. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронеж. гос. лесотехнич. акад., 2014. – №3. – Ч. 4 (8-4). – С. 439 – 442.

68. Мяснянкин К.В. Совершенствование процесса послеуборочной обработки гречихи / К.В. Мяснянкин [и др.] // Вестник Воронежского ГАУ. – 2016. – №2(49). – С. 118-124.

69. Нормов Д.А. Озон против микотоксинов / Д.А. Нормов, А.А. Шевченко, Е.А. Федоренко // Сельский механизатор. – 2009. – №4. – С. 24-25.

70. Нормов Д.А. Применение озона для предпосевной обработки семян / Д.А. Нормов, Е.А. Федоренко // Сахарная свёкла. – 2009. – №1. – С. 17-18 и 23.

71. НТП 16-93 Нормы технологического проектирования предприятий послеуборочной обработки и хранения продовольственного, фуражного зерна и семян зерновых, зернобобовых, масличных культур и трав: Минсельхоз РФ. – Введ. 01.01.1994. – М.: Нипиагропром, 1999.

72. Орехов Н.И. Уборка и послеуборочная обработка крупяных культур / Н.И. Орехов, А.П. Тарасенко. – М.: «Россельхозиздат», 1991. – 66 с.

73. Оробинский В.И. Исследование эффективности очистки вороха яровой пшеницы на семенные цели воздушно-решётным сепаратором / В.И. Оробинский [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 2019. – Том 12. – Вып. 2 (61). – С. 34-42.

74. Оробинский В.И. Фракционирование зернового вороха и качество семян / В.И. Оробинский // Тракторы и сельхозмашины. – 2006. – №10. – С. 29-30.

75. Пат. 969230, МПК A23B 9/00 Устройство для озонирования зерновых продуктов / О.Д. Румянцев [и др.]; заявитель и патентообладатель Латв. фил. Все-

союз. науч.-исслед. ин-та комбикормовой промышленности, централ. проект.-конструкт. и технолог. бюро «Запрыба». – №3302317/28-13; заявл. 27.03.81; опубл. 30.10.82 Бюл. №15, 4 с.: 3 ил.

76. Пат. RU 2010123902 А, МПК G01N 21/85 Способ и устройство для анализа и разделения зерна / М. Нирле, П. Ноллен; заявитель и патентообладатель МИНЧ МОЛТ ЛИМИТЕД. – №2010123902/28; заявл. 13.11.2008; опубл. 20.12.2011 Бюл. №35, 4 с.

77. Пат. RU 2248736 С2, МПК A24В 3/18, G01N 21/84 Устройство и способ для обнаружения примесей в материале / К. Сато, Ц. Футакура, С. Кида; заявитель и патентообладатель Джапан Табакко инк. – №2002100055/13; заявл. 06.06.2000; опубл. 27.03.2005, Бюл. № 9, 16 с.: 9 ил.

78. Пат. RU 2403100 С2, МПК B07C 5/342 Устройство для сортировки зерна по цвету / Г.В. Чуйко [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «Воронежсельмаш». – №2008142614/12; заявл. 27.10.2008; опубл. 10.11.2010 Бюл. №31, 8 с.: 3 ил.

79. Пат. RU 2424859 С1, МПК B07C 5/342 Устройство сортировки объектов по визуальным признакам / В.В. Воробьев [и др.]; заявитель и патентообладатель Учреждение Рос. акад. наук Конструкт.-технолог. ин.-т науч. приборостроения Сибир. отд-ния РАН, Акционер. компания «АЛРОСА» (ЗАО). – № 2010120493/12; заявл. 24.05.2010; опубл. 27.07.2011 Бюл. №21, 11 с.: 2 ил.

80. Пат. RU 2487523 С1, МПК A01D 41/127, A01D 75/00, B07В 1/00 Способ определения степени повреждения зерна гречихи / А.П. Тарасенко, М.Э. Мерчалова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Воронеж. ГАУ. – №2012102276/13; заявл. 23.01.2012; опубл. 20.07.2013 Бюл. №20, 5 с.

81. Пат. RU 2489215 С1, МПК B07C 99/00 Лазерный сортировщик / Э.М. Бабишов [и др.]; заявитель и патентообладатель В.А. Шульгин. – №2011147667/12; заявл. 23.11.2011; опубл. 10.08.2013 Бюл. №22, 6 с.: 1 ил.

82. Пат. RU 2495728 С1, МПК B07В 13/00, B07C 5/342 Устройство для сортировки зерна / С.С. Ямпилон [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Восточ.-Сибир. гос. ун-т технологий и управления. – №2012121083/03; за-

явл. 22.05.2012; опублик. 20.10.2013 Бюл. №29, 9 с.: 4 ил.

83. Пат. RU 2551091, МПК A01F 12/44 Универсальный зерно- и семяочистительный агрегат / А.П. Тарасенко, М.Э. Мерчалова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Воронеж. ГАУ. – №2013153595/13; заявл. 03.12.2013; опублик. 20.05.2015 Бюл. №14, 9 с., 2 ил.

84. Пат. RU 2580359 C1, МПК B07B 9/00 Семяочистительный агрегат / А.П. Тарасенко, К.В. Мяснянкин, М.Э. Мерчалова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Воронеж. ГАУ. – №2015107411/13; заявл. 03.03.2015; опублик. 10.04.2016 Бюл. №10, 9с.: 2 ил.

85. Пат. RU 2599357 C1, МПК B07C 99/00 Мультиспектральный лазерный фотосепаратор / Д.А. Минаков [и др.]; заявитель и патентообладатель В.А. Шульгин. – №2015130968/12; заявл. 24.07.2015; опублик. 27.12.2016 Бюл. №36, 7 с.: 1 ил.

86. Пат. RU 2605894 C2, МПК B07C 5/342 Оптоволоконный фотосепаратор / В.А. Шульгин [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «ВГУ». – №2014123009/12; заявл. 05.06.2014; опублик. 10.10.2016 Бюл. №28, 7 с.: 1 ил.

87. Пат. RU 2624670 C1, МПК B07B 4/02 Отделение первичной очистки семян / А.П. Тарасенко, К.В. Мяснянкин, М.С. Анненков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ. – №2016108334; заявл. 09.03.2016; опублик. 05.07.2017 Бюл. №19, 6с.: 1 ил.

88. Пат. RU 57154 U1, МПК B07B 15/00 Устройство для оптоэлектронной сортировки сыпучих материалов / З. Вольфганг; заявитель и патентообладатель З. Вольфганг. – №2005134607/22; заявл. 09.11.2005; опублик. 10.10.2006 Бюл. №28, 4 с.: 1 ил.

89. Пат. RU 83436 U1, МПК B07C 5/342, G01J 3/00 Устройство для сортировки зерна по цвету / Г.В. Чуйко [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «Воронежсельмаш». – №2008142484/22; заявл. 27.10.2008; опублик. 10.06.2009 Бюл. №16, 7 с.: 4 ил.

90. Пат. RU 95565 U1, МПК B07C 5/342, G01N 23/00, B03B 13/00 Фотолюминесцентный сепаратор / Р.В. Кононко [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО Иркут. науч.-исслед. ин-т благород. и ред. металлов и алмазов (ОАО «Ирги-

редмет»)). – №2010100385/22; заявл. 11.01.2010; опубл. 10.07.2010 Бюл. №19, 4 с.: 1 ил.

91. Пешков В. Фотосепаратор улучшает качество продукции / В. Пешков // Хлебопродукты. – 2011. – №6. – С. 28-29.

92. Погорелый Л.В. Инженерные методы испытания сельскохозяйственных машин / Л.В. Погорелый. – Киев: Техника, 1981.

93. Поливаев О.И. Испытание сельскохозяйственной техники и энергосиловых установок / О.И. Поливаев, О.М. Костиков: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во «Лань», 2016. – 280 с.

94. Послухаева Л. АГРОПРОДМАШ–2013 / Л. Послухаева // Хлебопродукты. – 2013. – №11. – С. 66-67.

95. Путенко Р.А. Инновационные направления вторичной обработки семян гречихи / Р.А. Путенко, К.В. Мяснянкин, В.Н. Солнцев // Инновац. технологии и технич. средства для АПК: мат. междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ. – 2016. – С. 29-32.

96. Путенко Р.А. Оценка возможности переработки первоотхода гречихи в крупу / Р.А. Путенко, К.В. Мяснянкин, В.Н. Солнцев // Молодёж. вектор развития аграр. науки: мат. 67-й студ. науч. конф. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ, 2016. – С. 60-63.

97. Разоренова Е.Е. Влияние травмирования при перемещении внутри элеватора на семенные свойства гороха, гречихи и проса / Е.Е. Разоренова, В.В. Макаров // Труды ВНИИЗ, 1971. – Вып. 71. – С. 36-41.

98. РостовЕвротрейд – только лучшее [Электрон. ресурс]: Фотосепараторы. – Электрон. данные. – © 2018 РостовЕвротрейд. – Режим доступа: http://rostov-et.ru/index.php?id=144&Itemid=156&option=com_content&view=article. – Загл. с экрана (дата обращения: 12.03.2014).

99. Русских В. Колыбель зерна / В. Русских // Хлебопродукты. – 2010. – №7. – С. 24-25.

100. Савицкий К.А. Гречиха / К.А. Савицкий. – М.: Колос, 1970. – 312 с.

101. Сарана Д.И. Уборка гороха, гречихи и проса с отдельным сбором лег-

кообмолачиваемого зерна / Д.И. Сарана. – мат. науч. конф. – Харьков: Харьков. СХИ, 1968. – Вып. 2. – С. 81-82.

102. Сидоров С.А. Совершенствование технологии послеуборочной обработки гречихи / С.А. Сидоров // Молодёж. вектор развития аграр. науки: мат. 64-й науч. студ. конф. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронеж. ГАУ, 2013. – Ч. I. – С. 154-157.

103. Стеранский В.В. Операционная технология возделывания и уборки крупяных культур / В.В. Стеранский. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 175 с.

104. Стрикунов Н.И. Новая поточная линия для очистки зерна и семян / Н.И. Стрикунов, А.А. Хижников // Вестник Алтайского ГАУ. – 2009. – №5 (55). – С. 65-68.

105. Тарабрин Д.С. Снижение потерь гречихи сходом с колосового решета / Д.С. Тарабрин, Р.В. Полковников // Молодёж. вектор развития аграр. науки: мат. 64-й науч. студ. конф. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронеж. ГАУ, 2013. – Ч. I. – С. 178-181.

106. Тарасенко А.П. Влияние современных зерноочистительных машин и оборудования на качество семян и выбор наиболее перспективных для разработки или реконструкции семяочистительных линий / А.П. Тарасенко [и др.]. – Воронеж: ФБОУ ВПО Воронеж. ГАУ, 2008. – 33 с.

107. Тарасенко А.П. Инновационное направление совершенствования послеуборочной обработки зерна / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, М.Э. Мерчалола // Лесотехнический журнал, 2013. – №3. – С.46-51.

108. Тарасенко А.П. Инновационные направления совершенствования механизации производства семян гречихи: монография / А.П. Тарасенко, К.В. Мяснянкин. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ, 2016. – 115 с.

109. Тарасенко А.П. Исследование качества уборки гречихи / А.П. Тарасенко [и др.] // Вестник Воронежского ГАУ. – 2012. – №3 (34). – С. 109-115.

110. Тарасенко А.П. Исследование качества уборки гречихи / А.П. Тарасенко [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – №1. – С. 25.

111. Тарасенко А.П. Приспособление к комбайну «Нива» для уборки крупя-

ных культур / А.П. Тарасенко, В.Н. Солнцев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981. – №9. – С. 11-13.

112. Тарасенко А.П. Приспособление к СК-5 для уборки крупяных культур / А.П. Тарасенко, В.Н. Солнцев // Зерновое хозяйство. – 1978. – №6. – С. 25-26.

113. Тарасенко А.П. Результаты государственных периодических и сертификационных испытаний машин семейства ОЗФ / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский // Вестник Воронежского ГАУ. – 2008. – №3-4. – С. 32-39.

114. Тарасенко А.П. Рекомендации по снижению травмирования зерна при уборке / А.П. Тарасенко [и др.]. – М.: Колос, 1979. – 32с.

115. Тарасенко А.П. Роторные комбайны / А.П. Тарасенко: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во «Лань», 2013. – 192 с.

116. Тарасенко А.П. Снижение травмирования зерна / А.П. Тарасенко, Н.И. Орехов. – М.: Россельхозиздат. – 1980. – 32 с.

117. Тарасенко А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко. – Воронеж: ФГОУ ВПО Воронеж. ГАУ, 2003. – 332 с.

118. Тарасенко А.П. Совершенствование механизации уборки и послеуборочной обработки гречихи / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, М.Э. Мерчалова // Техника будущего. Перспективы развития с.-х. техники: сб. ст. междунар. науч.-пр. конф. – Краснодар: ФБОУ ВПО Кубанский ГАУ, 2014. – С. 57-59.

119. Тарасенко А.П. Технологии послеуборочной обработки зернового вороха / А.П. Тарасенко, М.С. Анненков // Инновац. направления развития технологий и технич. средств механизации сельского хозяйства: мат. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию каф. с.-х. машин агроинженер. фак. Воронеж. гос. аграр. ун-та им. императора Петра I (Россия, Воронеж, 25 дек. 2015 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронеж. ГАУ, 2015. – Ч. I. – С. 256-259.

120. Тарасенко А.П. Технологические принципы снижения потерь и травмирования зерна при комбайновой уборке: Дис. ... док. тех. наук: 05.20.01 / Тарасенко Александр Павлович; ВСХИ. – Воронеж, 1985. – 465 с.

121. Тарасенко А.П. Уборка и послеуборочная обработка крупяных культур

/ А.П. Тарасенко. – М.: Колос, 1992. – 95 с.

122. Тарасенко А.П. Уборка крупяных культур зерноуборочными комбайнами / А.П. Тарасенко [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1984. – №12. – С. 17-20.

123. Тарасенко А.П. Улучшение качества зернового вороха при уборке и послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2009. – №5. – С. 23-26.

124. Тишанинов Н.П. Модернизация импортных зерноочистительных технологий / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2019. – №4(40). – С. 12-18.

125. Тишанинов Н.П. Модернизация технологий подработки зерна на базе средств управления массовыми потоками / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2014. – №2(8). – С. 35-41.

126. Тишанинов Н.П. Новые делители потока сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов // Наука в центральной России. – 2013. – №1. – С. 30-36.

127. Тишанинов Н.П. Обоснование решений о модернизации и реконструкции зерноочистительных агрегатов / Н.П. Тишанинов, В.А. Ветров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1997. – №9. – С. 6-9.

128. Тищенко А.И. Применение фотоэлектронных сепараторов для повышения качества сортировки сыпучих зерновых продуктов / А.И. Тищенко. – Пенза: Приволж. Дом знаний, 1999. – 168 с.

129. Троценко В.В. Математическая модель разрушения зерна гречихи при его механической обработке / В.В. Троценко // Совершенствование машин и оборудования в сельском хозяйстве. – Омск: ФГБОУ ВПО Омск. ГАУ, 2001. – С.101-104.

130. Троценко В.В. Повреждение семян гречихи при их многократном пропуске через машины / В.В. Троценко // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – №2. – С. 31-32.

131. Усенко В.В. Гречиха на Кубани / В.В. Усенко. – Советская Кубань. –

1970. – 54 с.

132. Устинова Л.В. Техника и технологии MMW для переработки пшеницы / Л.В. Устинова // Хлебопродукты. – 2014. – №9 – С. 28-29.

133. Федоренко В.Ф. Зерноочистка – состояние и перспективы / В.Ф. Федоренко, Е.Л. Ревякин. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – 204 с.

134. Федотов В.А. Гречиха в России / В.А. Федотов, П.Т. Корольков, С.В. Кадыров. – Воронеж: Истоки, 2009. – 315 с.

135. Чиркова Л. Классификация фотоэлектронных сепараторов / Л. Чиркова // Хлебопродукты. – 1993. – №2. – С. 23-27.

136. Чишко Р.Л. Оценка травмирования семян гречихи при прохождении через хранилище силосного типа / Р.Л. Чишко // Инновацион. направления развития технологий и технич. средств механизации сельского хозяйства: мат. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию каф. с.-х. машин агроинженер. фак. Воронеж. гос. аграр. ун-та им. императора Петра I (Россия, Воронеж, 25 дек. 2015 г.). – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронеж. ГАУ, 2015. – С. 127-131.

137. Шафоростов В.Д. Качественные показатели фотосепаратора по фракционной технологии при разделении семян подсолнечника / В.Д. Шафоростов, И.Е. Припоров // Междунар. науч.-исслед. журнал. – 2015. – №1-3 (32). – С. 23-25.

138. Экология производства. Научно-практический портал [Электрон. ресурс]: Совершит ли озон переворот в науке – Электрон. данные. – © 2004-2018: Издат. дом «Отраслевые ведомости». – Режим доступа: <http://www.ecoindustry.ru/news/view/11506.html>. – Загл. с экрана (дата обращения: 05.09.2013).

139. CSort color sorter [Электрон. ресурс]: Фотосепаратор SEA CHROME. – Электрон. данные. – © CSort, 2010–2017. – Режим доступа: <http://csort.ru/equipment/fotoseparator-sea-chrome/>. – Загл. с экрана (дата обращения: 27.11.2013).

140. CSort color sorting [Электрон. ресурс]: Фотосепараторы – Электрон. данные. – © CSort, 2010–2019. – Режим доступа: <http://www.csort.ru/>. – Загл. с экрана (дата обращения: 10.02.2020).

141. CSort color sorting [Электрон. ресурс]: Фотосепаратор серии «Next» – Электрон. данные. – © CSort, 2010–2017. – Режим доступа: <http://csort.ru/equipment/fotoseparator-serii-next/>. – Загл. с экрана (дата обращения: 27.11.2013).

142. DAEWON GSI. Color sorter [Электрон. ресурс]: NANTA 9000T series. – Электрон. данные. – © 2011 DAEWON GSI. – Режим доступа: <http://www.daewon.com/english/html/sub3-3.html>. – Загл. с экрана (дата обращения: 10.12.2013).

143. DAEWON GSI. Color sorter [Электрон. ресурс]: SPARK series. – Электрон. данные. – © 2011 DAEWON GSI. – Режим доступа: <http://www.daewon.com/english/html/sub3-9.html>. – Загл. с экрана (дата обращения: 10.12.2013).

144. Gievsky A.M. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds / A.M. Gievskiy, V.I. Orobinsky, A.P. Tarasenko, A.V. Chernyshov, D.O. Kurilov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [Electronic Resource]. – Tomsk, 2018. – Vol. 327 (4). – № 042035.

145. KITTRADE [Электрон. ресурс]: Фотосепараторы NANTA ACE. – Электрон. данные. – Режим доступа: <http://www.kittrade.com.ua/?page=photoseparatori/photoseparatori-nanta>. – Загл. с экрана (дата обращения: 27.11.2013).

146. KITTRADE [Электрон. ресурс]: Фотосепараторы PUBU KING. – Электрон. данные. – Режим доступа: <http://www.kittrade.com.ua/?page=photoseparatori/photoseparatori-pubu>. – Загл. с экрана (дата обращения: 27.11.2013).

147. Miasniankin K.V. Preparation des graines de sarrasin a l'aide du photoséparateur / K.V. Miasniankin, A.P. Tarassenko // Актуал. проблемы аграр. науки, производства и образования: мат. заочн. междунар. науч.-пр. конф. молодых учён. и специалистов на иностран. языках. (Россия, Воронеж, апр. 2015 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронеж. ГАУ, 2015. – С. 122-125.

148. SATAKE. Creating the Future [Электрон. ресурс]: Full Color sorting. Op-

tical sorter REZS4500(1)/6500. – Электрон. данные. – SATAKE CORPORATION. – Режим доступа: <https://satake-group.com/products/assets/rezs.pdf>. – Загл. с экрана (дата обращения: 07.04.2014).

149. SKIOLD [Электрон. ресурс]: Установки для сортирования по цвету серии Royal...– Электрон. данные. – ООО «СКИОЛД», Москва. – Режим доступа: <https://skiold.ru/семена/продукты/установки-для-сортирования-по-цвету/>. – Загл. с экрана (дата обращения: 27.11.2013).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А – Техническая характеристика фотосепараторов серии Ф

Наименование параметра	Марка			
	Ф5.1	Ф10.1	Ф15.1	Ф20.1
Габариты, мм:				
длина	1500			
ширина	1045	1450	1840	2230
высота	1900			
Масса, кг, не более	550	750	950	1150
Потребляемая мощность, кВт, не более	1,1	1,8	2,4	3,1
Производительность, т/ч	0,4 - 7,5 [*]	0,8 - 15 [*]	1,2 - 22,5 [*]	1,6 - 30 [*]
Расход воздуха, л/мин	800-1200 ^{**}	1200-2000 ^{**}	2000-3000 ^{**}	2000-4000 ^{**}
Давление воздуха на входе в фотосепаратор, МПа	0,7-0,9			
Рабочее давление воздуха, МПа	0,3-0,5			

Приложение Б – Техническая характеристика фотосепараторов серии СВ

Наименование параметра	Марка			
	СВ-1	СВ-2	СВ-3	СВ-4
Габариты, мм:				
длина	1500			
ширина	1040	1450	1840	2230
высота	2100			
Масса, кг, не более	550	750	950	1150
Потребляемая мощность, кВт, не более	1,1	1,8	2,4	3,1
Производительность, т/ч	0,4 - 7,5 [*]	0,8 - 15 [*]	1,2 - 22,5 [*]	1,6 - 30 [*]
Расход воздуха, л/мин	800-1200 ^{**}	1200-2000 ^{**}	2000-3000 ^{**}	2000-4000 ^{**}
Давление воздуха на входе в фотосепаратор, МПа	0,7-0,9			
Рабочее давление воздуха, МПа	0,3-0,5			

^{*} Производительность и качество очистки фотосепараторами зависит от вида очищаемой культуры, её засорённости и уточняются после проведения тестирования на обрабатываемом материале.

^{**} Расход воздуха зависит от культуры и её засорённости.

Приложение В – Техническая характеристика фотосепараторов PIXEL NEXT

Наименование параметра	Модели фотосепараторов							
	Pixel Next 1	Pixel Next 1.5	Pixel Next 2	Pixel Next 3	Pixel Next 4	Pixel Next 5	Pixel Next 6	Pixel Next 7
Количество по конфигурации, шт.:								
эжекторов	54	77	108	162	216	270	324	378
камер CCD	2...4	4...8	4...8	6...12	8...16	10...20	12...24	14...28
лотков	1	2	2	3	4	5	6	7
вибраторов	1	2	2	3	4	5	6	7
Производительность (номинальная), т/час:								
без ресортировки	4	8	8	12	16	20	24	28
с ресортировкой	-	4	4	8	12	16	20	24
Напряжение питания, В	220±5%							
Номинальная мощность, кВт	1,0	1,0	1,5	1,5	2,5	2,5	3,0	3,0
Давление воздуха, МПа	0,6...0,8							
Температура окружающей среды, °С	+5...+40							
Относительная влажность воздуха, %	20...80							
Габариты, мм (±2%):								
ширина	1560	1560	1560	1950	1950	1950	2540	2540
длина	1465	1465	1465	1465	1465	1550	1550	1550
высота	2000	2000	2000	2000	2000	2100	2100	2100
Масса, кг	400	510	620	730	840	980	1090	1200

Приложение Г – Техническая характеристика фотосепараторов SEA CHROME

Наименование параметра	Модели фотосепараторов Chrome							
	1	1.5	2	3	4	5	6	7
Вибратор, шт.	1	2	2	3	4	5	6	7
Лоток, шт.	1	2	2	3	4	5	6	7
Камера, шт.	2...4	2...4	4...8	6..12	8...16	10...20	12...24	14...28
Эжекторы, шт.	54	77	108	162	216	270	324	378
Габариты, мм:								
ширина	1510	920	1510	1510	1920	1920	2470	2470
длина	1690							
высота	2050							
Масса, кг.	600	650	700	800	850	950	1100	1200
Мощность, кВт	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5	3,5	3,5
Расход воздуха, л/сек.	8,4	12,6	16,8	25,2	33,6	42,0	50,4	58,8

Приложение Д – Техническая характеристика фотосепараторов серии ROYAL

Наименование параметра	Модели фотосепараторов				
	ROYAL-1 Plus	ROYAL-2	ROYAL-3	ROYAL-4	ROYAL-5
Количество каналов, шт.:	96	128	192	256	280
из них для ресортировки	32	32	64	64	88
Производительность, т/ч	0,8...4,0	1,0...6,0	1,5...8,0	2,0...10,0	2,0...12,0
Габариты, мм:					
длина	1584				
ширина	1280	1480	1780	2080	2260
высота	1850				
Масса, кг	650	750	900	1040	1150
Мощность внешнего ком-прессора, кВт	5,6	5,6	7,5	11,3	15,0
Напряжение питания, В	220±5%				

Приложение Е – Техническая характеристика фотосепараторов фирмы Daewon

Серия	Модель	Габариты (ширина × длина × высота), мм	Производительность, т/ч	Потребляемая мощность, кВт
NANTA PUBU King	1	1021 × 1540 × 1810	2...4	1,6
	2	1328 × 1540 × 1810	4...8	2,0
	3	1632 × 1540 × 1810	6...12	2,5
	4	1942 × 1540 × 1810	8...16	3,0
	5	2249 × 1540 × 1810	10...20	3,5
	6	2556 × 1540 × 1810	12...24	4,0
NANTA 9000T	9128T	1600 × 1700 × 2174	0,2...0,6	3,0
	9192T	1870 × 1700 × 2174	0,3...0,9	4,0
	9256T	2240 × 1700 × 2174	0,4...1,2	5,0
	9320T	2590 × 1700 × 2174	0,5...1,5	6,0
NANTA ACE	1	1100 × 1500 × 1750	1...4	1,6
	2	1400 × 1500 × 1750	2...8	2,0
	3	1740 × 1500 × 1750	3...12	2,5
	4	2060 × 1500 × 1750	4...16	3,0
	5	2385 × 1500 × 1750	5...20	3,5
	6	2705 × 1500 × 1750	6...24	4,0
SPARK		760 × 1400 × 1750	1...3	1,0

Приложение Ж – Техническая характеристика фотосепараторов серии REZS

Наименование показателя	Значение показателя по моделям:					
	линейка REZS4500(1)			линейка REZS6500		
	DIS	AIS	BI	DIS	AIS	BI
Количество и ширина скатных лотков, шт.×мм	4×224 2×146 1×137	4×224 2×224	6×224	6×224 2×224 1×225	6×224 3×225	9×224
Производительность, т/ч	5...7		7...10	7,5...10,5		10,5...13,5
Шаг эжекторов, мм	5					
Мощность компрессора, кВт	15...22			22...30		
Источник питания	Однофазный (200...240) В					
Габариты, мм	1591×2076×1737			1626×2777×1738		

Приложение З – Ход подбора рациональной длины скатной поверхности

Исходные данные:

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2; \quad r = 0,0045 \text{ м}; \quad \alpha = 60^\circ; \quad B_B = 0,038 \text{ м}; \quad t_{\text{бу}} = 0,001 \text{ с}; \quad V_0 = 0,95 \text{ м/с};$$

$$f_1 = 0,359; \quad f_2 = 0,338.$$

Подбираемое значение: $S_{\text{max}} = 1,04 \text{ м}$.

Расчёты:

$$A_1 = g \cdot \sin \alpha - g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha = 6,735;$$

$$A_2 = g \cdot \sin \alpha - g \cdot f_2 \cdot \cos \alpha = 6,838;$$

$$t_0^{mp} = \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot A_1 \cdot r} - V_0}{A_1} = 0,00465 \text{ с};$$

$$t_1^{mp} = \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot A_1 \cdot S} - V_0}{A_1} = 0,432 \text{ с};$$

$$S_{\text{int}}^{mp} = V_0 \cdot t_0^{mp} + \frac{A_1 \cdot t_1^{mp^2}}{2} - \frac{A_2 \cdot (t_1^{mp} - t_0^{mp})^2}{2} = 8,43 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$t_2^{mp} = \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot A_2 \cdot S} - V_0}{A_2} = 0,43 \text{ с};$$

$$V_{cx_2} = V_0 + A_2 \cdot t_2^{mp} = 3,89 \text{ м/с};$$

$$t_{cn_2} = \frac{B_B}{V_{cx_2}} = 9,769 \cdot 10^{-3} \text{ c};$$

$$V_{n_B} = \sqrt{(V_{cx_2} \cdot \cos \alpha)^2 + (V_{cx_2} \cdot \sin \alpha + g \cdot t_{cn_2})^2} = 3,973 \text{ m/c};$$

$$V_2' = \sqrt{(V_{cx_2} \cdot \cos \alpha)^2 + (V_{cx_2} \cdot \sin \alpha + g \cdot [t_{cn_2} - t_0^{mp} + (t_1^{mp} - t_2^{mp})])^2} = 3,95 \text{ m/c};$$

$$S_{\text{int}_B}^{\min'} = \frac{V_{n_B} + V_2'}{2} \cdot t_{eu} = 3,96 \cdot 10^{-3} \text{ m};$$

$$x_n^{mp} = V_{cx_2} \cdot \cos \alpha \cdot [t_{cn_2} - t_0^{mp} + (t_1^{mp} - t_2^{mp})] = 13,85 \cdot 10^{-3} \text{ m};$$

$$S_{\text{int}_B}^{mp} = B_B - \frac{x_n^{mp}}{\cos \alpha} - r = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ m};$$

$$S_{\text{int}}^{mp} > 0,$$

$$8,43 \cdot 10^{-3} > 0;$$

$$S_{\text{int}_B}^{mp} \geq S_{\text{int}_B}^{\min'},$$

$$(5,8 \cdot 10^{-3}) > (3,96 \cdot 10^{-3}).$$

Приложение II – Результаты статистического анализа

Исходные данные для получения уравнения регрессии чистоты семян ($Ч_1$) в зависимости от состава исходного вороха.

№ опыта (n)	Содержание в исходном ворохе, %		Экспериментальные значения чистоты полученных семян ($Ч_1$), %			
	обрушенных зерновок (Co)	примесей (П)	1-я повторность (Y_{1n})	2-я повторность (Y_{2n})	3-я повторность (Y_{3n})	среднеарифметическое ($\bar{Y}_n$)
1	0,14	0,71	99,42	99,72	99,54	99,56
2	0,13	1,13	99,81	99,53	99,49	99,61
3	0,53	0,98	99,55	99,75	99,23	99,51
4	0,59	8,99	95,47	96,27	95,0	95,58
5	1,40	0,79	98,37	99,51	98,97	98,95
6	0,09	2,32	99,07	99,48	99,19	99,247
7	0,10	0,61	99,94	99,60	99,92	99,82
8	0,20	0,68	99,06	99,92	99,91	99,63
9	0,05	0,49	99,51	99,94	99,91	99,787
10	0,30	0,84	99,19	99,71	99,47	99,457
11	0,31	0,21	99,91	99,48	99,92	99,77

Уравнение регрессии чистоты полученных семян от состава исходного вороха в общем виде:

$$Ч_1 = b_0 + b_1 \cdot Co + b_2 \cdot П + b_{12} \cdot Co \cdot П + b_{11} \cdot Co^2 + b_{22} \cdot П^2.$$

Построчная дисперсия и дисперсия воспроизводимости.

№ опыта (n)	1-я повторность (Y_{1n})	2-я повторность (Y_{2n})	3-я повторность (Y_{3n})	Среднеарифметическое ($\bar{Y}_n$)	Построчная дисперсия (S_n^2)
1	99,42	99,72	99,54	99,56	0,0228
2	99,81	99,53	99,49	99,61	0,0304
3	99,55	99,75	99,23	99,51	0,0688
4	95,47	96,27	95,0	95,58	0,4123
5	98,37	99,51	98,97	98,95	0,3252
6	99,07	99,48	99,19	99,247	0,0444333
7	99,94	99,60	99,92	99,82	0,0364
8	99,06	99,92	99,91	99,63	0,2437
9	99,51	99,94	99,91	99,787	0,0576333
10	99,19	99,71	99,47	99,457	0,0677333
11	99,91	99,48	99,92	99,77	0,0631
Дисперсия воспроизводимости (D^2)					0,1247727

Полученное уравнение регрессии чистоты семян от состава исходного вороха:

$$Ч_1 = 99,8924 - 0,2973 \cdot Co - 0,2107 \cdot П - 0,0761 \cdot Co \cdot П - 0,1303 \cdot Co^2 - 0,0222 \cdot П^2.$$

Значимость коэффициентов регрессии.

Значение ко- эффициентов	b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}
	99,8924	-0,2973	-0,2107	-0,0761	-0,1303	-0,0222
Значимость	значим	значим	значим	значим	значим	незначим

Дисперсия определения коэффициентов регрессии S_b^2 0,003781.

$$S_b \cdot t^{kp} \text{ } 0,05077423.$$

Число степеней свободы γ 22.

Критерий Стьюдента t^{kp} 2,07.

Итоговое уравнение регрессии чистоты семян от состава исходного вороха (без незначимых коэффициентов):

$$Ч_1 = 99,8924 - 0,2107 \cdot П - 0,2973 \cdot Co - 0,0761 \cdot П \cdot Co - 0,1303 \cdot Co^2.$$

Проверка значимости уравнения регрессии чистоты семян ($Ч_1$).

№ опы- та (n)	Эксперименталь- ное значение ($\bar{Y}_n$)	Расчётное значе- ние ($\hat{Y}_n$)	Разница ($\bar{Y}_n - \hat{Y}_n$)	Квадрат разницы ($\bar{Y}_n - \hat{Y}_n$) ²
1	99,56	99,69107205	0,131072049	0,017179882
2	99,61	99,60229641	-0,007703595	5,93454E-05
3	99,51	99,45223945	-0,057760546	0,003336281
4	95,58	97,37411884	1,794118835	3,218862395
5	98,95	98,97016224	0,020162241	0,000406516
6	99,25	99,35991231	0,109912306	0,012080715
7	99,82	99,72820434	-0,091795659	0,008426443
8	99,63	99,67411215	0,044112154	0,001945882
9	99,79	99,77210505	-0,017894946	0,000320229
10	99,46	99,5953331	0,135333103	0,018315049
11	99,77	99,73851263	-0,031487366	0,000991454
Сумма				3,281924191
Дисперсия адекватности (σ_{ad}^2)				1,640962096

Количество повторностей (u) 3

Количество опытов (N) 11

Количество значимых коэффициентов уравнения регрессии (C) 5

Степень свободы γ_1 6

Степень свободы γ_2 2

$(F_{расч} = 13,1516) < (F_{табл} = 19,33)$, следовательно, уравнение регрессии значимо.

Исходные данные для получения уравнения регрессии количества (K_1) семян в зависимости от состава исходного вороха.

№ опыта (n)	Содержание в исходном ворохе, %		Экспериментальные значения чистоты полученных семян (K_1), %			
	обрушенных зерновок (Co)	примесей ($П$)	1-я повторность (Y_{1n})	2-я повторность (Y_{2n})	3-я повторность (Y_{3n})	среднеарифметическое ($\bar{Y}_n$)
1	0,14	0,71	91,54	92,98	92,42	92,313
2	0,13	1,13	91,31	92,98	91,92	92,07
3	0,53	0,98	88,62	87,07	87,98	87,89
4	0,59	8,99	66,63	67,42	68,23	67,427
5	1,40	0,79	86,42	88,02	86,90	87,113
6	0,09	2,32	83,89	82,89	84,35	83,71
7	0,10	0,61	89,02	90,74	89,67	89,81
8	0,20	0,68	87,73	88,51	89,33	88,523
9	0,05	0,49	93,75	92,21	92,98	92,98
10	0,30	0,84	90,84	92,41	91,61	91,62
11	0,31	0,21	94,75	93,17	94,11	94,01

Уравнение регрессии количества полученных семян от состава исходного вороха в общем виде:

$$K_1 = b_0 + b_1 \cdot Co + b_2 \cdot П + b_{12} \cdot Co \cdot П + b_{11} \cdot Co^2 + b_{22} \cdot П^2.$$

Построчная дисперсия и дисперсия воспроизводимости.

№ опыта (n)	1-я повторность (Y_{1n})	2-я повторность (Y_{2n})	3-я повторность (Y_{3n})	Среднеарифметическое ($\bar{Y}_n$)	Построчная дисперсия (S_n^2)
1	91,54	92,98	92,42	92,313	0,5269333
2	91,31	92,98	91,92	92,07	0,7141
3	88,62	87,07	87,98	87,89	0,6067
4	66,63	67,42	68,23	67,427	0,6400333
5	86,42	88,02	86,90	87,113	0,6741333
6	83,89	82,89	84,35	83,71	0,5572
7	89,02	90,74	89,67	89,81	0,7543
8	87,73	88,51	89,33	88,523	0,6401333
9	93,75	92,21	92,98	92,98	0,5929
10	90,84	92,41	91,61	91,62	0,6163
11	94,75	93,17	94,11	94,01	0,6316
Дисперсия воспроизводимости (D^2)					0,1247727

Полученное уравнение регрессии количества семян от состава исходного вороха:

$$K_1 = 95,2818 - 2,8664 \cdot Co - 5,195 \cdot II - 0,5116 \cdot Co \cdot II - 0,145 \cdot Co^2 + 0,2869 \cdot II^2.$$

Значимость коэффициентов регрессии.

Значение ко- эффициентов	b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}
	95,2812	-2,8664	-5,195	-0,5116	0,145	0,2869
Значимость	значим	значим	значим	значим	незначим	значим

Дисперсия определения коэффициентов регрессии S_b^2 0,019157943.

$S_b \cdot t^{kp}$ 0,286513299.

Число степеней свободы γ 22.

Критерий Стьюдента t^{kp} 2,07.

Итоговое уравнение регрессии чистоты семян от состава исходного вороха (без незначимых коэффициентов):

$$K_1 = 95,2818 - 2,8664 \cdot Co - 5,195 \cdot II - 0,5116 \cdot Co \cdot II + 0,2869 \cdot II^2.$$

Проверка значимости уравнения регрессии количества семян (K_1).

№ опы- та (n)	Эксперименталь- ное значение ($\bar{Y}_n$)	Расчётное значе- ние ($\hat{Y}_n$)	Разница ($\bar{Y}_n - \hat{Y}_n$)	Квадрат разницы ($\bar{Y}_n - \hat{Y}_n$) ²
1	92,31	91,28520446	-1,024795538	1,050205894
2	92,07	89,32939125	-2,740608748	7,510936311
3	87,89	88,68069491	0,790694908	0,625198438
4	67,43	67,36206112	-0,067938882	0,004615692
5	87,11	86,77737578	-0,332624215	0,110638869
6	83,71	84,40826166	0,698261661	0,487569348
7	89,81	91,90113478	2,091134784	4,372844684
8	88,52	91,23838137	2,718381368	7,389597264
9	92,98	92,64865721	-0,331342793	0,109788046
10	91,62	90,13096966	-1,489030344	2,217211366
11	94,01	93,28099272	-0,729007281	0,531451616
Сумма				24,41005753
Дисперсия адекватности ($\sigma_{ад}^2$)				12,20502876

Количество повторностей (u) 3

Количество опытов (N) 11

Количество значимых коэффициентов уравнения регрессии (C) 5

Степень свободы γ_1 6

Степень свободы γ_2 2

($F_{расч} = 19,305$) < ($F_{табл} = 19,33$), следовательно, уравнение регрессии значимо.

**Приложение К – Акт передачи результатов исследований ООО «Техника
Сервис Агро»**



Общество с ограниченной ответственностью

Техника Сервис Агро

Производство сельскохозяйственных машин и оборудования

Исх. № *191*

В диссертационный совет
Д 220.010.04
в ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный аграрный
университет имени
императора Петра I»

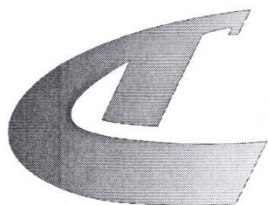
ООО «Техника Сервис Агро» получены материалы исследований по совершенствованию технологического процесса подготовки семян гречихи с применением фотосепаратора для их реализации, проведённые в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) Мяснянкиным Константином Васильевичем и представленные им в диссертационной работе.

Полученные материалы содержат:

- аналитический обзор и анализ существующих технологий послеуборочной обработки зерна, его хранения и применяемого при этом оборудования;
- практические рекомендации по выбору конструктивных и режимных параметров работы воздушно-решётной машины при очистке гречихи для её дальнейшего фотосепарирования с целью получения кондиционных семян;
- технологическую линию семяочистительного агрегата, позволяющую минимизировать травмирование при подготовке кондиционных семян гречихи.

юридич. адрес: 396901, Воронежская обл., Семилукский р-он, г. Семилуки, ул. Ленина, д. 15А, оф. 103
почт. адрес: 394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, д. 75, оф. 4
тел. (473) 270-11-88, 270-12-65; тел./факс (473) 270-02-72; e-mail: mail@tese.ru

банк: р/сч 40702810002000012280 в Ярославский филиал ПАО «Промсвязьбанк» г. Ярославль
к/с 30101810300000000760, БИК 047888760, ИНН 3665096820 КПП 362801001



Общество с ограниченной ответственностью

Техника Сервис Агро

Производство сельскохозяйственных машин и оборудования

Переданные материалы исследований представляют практический интерес и используются ООО «Техника Сервис Агро» при проектировании и производстве зерноочистительных машин и транспортирующего оборудования.

Директор

ООО «Техника Сервис Агро»



Кустовинов С. В.

юридич. адрес: 396901, Воронежская обл., Семилукский р-он, г. Семилуки, ул. Ленина, д. 15А, оф. 103
почт. адрес: 394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, д. 75, оф. 4
тел. (473) 270-11-88, 270-12-65; тел./факс (473) 270-02-72; e-mail: mail@tese.ru

 банк: р/сч 40702810002000012280 в Ярославский филиал ПАО «Промсвязьбанк» г. Ярославль
к/с 30101810300000000760, БИК 047888760, ИНН 3665096820 КПП 362801001

Приложение Л – Акт передачи результатов исследований ООО «Смарт Грэйд»



В диссертационный совет
Д 220.010.04
в ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный аграрный
университет имени
императора Петра I»

Исх. № 65 от «17» июля 2020 г.

ООО «Смарт Грэйд» получены материалы исследований по совершенствованию технологического процесса подготовки семян гречихи с применением фотосепаратора для их реализации, проведённые в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) Мяснянкиным Константином Васильевичем и представленные им в диссертационной работе.

Полученные материалы содержат:

- краткий обзор и анализ отечественных и зарубежных фотосепараторов;
- математическую модель движения частиц обрабатываемого материала в фотосепараторе с момента их подачи на скатный лоток до места выбраковки примесей, учитывающую размерные и фрикционные свойства компонентов;
- теоретическое и экспериментальное обоснование длины скатного лотка для обеспечения высокого качества фотосепарирования;
- эмпирические зависимости качества и количества очищенной фракции от состава зерновой массы, подаваемой для окончательной её очистки на фотосепаратор;
- зависимости эффективности использования фотосепаратора от конструктивных особенностей скатного лотка;



- зависимости качества очистки от производительности фотосепаратора;
- ориентировочные требования к зерновой массе, направляемой на фотосепаратор, для получения семян требуемого качества.

Переданные материалы исследований представляют практический интерес и используются ООО «Смарт Грэйд» при проектировании и производстве фотосепараторов.

**Генеральный директор
ООО «Смарт Грэйд»**



А. А. Агеев

