

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский
научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов
в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН)

На правах рукописи



Альшинайин Хайдер Джамил Джабер

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ И ПАРАМЕТРОВ
ПРОЦЕССА ТРИЕРНОЙ ОЧИСТКИ ЯЧМЕНЯ ОТ КОРОТКИХ
ПРИМЕСЕЙ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

д.т.н. Анашкин А.В.

Тамбов 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	10
1.1 Производство зерновых культур в республике Ирак.....	10
1.2 Особенности подработки зерна в Ираке.....	17
1.3 Способы очистки зерна и этапы развития зерноочистительной техни- ки.....	22
1.4 Анализ исследований физико-механических свойств сыпучих мате- риалов.....	30
1.5 Анализ исследований процессов триерной очистки зерна.....	37
1.6 Выводы по главе, цель и задачи исследования.....	55
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ РАЗДЕЛЕНИЯ ЗЕРНОСМЕСЕЙ ПО РАЗМЕРНЫМ ПРИЗНАКАМ ЧАСТИЦ.....	58
2.1 Обоснование необходимости триерного разделения зерносмесей и параметров ячеек на основе анализа распределений размерных признаков	58
2.1.1 Размерные характеристики зерновок сорго.....	58
2.1.1.1 Анализ распределения длины частиц сорго.....	58
2.1.1.2 Анализ распределения ширины частиц сорго.....	63
2.1.1.3 Анализ распределения толщины частиц сорго.....	66
2.1.2 Размерные характеристики зерновок вики.....	68
2.1.2.1 Анализ распределения длины частиц вики.....	68
2.1.2.2 Анализ распределения ширины частиц вики.....	71
2.1.2.3 Анализ распределения толщины частиц вики.....	73
2.1.3 Размерные характеристики зерновок ячменя.....	75
2.1.3.1 Анализ распределения длины частиц ячменя.....	75
2.1.3.2 Анализ распределения ширины частиц ячменя.....	80
2.1.3.3 Анализ распределения толщины частиц ячменя.....	83
2.1.4 Соотношение размеров частиц основной культуры и примесей...	85
2.2 Обоснование режимов работы и параметров прибора для разделения	91

зерносмесей по длине частиц.....	
2.3 Обоснование параметров стенда циклического действия для исследований ячеистых поверхностей.....	97
Выводы по главе.....	103
3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	104
3.1 Программа работ.....	104
3.2 Методика исследований физико-механических свойств компонентов зерносмесей.....	105
3.3 Методика исследований процессов выделения примесей из ячменя ячеистыми поверхностями.....	108
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	113
4.1 Исследования угла естественного откоса.....	113
4.2 Исследования процесса выделения коротких примесей из ячменя...	116
4.2.1 Динамика и качество выделения колотых зерновок ячменя из зерносмеси.....	116
4.2.1.1 Динамика выделения	116
4.2.1.2 Взаимосвязь технологических потерь со скоростным режимом работы и положением выводного лотка.....	121
4.2.1.3 Взаимосвязь степени выделения и остаточной засоренности зерносмеси с режимами работы и настроечными параметрами	123
4.2.2 Динамика и качество выделения семян гречишки вьюнковой из зерносмеси	125
4.2.3 Динамика и качество выделения семян вики из зерносмеси	129
4.2.4 Динамика и качество выделения семян сорго из зерносмеси	133
4.2.4.1 Выделение семян сорго в зависимости от исходной засоренности и загрузки	134
4.2.4.2 Выделение семян сорго из ячменя в зависимости от частоты вращения цилиндра и углового положения выводного лотка	137

4.2.5 Рациональные технологические режимы и параметры процесса триерной очистки ячменя от коротких примесей.....	146
Выводы по главе.....	148
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	150
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	158
Список литературы.....	161
Приложение А. Результаты измерений линейных размеров частиц исследуемых зерновых материалов.....	172
Приложение Б. Патенты	177
Приложение В. Акты внедрения результатов исследований.....	191

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одним из важнейших технологических процессов при производстве зерна является послеуборочная очистка зерновых смесей от разного рода примесей. Качество технологического процесса очистки зерна определяется величиной потерь зерна основной культуры и его остаточной засоренностью. При этом возможности обеспечения качества обработки зерна, особенно в многоканальных технологиях, связаны с необходимостью эффективного управления технологическими процессами: контролем режимов и параметров работы машин, а также меняющихся характеристик рабочей среды.

Государственными стандартами предъявляются высокие требования к качеству зерна и семян по показателю содержания сорной примеси. Наиболее жесткие требования для посевного материала. Для разных категорий семян зерновых культур содержание семян сорняков нормируется в количестве от 3 до 70 шт./кг. При наличии в зерносмеси таких трудноотделимых примесных компонентов, как овсюг, куколь, гречишка вьюнковая и зерновой примеси в виде колотых зерновок основной культуры, добиться высоких показателей качества зерна и семян по остаточной засоренности без применения триерной очистки не представляется возможным. Вместе с тем, в зерноочистительных агрегатах типа ЗАВ, применяемых в условиях сельскохозяйственных предприятий, подавляющее большинство триерных блоков выведено из эксплуатации по ряду объективных причин. Среди них: отсутствие эффективных средств управления и распределения массовых потоков зерна в многоканальных зерноочистительных технологиях; несогласованность технологических процессов в кукольном и овсюжном триерных цилиндрах, работающих последовательно в триерном блоке; отсутствие регламентов использования триерного блока по производительности, технологическим настройкам и регулировкам, скоростным режимам работы цилиндров.

В литературных источниках недостаточно необходимой информации по исследованиям закономерностей процессов триерной очистки зерносмесей от длинных и коротких примесей с учетом качества очистки во взаимосвязи с настроеч-

ными и режимными параметрами. Особенно мало данных по исследованиям триерной очистки ячменя, хотя уровень его производства в России, Ираке и других странах составляет существенную долю в структуре производства продукции растениеводства. Необходимость пополнения базы знаний о процессах триерной очистки за счет исследований динамики выделения коротких сорных примесей, колотых частиц зерна основной культуры из ячменя с помощью ячеистых поверхностей обуславливает актуальность темы исследований.

Степень разработанности темы. Многие учёные посвятили свои работы изучению вопросов совершенствования технических средств и технологий послеуборочной обработки зерновых культур, а также получения качественного семенного материала. Аналитическое описание процессов сепарации отражено в работах В.П. Горячкина, М.И. Летошнева, Г.Т. Павловского, Лурье А.Б., И.П. Сычугова, А.П. Тарасенко, В. И. Анискина, Г.Д. Терскова, А.Н. Зюлина, Ю.И. Ермольева, В.М. Дринчи, А.И. Буркова, А.М. Гиевского, В.Д. Олейникова, А.А. Бойко, В.С.Быкова, В. М. Халанского, В.М. Карпенко и других учёных.

Проблематике очистки зерна триером посвящены работы М.И. Летошнева, А.И. Буркова, В.М. Дринча, А.П. Тарасенко, Тишанинова Н.П., Анашкина А.В. Коврикова И. Т. Пивень В.В., Уманской О.Л. Постниковой М.В., Янукова Н.В. Авторами отмечается высокая эффективность и сравнительно небольшая удельная производительность процесса сепарирования в триерах.

Цель работы: повышение качества очистки ячменя от коротких примесей.

Задачи исследований:

- обосновать конструктивно-технологические режимы и параметры экспериментального стенда и прибора для исследований процессов триерной очистки зерна;
- выполнить анализ делимости ячменя и коротких примесных компонентов по размерным признакам;
- изучить физико-механические свойства компонентов исследуемых зерносмесей;
- установить взаимосвязи качества очистки ячменя от коротких примесей с

режимами работы и настроечными параметрами триера;

– обосновать рациональные параметры и режимы процесса триерной очистки ячменя от коротких примесей.

Объект исследований – процесс разделения компонентов зерносмесей с помощью ячеистых поверхностей.

Предмет исследований – закономерности изменения показателей качества процесса очистки ячменя в зависимости от режимов работы и настроечных параметров триера.

Научная новизна работы:

– прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала, позволяющий повысить достоверность измерений;

– уточненные результаты исследований угла естественного откоса зерновых материалов;

– закономерности выделения колотых зерновок ячменя, семян вики, сорго и гречишки вьюнковой из зерносмеси;

– взаимосвязь технологических потерь и степени выделения коротких примесей из ячменя с режимом работы и настроечными параметрами триера.

Теоретическая и практическая значимость.

На основании анализа размерных характеристики зерновок ячменя и коротких примесных компонентов оценены последствия их разделения с помощью решетных и ячеистых поверхностей. Определено вероятное качество процесса и потери полноценного зерна в отходы с учетом полноты выделения примесных компонентов.

Использование обоснованных рациональных режимных и настроечных параметров триера при очистке ячменя от коротких примесей позволит обеспечить снижение потерь полноценного зерна и остаточной засоренности семян, что повышает эффективность использования зерноочистительных технологий.

Методология и методы исследований. Теоретические исследования выполнялись в соответствии с известными законами механики насыпных грузов, теории цилиндрических триеров, классической механики. Экспериментальные

исследования процессов триерного разделения зерносмесей и физико-механических свойств зерновых сыпучих материалов проводились в лабораторных условиях ФГБНУ ВНИИТиН с помощью существующего и разработанного стендового и приборного оборудования в соответствии с общепринятыми и разработанными частными методиками. Обработка экспериментальных данных выполнялась методами математической статистики с применением ПЭВМ.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов исследований подтверждается: большим объемом результатов экспериментальных исследований, обеспечением высокой воспроизводимости условий опытов, сопоставимостью их результатов с результатами теоретического анализа; использованием современных приборов и оборудования; апробацией разработок.

Положения, выносимые на защиту:

- уточненные результаты исследований угла естественного откоса зерновых материалов, полученные с помощью разработанного прибора;
- закономерности процессов триерного разделения зерносмесей: динамика и качество выделения колотых зерновок ячменя и коротких примесных компонентов из зерносмеси;
- закономерности изменения технологических потерь и степени выделения колотых зерновок ячменя из зерносмеси во взаимосвязи с частотой вращения цилиндра и угловым положением выводного лотка;
- рациональные технологические режимы и параметры процесса триерной очистки ячменя от коротких примесей.

Апробация результатов исследований. Основные положения диссертации доложены и одобрены на международных, всероссийских научно-практических конференциях: «Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт» / 3-я международная научно-практическая конференция института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета. 2016; «Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем» / Международная научно-практическая конференция, 8 февраля 2019 г. – Оренбург, ОГАУ; «Повы-

шение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для АПК» / XX международная научно-практическая конференция, 26-27 сентября 2019 г. – Тамбов, ФГБНУ ВНИИТиН; «Всероссийская национальная научно-практическая конференция, посвящённая 80-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина», 12-13 ноября 2019 г. – Рязань, РГАТУ; «АПК XXI века образование инновации перспективы» / 71-я Международной научно практической конференции студентов и аспирантов , 19-21 марта 2019 г. – Мичуринск, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ; «Современная наука: теория, методология, практика» / III Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция, 13-14 апреля 2021 г. – Тамбов, ТГТУ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 научных работы, в том числе 2 в журналах индексируемых в международной базе данных Scopus, 11 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных положений диссертационных исследований, 2 в описании патентов, 6 в материалах конференций, 2 в других научных изданиях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5-ти разделов, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 199 страницах машинописного текста, включает 75 рисунков, 66 таблиц и 3 приложения. Список литературы содержит 157 наименований, в том числе 12 на иностранном языке.

Соответствие паспорту специальности. Материалы диссертации соответствуют паспорту специальности 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства: п. 7 «Разработка методов оптимизации конструкционных параметров и режимов работы технических систем и средств в растениеводстве и животноводстве по критериям эффективности и ресурсосбережения технологических процессов», п. 10 «Разработка и совершенствование методов, средств испытаний, контроля и управления качеством работы средств механизации производственных процессов в растениеводстве и животноводстве».

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Производство зерновых культур в республике Ирак

Площадь Ирака составляет 435 052 км² (43,5 млн. га). Большая часть территории страны непригодны для использования в сельском хозяйстве из-за засушливости и засоления почв. Площади сельскохозяйственного назначения составляют 9,45 млн. га, из них около 4 млн. га используются в качестве пастбищ для овец и коз [145]. Таким образом, для выращивания сельскохозяйственных культур используется лишь около 12,5% площади Ирака. Структура производства продукции растениеводства в Ираке представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Производство сельхозпродукции в Ираке в 2019 году

Культура	Посевная площадь, тыс. га	Валовый сбор, тыс. т	Доля в структуре площади, %	Доля производства продукции, %
Пшеница	1582,8	4343,5	57,4	46,8
Ячмень	930,3	1518,5	33,8	16,4
Рис	127,7	574,7	4,6	6,2
Кукуруза	75,0	350,0	2,7	3,8
Финики	106,5	639,3	3,9	6,9
Масличные	15,5	10,6	0,6	0,1
Овощи	107,0	1271,7	3,9	13,7
Корнеплоды и	14,0	392,3	0,5	4,2
Сахарная свекла	19,5	38,0	0,7	0,4
Цитрусовые	101,6	139,7	3,7	1,5
Сумма*	2755,2	9278,3	100	100

*Площади под рис и масличные культуры используются в течении года дважды, совместно с пшеницей или ячменем.

Возделываемые культуры делятся на озимые, которые выращиваются в зимний сезон, включая пшеницу, ячмень, кукурузу, и летние культуры, которые выращиваются в летний сезон, такие как рис.

Из таблицы 1.1 видно, что основная доля в структуре растениеводства страны приходится на производство пшеницы и ячменя. На пшеницу приходится 46,8% от общего объема выращенной продукции в 2019 году, на ячмень – 16,4%.

Доля производства ячменя сопоставима с уровнем производства всех культур, за исключением пшеницы и овощей.

Особое место занимает производство фиников. В долинах рек плантации финиковой пальмы занимают существенную территорию. Выращенные плоды экспортируются по всему миру.

Посевные площади под пшеницу в зимний период 2019 г. оценивались в 6331 тыс. дунам (1582,8 тыс. га), (1 дунам = 2500 м², 1 га = 4 дунам).

В 2020 году площадь посевов пшеницы увеличилась на 35,5% и составила 2143,4 тыс. га.

Сельхозугодья в Ираке делятся на орошаемые и неорошаемые, которые в свою очередь подразделяются на земли с гарантированными, почти гарантированными и негарантированными осадками. Площадь орошаемых посевных площадей пшеницы в 2019 г. оценивалась в 4453 тыс. дунам (1113,2 тыс. га), что составляет 70,3%, в то время как площадь неорошаемых земель оценивалась в 1878 тыс. дунам (469,5 тыс. га), что составляет 29,7% от общей посевной площади, таблица 1.2.

Валовый сбор пшеницы на орошаемых землях составил 3396 тыс. тонн, что составляет 78,2% от общего производства, в то время как на неорошаемых землях было собрано 947 тыс. тонн, что составляет 21,8%.

Неорошаемые земли делятся на три части: земли, где почти гарантировано выпадает необходимое количество осадков (таких земель приходится 334,7 тыс. га при соотношении 71,3% от общего количества неорошаемой земли); посевные площади на землях с гарантированными осадками (их было 84,5 тыс. га, что составляет 18% неорошаемых посевных площадей); земли, где выпадение осадков носит вероятностный характер (таких площадей было 50,4 тыс. га или 10,7%),

Средняя урожайность пшеницы в Ираке в зимний период 2019 г. на общей посевной площади составила 686,1 кг/дунам (27,4 ц/га), что на 0,6% ниже по сравнению с 2018 годом, когда она была оценена в 690,5 кг/дунам (27,6 ц/га). Причина уменьшения связана с повреждением посевов сельскохозяйственных культур болезнями вследствие избытка дождей.

В 2020 году средняя урожайность пшеницы увеличилась до 29,1 ц/га, что на 6,2% превысило этот показатель за 2019 год.

Средняя урожайность пшеницы на орошаемых землях в 2019 г. была 762,7 кг (30,5 ц/га).

Районы, использующие полив посевов пшеницы, добиваются значительно лучших результатов ее возделывания.

Производство ячменя в Ираке в настоящее время занимает второе место после производства пшеницы. На протяжении 2014-2018 гг. наблюдалось ежегодное снижение площади выращивания ячменя. Она уменьшилась с 1158 тыс. га до 150 тыс. га – в 7,72 раза. Валовый сбор за этот период снизили с 1278 до 191 тыс. т. – в 6,69 раза, таблица 1.2.

Таблица 1.2 – Производство ячменя в Ираке в 2014-2020 гг.

Наименования показателя	Единица измерения	Годы	Ячмень	Изменение, %
Общая площадь	тыс. дунам/ тыс. га	2014	4632 / 1158	37,7
		2015	*1003 / 251	-78,3
		2016	**1062 / 266	5,9
		2017	**820 / 205	-22,8
		2018	**601 / 150	-26,7
		2019	***3721 / 930	519,0
		2020	4528 / 1132	21,7
Валовый сбор	тыс. тонн	2014	1278	27,4
		2015	*330	-74,2
		2016	**499	51,2
		2017	**303	-39,3
		2018	**191	-37,1
		2019	***1518	696,5
		2020	1756	15,6
Урожайность	кг/дунам/ ц/га	2014	275,8 / 11,0	-7,5
		2015	*328,7 / 13,1	19,1
		2016	**470,2 / 18,8	43,0
		2017	**369,4 / 14,8	-21,4
		2018	**317,1 / 12,7	-14,2
		2019	***408,1 / 16,3	28,7
		2020	387,8 / 15,5	-4,9

* За исключением Курдистана и провинций: Найнава, Салах адДин, Анбар.

** За исключением Курдистана и провинций: Найнава, Салах адДин, Анбар и АльХавиджа из

провинции Киркук и некоторых деревень.

*** За исключением Курдистана и некоторых деревень в провинциях: Найнава, Киркук, Дияла, Анбар и Салах адДин.

Такое снижение производства ячменя объясняется общим спадом экономики Ирака и, в частности, сельского хозяйства в этот период, связанным с геополитической обстановкой и нестабильности в Ближневосточном регионе.

В зимний период 2019 года было собрано 1518 тыс. тонн ячменя, что в 7,9 раза больше, чем в 2018 году. Основная причина этого связана с возобновлением сельхозпроизводства в провинциях Найнава, Анбар, Салах-ад-Дин и округе Хавиджа в Киркуке, которые в 2015-2018 годах были парализованы боевыми действиями. В 2020 году собрано 1756 тыс. тонн, что свидетельствует об увеличении объема производства ячменя еще на 15,6%, рисунок 1.1.



Рисунок 1.1 – Производство ячменя в Ираке в 2014-2020 годах

Лидером по объему выращивания ячменя является провинция Найнава, в которой в 2019 г. произведено 1262 тыс. тонн, что составляет 83,1% от общего объема производства. Остальные провинции в сумме произвели 16,9%, таблица 1.3.

На неорошаемых землях в 2019 г. получено 1273 тыс. тонн, что составило 83,8% от всего собранного ячменя. Производство ячменя на орошаемых землях составило лишь 246 тыс. тонн, или 16,2%, таблица 1.4.

Таблица 1.3 – Показатели производства ячменя по регионам Ирака в 2019 году

Провинции	Посевная площадь, тыс. га				Валовый сбор, тыс. тонн	Доля от общего произ- водства, %	Средняя урожай- ность, ц/га	
	Засеяно	Убрано	Повреждено	Площадь зеленых кормов			На общей площади	На убранной площади
Найнава	759,9	746,6	13,3	-	1261906	83,1	16,6	16,9
Киркук	2,0	2,0	-	-	3564	0,2	17,6	17,6
Дияла	9,6	9,6	-	-	14460	1,0	15,0	15,0
Анбар	0,8	0,6	0,1	0,1	1031	0,1	13,7	17,3
Багдад	2,1	2,0	0,0	0,1	4772	0,3	22,5	24,2
Вавилон	5,9	4,8	-	1,2	9657	0,6	16,3	20,3
Карбела	2,0	1,6	0,0	0,4	2579	0,2	12,8	16,3
Васит	23,3	23,3	-	0,0	36244	2,4	15,6	15,6
Салах адДин	2,4	1,9	0,1	0,3	4332	0,3	18,4	22,6
Наджаф	0,8	0,8	-	0,0	1629	0,1	19,5	19,7
АльКадисия	41,7	41,75	-	-	78787	5,2	18,9	18,9
АльМутина	30,1	30,0	0,1	-	52450	3,5	17,4	17,5
ДхиКар	21,4	21,3	0,0	0,1	29485	1,9	13,8	13,8
Миссан	28,2	11,1	16,4	0,7	17575	1,2	6,2	15,8
АльБасра	0,1	-	-	0,1	-	-	-	-
Сумма	930,3	897,2	30,2	2,9	1518471	100	16,3	16,9

Символ (-) означает ноль или почти ноль

Таблица 1.4 – Посевная площадь, средняя урожайность и валовый сбор ячменя в 2019 году

Способ возделывания	Посевная площадь, тыс. га				Валовый сбор, тыс. тонн	Средняя урожайность, ц/га	
	Засеяно	Убрано	Повреждено	Площадь зеленых кормов		На об- щей площади	На убранной площади
Орошаемый	162,7	143,8	16,0	2,9	245,7	15,1	17,1
Неорошаемый	767,6	753,4	141,7	-	1272,8	16,6	16,9
Сумма	930,3	897,2	30,1	2,9	1518,5	16,3	16,9

Символ (-) означает ноль или почти ноль

Средняя урожайность по общей засеянной площади при орошаемом способе возделывания оказалась даже ниже, чем при возделывании в естественных условиях и составила 15,1 ц/га. Некоторая часть посевов ячменя используется для выпаса скота и заготовки зеленого корма.

Всего посевные площади ячменя в 2019 году составили 3721 тыс. дунамов (930,3 тыс. га.), что в 6,19 раза больше, чем было в предшествующем периоде (601 тыс. дунам (150,3 тыс. га соответственно). Распределение площадей возделывания ячменя по регионам Ирака представлено на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2– Распределение посевов ячменя по территории Ирака в 2019 году

В 2019 году урожай ячменя собрали с 3589 тыс. дунам (897,2 тыс. га), что составляет 96,4% от общей площади, засеянной ячменем, таблица 1.3.

Доля площади неорошаемых земель, возделываемых под ячменем составляет 82,5% (3070 тыс. дунам или 767,5 тыс. га), в то время как площадь орошаемых земель составила 651 тыс. дунам (162,8 тыс. га) или 17,5% от общей посевной площади ячменя (см. таблица 1.4).

Средняя урожайность ячменя для зимнего периода 2019 года, рассчитанная на общую засеянную площадь, составила 408,1 кг/дунам (16,3 ц/га), что на 28,7% превышает показатель в 2018 году, когда она составляла 317,1 кг/дунам (12,7 ц/га), рисунок 1.3.

В 2019 году было получено 3489 тыс. тонн ячменной соломы с площади 897,2 тыс. га при ее урожайности 38,9 ц/га.

Структура производства ячменя по регионам Ирака в 2019 г. представлена в таблицах 1.5 и 1.6.

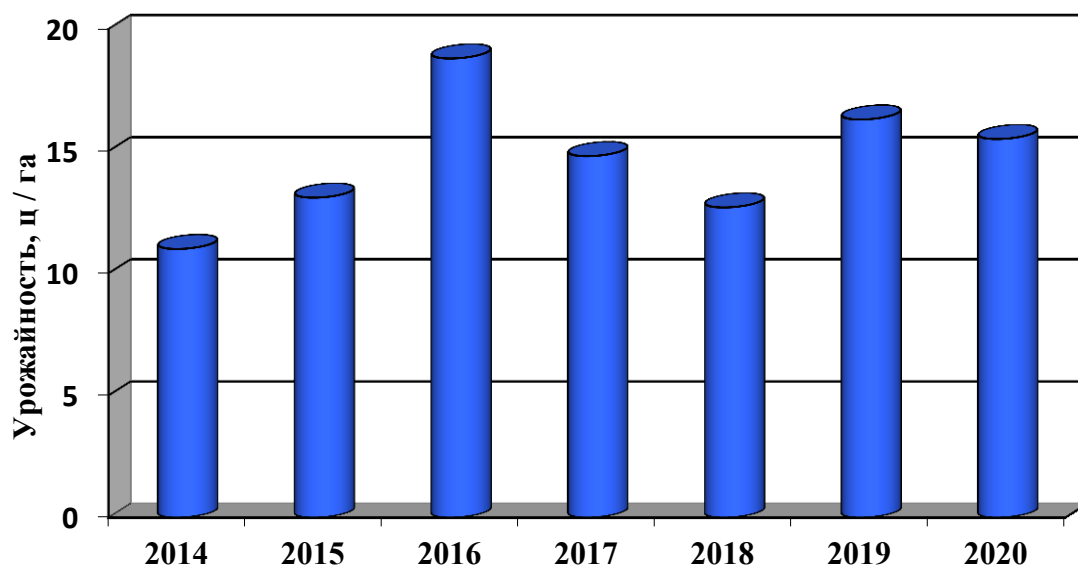


Рисунок 1.3 – Урожайность ячменя в 2014-2020 годах

Таблица 1.5 – Показатели производства ячменя на неорошаемых землях по регионам в 2019 году

Провинции	Посевная площадь, тыс. га				Валовый сбор, тыс. тонн	Средняя урожайность, ц/га	
	Засеяно	Убрано	Повреждено	Площадь зеленых кормов		На общей площади	На убранной площади
Найнава	759,8	746,6	13,2	-	1261,8	16,6	16,9
Киркук	1,4	1351,75	-	-	2,0	14,9	14,9
Дияла	0,5	0,5	-	-	0,6	10,6	10,6
Васит	0,1	0,1	-	-	0,2	14,9	14,9
Салах адДин	0,4	0,4	0,0	-	0,7	16,4	17,3
АльКадисия	3583	3,5	-	-	6,1	17,5	17,5
АльМутина	0,3	0,3	-	-	0,4	11,1	11,1
Мисан	1,4	0,6	0,8	-	0,9	6,2	16,0
Сумма	767,6	753,4	14,2	-	1272,8	16,6	16,9

Символ (-) означает ноль или почти ноль

Из таблиц 1.5 и 1.6 видно, что в одних и тех же районах практикуют выращивание ячменя, как с использованием искусственного орошения, так и в условиях естественных осадков. Неорошаемых земель значительно больше, однако, в большинстве регионов средняя урожайность ячменя значительно выше при возделывании культуры с искусственным поливом.

Таблица 1.6 – Показатели производства ячменя на орошаемых землях по регионам в 2019 году

Провинции	Посевная площадь, тыс. га				Валовый сбор, тыс. тонн	Средняя урожайность, ц/га	
	Засеяно	Убрано	Повреждено	Площадь зеленых кормов		На общей площади	На убранной площади
Найнава	0,04	0,04	-	-	0,1	15,5	15,5
Киркук	0,7	0,7	-	-	1,6	23,1	23,1
Дияла	9,1	9,1	-	-	13,9	15,3	15,3
Анбар	0,8	0,6	0,1	0,1	1,0	13,7	17,3
Багдад	2,1	2,0	0,0	0,1	4,8	22,5	24,2
Вавилон	5,9	4,8	-	1,1	9,7	16,3	20,3
Карбела	2,0	1,6	0,0	0,4	2,6	12,8	16,3
Васит	23,1	23,1	-	0,0	36,0	15,6	15,6
Салах адДин	1,9	1,5	0,1	0,3	3,6	18,8	24,1
Наджаф	0,8	0,8	-	0,0	1,6	19,5	19,7
АльКадисия	38,2	38,2	-	-	72,7	19,0	19,0
АльМутина	29,8	29,6	0,2	-	52,1	17,5	17,6
ДхиКар	21,4	21,3	0,0	0,1	29,5	13,8	13,8
Миссан	26,7	10,5	15,5	0,7	16,7	6,2	15,8
АльБасра	0,1	-	-	0,1	-	-	-
Сумма	162,7	143,8	16,0	2,9	245,7	15,1	17,1

Символ (-) означает ноль или почти ноль

Ячмень в основном используется для переработки в крупу и в качестве корма для животных. Превышение потребности Ирака в ячмене в 2019 году составило 900 тыс. тонн. Однако его экспорт существенно ограничен из-за низкого качества зерна. Остается высоким показатель содержания сорных примесей, что связано с несовершенством средств подработки свежесобранного зерна, применяемых в сельхозпредприятиях Ирака. Возникает необходимость модернизации зерноочистительных технологий, в частности триерной очистки зерна и семян ячменя.

1.2 Особенности подработки зерна в Ираке

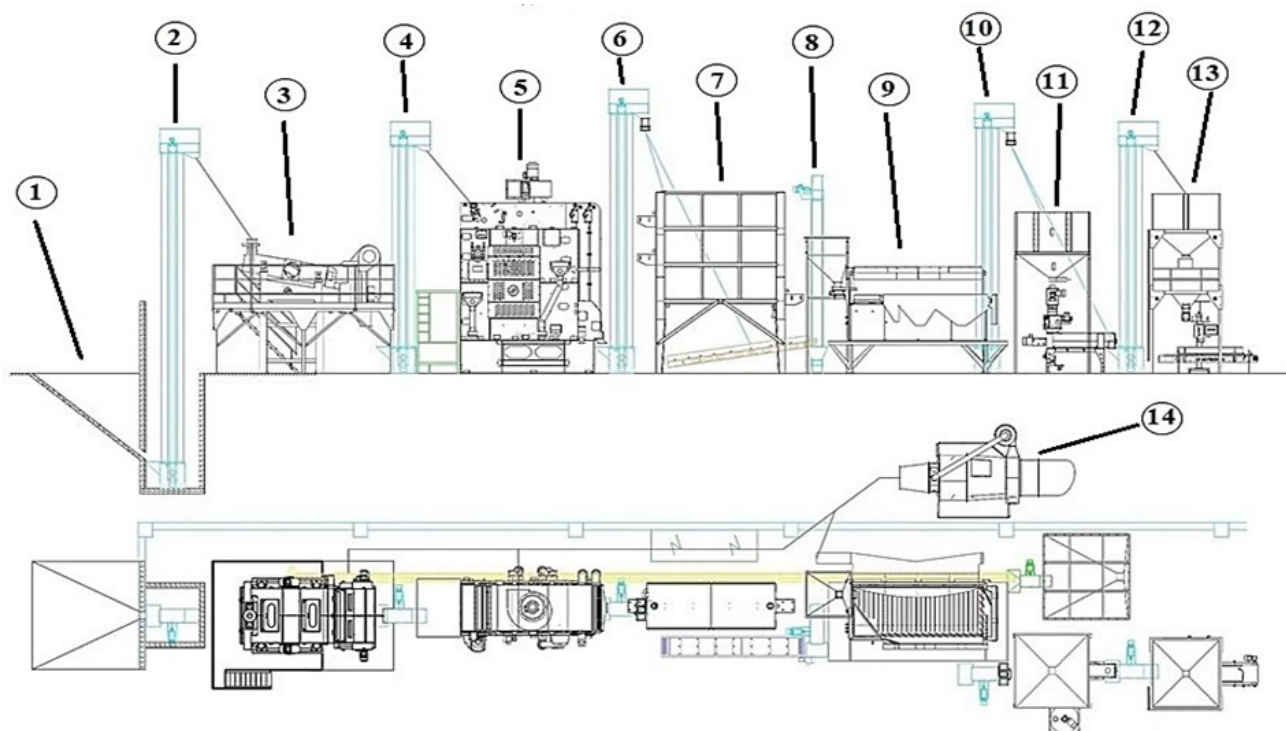
Основными зерновыми культурами, выращиваемыми в Ираке, являются пшеница (около 70 процентов от общего количества) и ячмень (около 20 процен-

тов). Рассматривая специфику применения зерноочистительных машин в республике Ирак необходимо учитывать, что сельское хозяйство этого государства в связи с затяжным военным конфликтом, экономической блокадой и прочими геополитическими событиями последние два десятка лет находится в глубоком кризисе. В связи с этим, модернизация парка сельскохозяйственной техники, в том числе машин для очистки зерна, не проводилась на протяжении длительного периода. Используемая в Ираке техника, в основном, представлена довоенными моделями (выпуска конца 80-х – начала 90-х гг. прошлого века). В связи с этим, существует необходимость замены устаревшей техники более совершенными моделями, зарекомендовавшими себя на мировом рынке.

Собственного производства зерноочистительной техники и оборудования в Ираке нет, поэтому модернизация зерноочистительной отрасли происходит за счет привлечения иностранных технологий. Одна из наиболее распространенных технологий очистки зерна, внедряемых в Ираке в настоящее время, представляет собой линии очистки зерна от турецкой компании Akuirek Technology. Оборудование этой фирмы используется зерноочистительными заводами с различными производственными мощностями. Весь процесс очистки зерна можно разделить на три этапа в зависимости от цели, для которой будет использовано зерно: предварительная очистки зерна, первичная очистки зерна, вторичная очистки зерна. Эти этапы включают в себя различные методы и способы очистки зерна.

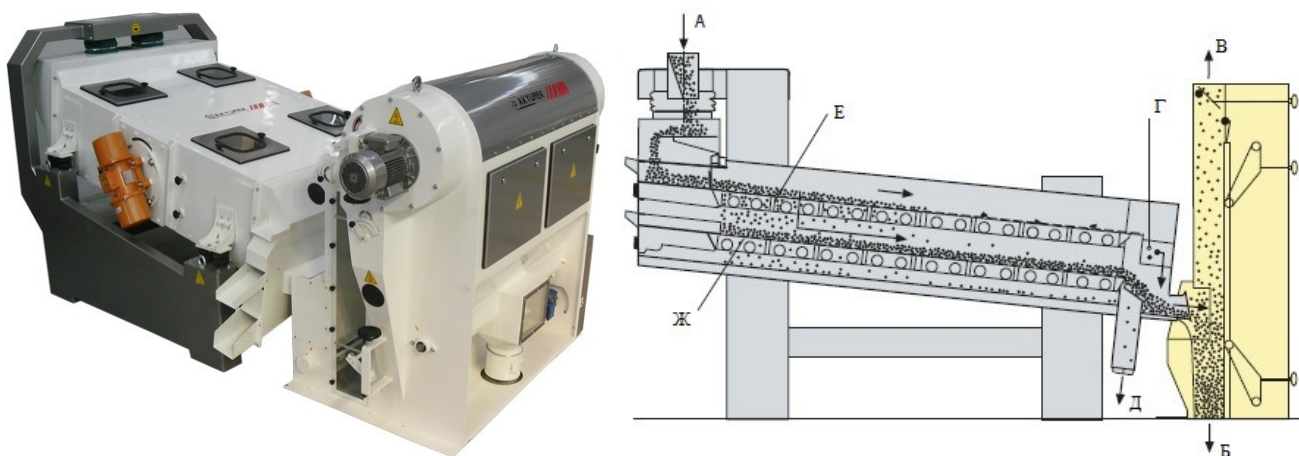
На рисунке 1.4 показаны технологические этапы линии очистки семян от компании Akuirek производительностью 10 т/ч, от приема зерна до упаковки в мешки для хранения.

Зерновой ворох, поступающий с поля, выгружается в завальную яму 1 (рисунок 1.4), что является первым шагом в очистительных линиях. После этого зерносмесь с помощью зерновой норрии 2 подается в сепаратор виброситовой C.SAS-013, который отделяет крупные примеси, камни и стебли растений, попавшие в зерновой ворох. Общий вид вибрационного сепаратора и его конструктивно-технологическая схема представлены на рисунке 1.5.



1 – загрузочная яма, 2 – нория зерновая (зерновой элеватор), 3 – сепаратор виброситовой C.SAS-013 + аспиратор с рециркуляцией воздуха, 4 – нория зерновая, 5 – очиститель (excell 208 turbo fine cleaner), 6 – нория зерновая, 7 – триерный блок, 8 – нория зерновая, 9 – гравитационный сепаратор, 10 – нория зерновая, 11 – машина для химической обработки STL022, 12 – нория зерновая, 13 – электронный блок упаковки, 14 – цикло (пылеулавливающий блок)

Рисунок 1.4 – Схема линии очистки зерна компании Акюрек



А – ввод зерносмеси, Б – выход зерносмеси, В – подключение аспирации, Г – выходной лоток примеси увеличенного размера, Д – выходной лоток примеси меньшего размера, Е – экран большого размера (верхние сита), Ж – экран меньшего размера (нижние сита)

Рисунок 1.5 – Вибрационный сепаратор C.SAS-013 и аспиратор с рециркуляцией воздуха APA-150

Сепаратор представляет собой машину предварительной очистки и состоит

из камнеуловителя, двух уровней решет, отделяющих крупные и мелкие примеси, и аспиратора с рециркуляцией воздуха для отделения основной части легких примесей.

После этого зерновой материал с помощью нории 4 загружается в многоуровневую воздушно-решетную зерноочистительную машину первичной очистки «Excell 208 turbo fine cleaner» 5, которая содержит 8 решет общей площадью 24м², рисунок 1.6.

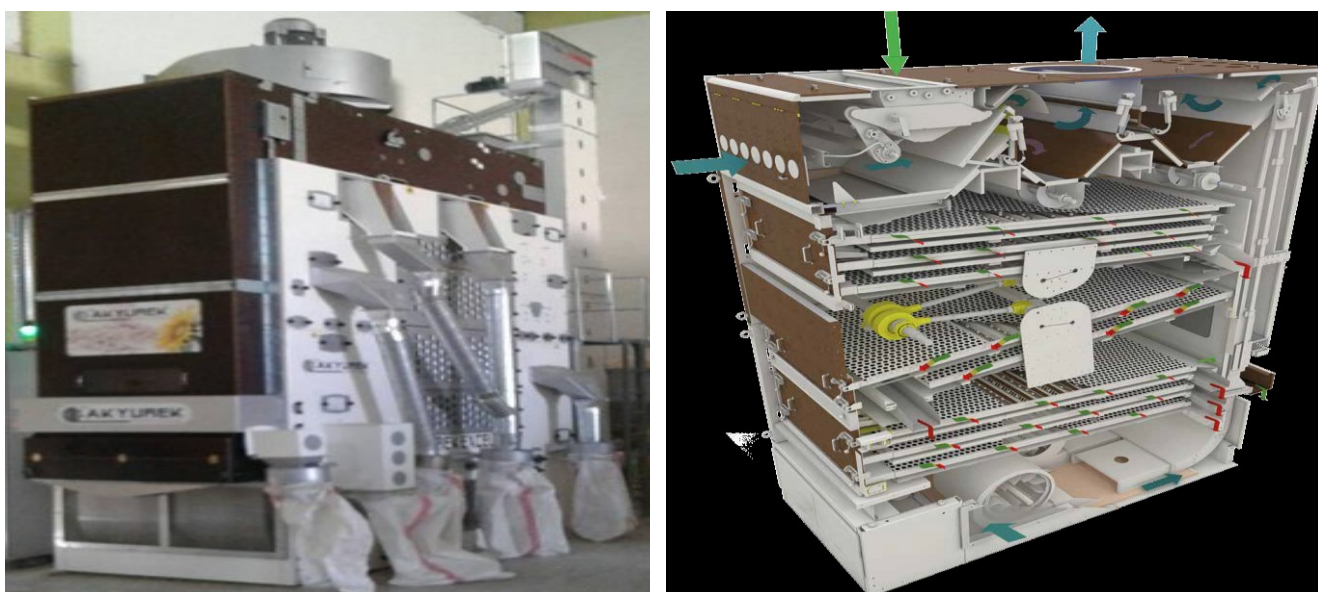


Рисунок 1.6 – Excell 208 turbo fine cleaner

Машина выполнена в закрытом корпусе и имеет систему аспирации, содержащую один вытяжной вентилятор в верхней части машины и два напорных вентилятора снизу. Качество пневмосепарации и решетной очистки зерносмеси регулируется скоростью вращения вентиляторов и величиной подачи зерна в машину.

На выходе из «Excell 208 turbo fine cleaner» зерно получается достаточно чистым, но еще содержит помимо основной культуры трудноотделимые примеси. Это короткие и длинные сорные примеси, колотые и щуплые зерна основной культуры.

Для их выделения зерносмесь подается норией 6 (рисунок 1.4) на триерный блок 7, общий вид и принцип работы которого представлены на рисунке 1.7.

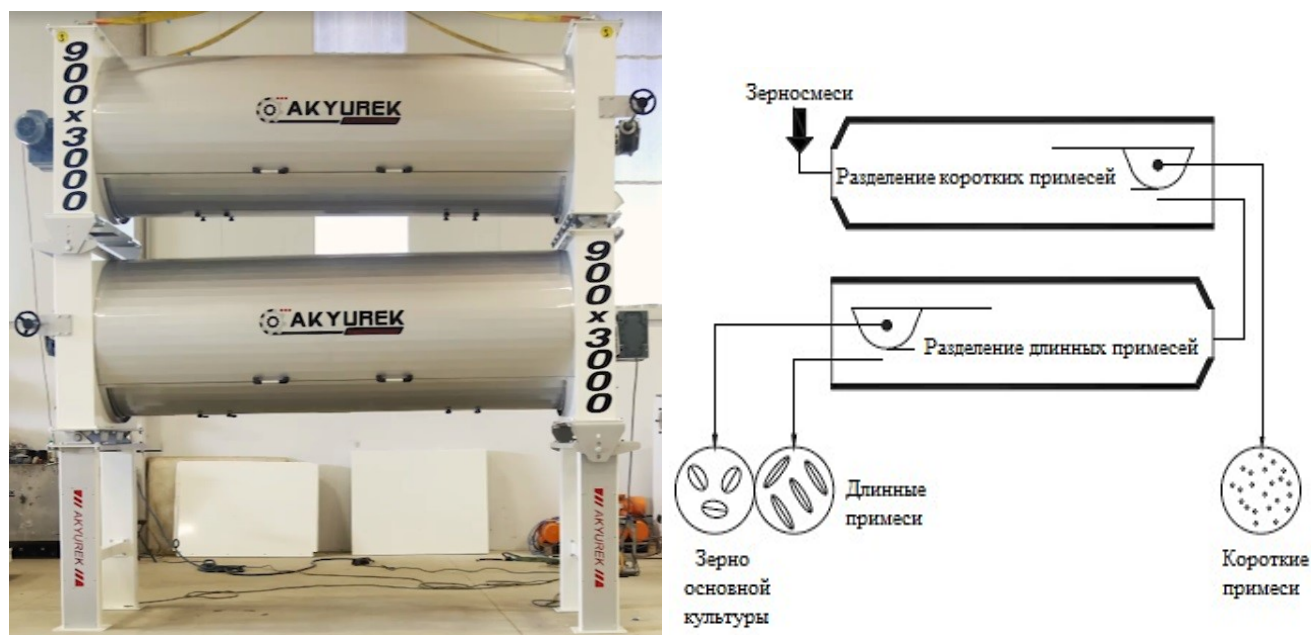


Рисунок 1.7 – Триер ICSLS10020

Триерный блок ICSLS10020 содержит два ячеистых цилиндра, расположенных один над другим. Сверху находится кукольный триерный цилиндр для выделения коротких примесей, снизу – овсюжный цилиндр, выделяющий в приемный желоб основную культуру, очищая ее от длинных примесей, которые сходом выводятся из цилиндра. Управление качеством триерной очистки осуществляется регулировкой скорости вращения цилиндров, углового положения приемного желоба и величины подачи зерносмеси.

После триерной очистки зерносмесь подается норией 8 (рисунок 1.4) на гравитационный сепаратор 9, который используется для разделения зерносмесей одинакового размера в зависимости от плотности.

Триерная и гравитационная очистка применяются при подготовке семян, что позволяет обеспечить их высокие показатели по чистоте и всхожести. После этого нория 10 (рисунок 1.4) подает семена в машину для химической обработки STL022 и далее на электронно управляемый блок упаковки.

Упаковка семян производится в мешки массой от 5 до 50 кг в зависимости от вида семян, после чего они отправляются на хранение.

Для исключения вредного воздействия пыли на обслуживающий персонал все технологические машины подключены к циклону 14 (рисунок 1.4) единой си-

стемы аспирации с помощью герметичных металлических труб.

1.3 Способы очистки зерна и этапы развития зерноочистительной техники

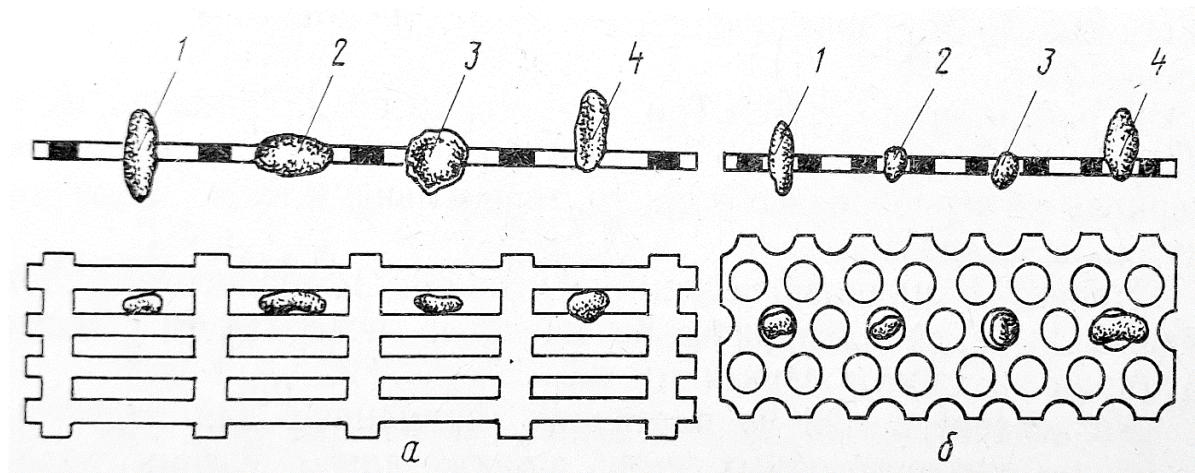
Зерновой ворох после уборки представляет собой поликомпонентную смесь, которая состоит из семян основной культуры, семян посторонних культурных и сорных растений и сорных примесей органического и минерального происхождения. Семена основной культуры могут содержать здоровые семена, поврежденные, щуплые или пустые, семена в пленках. Неполюценные зерна основной культуры и зерна других культур относят к зерновой примеси. К сорной примеси относятся комочки земли, галька, частицы руды и шлака, части стеблей, ости, пленки, части листьев, семена дикорастущих (сорных) растений, вредная примесь. Сорная примесь, особенно органического происхождения, является благоприятной средой для размножения вредных микроорганизмов, что приводит к преждевременной порче зерна при его хранении. Поэтому свежесобранный зерновой ворох необходимо сразу подвергать послеуборочной очистке и сушке в случае повышенной влажности. От остаточного содержания сорной, зерновой, трудноотделимой примеси зависит качество получаемой продукции, определяющее ее цену реализации: класс для продовольственного зерна и категория качества для посевного материала, регламентируемые государственными стандартами [36, 31, 34, 35].

Отделение примесных частиц из зернового вороха основано на разнице их физико-механических свойств с зерновками основной культуры. Этот принцип является основой работы разных зерноочистительных машин, разделяющих компоненты по признакам разницы аэродинамических свойств частиц, их размеров, формы, свойств поверхности, плотности, электрическим свойствам [45, 59, 62, 125]

Отделение примесей с помощью воздушного потока возможно в случае разницы аэродинамических свойств частиц основной культуры и легких примесей,

которые характеризуются скоростью витания, при которой частица находится во взвешенном состоянии внутри восходящего воздушного потока. Принцип работы зерноочистительных машин, разделяющих компоненты зерносмеси по аэродинамическим свойствам основан на помещении зерносмеси в вертикальный, наклонный или горизонтальный воздушный поток и сбор фракций зернового материала в разных местах в зависимости от их свойств. Этот принцип используется при очистке зерна в воздушной части всех воздушно-решетных машинах, в пневмосепараторах типа БПС производительностью от 1,5 до 10 т/ч, САД-10, САД-30, МС-50/30 «Алмаз», ПСПБ-10, АЛМА 5-50 и др.

На основе разницы поперечных размеров зерновок отделяют примеси с помощью решет, рисунок 1.8 [59].



а – решета с продолговатыми отверстиями, б – решета с круглыми отверстиями;
1, 2, 3 – семена проходят сквозь отверстия решета; 4 – семена не проходят сквозь отверстия решета

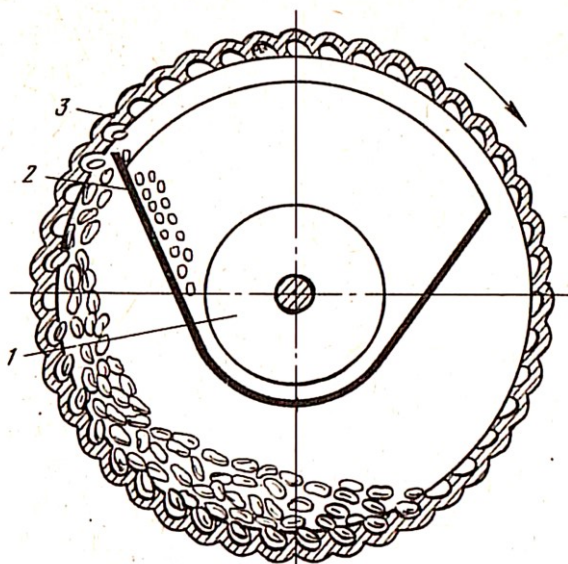
Рисунок 1.8 – Разделение семян на решетках

Для разделения частиц по толщине (наименьший размер зерновки) применяются решета, имеющие продолговатые отверстия. Для разделения компонентов по ширине частиц (большой поперечный размер) предназначены решета с круглыми отверстиями.

Воздушно-решетные зерноочистительные машины, совмещающие в себе способы отделения примесных компонентов по разнице аэродинамических свойств и поперечных размеров частиц зерносмесей, составляют основу практически всех зерноочистительных технологий. При отсутствии в зерновом ворохе

трудноотделимых сорных примесей эти машины обеспечивают доведение зерна до кондиции по засоренности, предъявляемых к продовольственному зерну. В составе зерноочистительных агрегатов в сельхозпредприятиях наибольшие применение получили воздушно-решетные машины российского (МЗС-25М, ЗВС-20М, ОВС-25С, СВУ60-250, СВП-150-200, СВТ-40, МУЗ-16 и др.) и зарубежного (Petkus К 218, К 531, К 547 и др.) производства.

Разделить компоненты зерносмеси, различающиеся длиной частиц можно с помощью вращающихся ячеистых поверхностей. Для реализации этого способа очистки предназначены зерноочистительные машины – триеры. Существует несколько видов конструкций триеров: цилиндрические, дисковые, лопастные, ленточные, винтовые. В условиях сельхозтоваропроизводителей в технологиях послеуборочной подработки зерна, а также на семяобработывающих заводах, мельзаводах, крупозаводах, элеваторах, применяются цилиндрические и значительно реже дисковые триеры. Другие виды триеров не получили распространения. Принцип работы цилиндрического триера поясняется рисунком 1.9.



1 – шнек, 2 – выводной желоб, 3 – ячеистый цилиндр

Рисунок 1.9 – Схема работы цилиндрического триера

Зерносмесь подается внутрь вращающегося ячеистого цилиндра. Зерновки, имеющие длину меньшую или сопоставимую с диаметром ячейки, западают в нее и поднимаются вращающимся цилиндром на некоторый угол. В некоторый мо-

мент движения происходит уравнивание сил инерции и силы тяжести, действующих на зерновку, и она выпадает из ячейки в выводной желоб, после чего шнеком выгружается из цилиндра.

Длинные частицы, имеющие размеры, превышающие диаметр ячейки, не могут занять в ней устойчивого положения и выпадают из нее раньше коротких частиц. При этом длинные частицы не попадают в желоб, а возвращаются в циркулирующий сегмент зерносмеси на дне цилиндра и выводятся из него сходом. Триер, в котором выполняется технологический процесс очистки основной культуры от коротких семян сорных растений и колотых зерен, называется кукольным. Триер, в котором зерно или семена основной культуры очищаются от длинных семян сорных растений и других длинных примесей называется овсюжным. В кукольном триере ячейками захватываются и выносятся в приемный желоб частицы коротких примесей, а в овсюжном – зерновки основной культуры.

Российскими производителями зерноочистительного оборудования выпускаются триерные блоки ПТ-600, ЗАВ-10.90.000 А, ТБ-6-1, БТМ-800-8, БТО-800-16, Р1-ББТ-700-16, БТЦ-700, СТ-8/12/20. Наиболее известные зарубежные производители триеров и триерных блоков: немецкая фирма «PETKUS», австрийская «Cimbria» и турецкая «AKY Technology», выпускают широкие типоразмерные ряды триеров.

Для разделения зерносмесей по плотности частиц применяют пневмосортировальные столы, которые состоят из вибростола с возможностью регулировки наклона его плоскости в продольном и поперечном направлениях, и вентиляторов, создающих воздушный поток для получения псевдооживленного слоя зерна, перемещаемого по вибростолу. Примерами серийных пневмосортировальных столов являются А1-БЗК-9, СП-120, СП-200.

Для разделения компонентов зерносмесей, имеющих схожие свойства, но различающиеся формой (например, круглые и овальные семена) применяются винтовые горки или змейки.

Одним из перспективных направлений развития зерноочистительной техники является разделение зерносмесей по цветовым свойствам частиц их компонен-

тов с помощью фотосепараторов. Согласно информации производителей оптических сепараторов, чистота продукта после его обработки фотосепаратором может достигать 99,9%. Однако существенные потери полноценного зерна основной культуры и жесткие требования к микроклимату в рабочем помещении для фотосепараторов по запыленности и освещению существенно ограничивают их применение в составе зерноочистительных технологий, особенно в условиях сельхозпредприятий.

История сельскохозяйственного машиностроения насчитывает более 200 лет. Сельскохозяйственные машины развивались от простого инвентаря (такого, как деревянные веялки с ручным приводом) до сложных агрегатов и комплексов, для разработки которых потребовалось проведение серьезных научных исследований. Многие выдающиеся учёные посвятили свои труды исследованию вопросов совершенствования сельскохозяйственных машин, используемых для обработки зерна. Назначение техники для очистки зерна – сортировка, калибровка и очистка от примесей. Современные агрегаты способны проводить все операции с наименьшими потерями и в результате позволяют получать правильно отобранное зерно. Главная задача процесса зерноочистки – получить зерно с высокой ценностью и хорошими вкусовыми характеристиками.

Для подготовки представленной работы было проанализировано значительное количество литературы, в том числе периодических изданий, по проблематике промышленной обработки зерна, изданной как современными авторами, так и основоположниками указанного научного направления. При раскрытии темы использованы работы как российских, так и зарубежных авторов. Значительный вклад в развитие сельскохозяйственного машиностроения внесли российские ученые и конструкторы.

Москва по праву считается колыбелью создания сельскохозяйственных машин – там оборудование для обработки зерна начали изготавливать еще в 1802 году. Научные основы разработки сельскохозяйственной техники изложены В.П. Горячкиным (1868-1935) в его фундаментальном труде «Земледельческая механика», в котором им были успешно применены механо-математические законы [27].

Размер семян дает урожай и агрономические преимущества по сравнению с использованием несортированных семенных материалов. При увеличении размера семян наблюдалось явное увеличение массы семян. Масса семян оказывает положительное влияние на процент всхожести, силу роста и урожайность.

Развитие зерноочистительной техники включает несколько основных этапов.

Первый этап (1930-1950 г). Благодаря созданию в 1930 году НИИ механизации сельского хозяйства, включающего лабораторию механизации зерноочистки, началась эволюция сельскохозяйственных машин от самых простых (веялок - сортировок) до сложных передвижных зерноочистительных агрегатов «ВИМ», которые использовались в различных ее модификациях до 60-х годов [16].

Основные способы очистки и сортировки многих сельскохозяйственных культур были обоснованы Г.Т. Павловским, И.Г. Вороновым, И.Е. Кожуховским, П.П. и Колышевым, что позволило значительно повысить эффективность зерноочистительных машин, получать более качественный продукт. Результаты исследований этих выдающихся ученых изложены в книге «Очистка и сортирование семян» [24].

Вторым этапом развития зерноочистительных машин (1960-1990 гг.) стал переход к поточной технологии очистки зерна. Именно в это время были разработаны триерные блоки производительностью 5-20 т/ч.

На данном этапе большой вклад в развитие технологий очистки зерна внесли такие учёные, как: И.Е. Кожуховский – создал методы проектирования и расчета основных рабочих элементов триеров; А.С. Матвеев – предложил основные принципы разделения семян в воздушном потоке; В.П. Елизаров – оптимизировал основные технологические параметры зернообрабатывающих комплексов; А.Н. Зюлин, работы которого обеспечили возможность создания высокоточного сортировщика [16].

Написанные в период 1969-1977 годов работы изобретателя, профессора, доктора технических наук, автора многих патентов Н.А. Урханова [139, 142, 141, 138, 1] посвящены поиску возможностей повышения производительности трие-

ров. Усилия ученых в данном направлении нацелены на изыскание способов интенсификации триерной очистки путем совершенствования конструкции ячеистых поверхностей триеров. Обзор работ показывает, что повышение производительности триеров достигается в основном двумя путями: первый – улучшение конструкции ячеек, которые обеспечивают увеличение коэффициента использования ячеистой поверхности и улучшение технологии разделения зерна в триере; второй – создание конструкции рабочего органа, обеспечивающего увеличение скорости движения рабочей поверхности и повышение производительности триера.

В своих работах Н.А. Урханов всесторонне изучает вопросы об эффективности использования триерной поверхности, проблемы повышения производительности цилиндрического триера, повышения производительности рабочего органа дискового триера, условия, обеспечивающие технологический процесс в пластинчатом триере и многие другие важные моменты, обеспечивающие возможность повышения производительности триеров.

Автор установил, что изменение конструкции ячейки позволяет значительно повышать производительность триеров без существенного изменения их конструкции, а также, что хотя конструкции быстроходных триеров несколько сложнее существующих и требуют проведения дополнительных исследований, перспективность их применения подтверждается возможностями повышения производительности.

Немаловажной работой второго этапа развития сельскохозяйственного машиностроения стала также книга авторов Н.И. Кленина, В.А. Сакун, изданная в 1980 г. [47]. В книге рассмотрены вопросы производительности триерного устройства, определяемой по допустимой подаче массы на единицу площади ячеистой поверхности или коэффициентом заполнения ячеек, вопросы определения результативности работы, оцениваемой по скорости выделения примесей и изменению ее по длине устройства.

Третий этап (1990-2005 гг.) ознаменован переходом от общей технологии к новому поколению зерно-семяочистительных машин. Развитие экономики и част-

ного производства привело к тому, что разным по условиям производства и хранения продукции, трудовым ресурсам, материальной обеспеченности хозяйствующим субъектам потребовались разные технологии и технические устройства, что в свою очередь потребовало принципиально новых технических решений.

В этот период создана первая машина гравитационного (бесприводного) типа, СГЗ-25, производительностью 25 т/ч, предназначенная для предварительной очистки семян, а с 2000 года начал выпускаться модернизированный гравитационный очиститель ЗГ-25, а с 2003 г. – ЗГМ-20 с более развитой пневмосистемой, меньшими габаритами и массой. С 2002 года начато производство пневмосортировальных машин (ПСМ), предназначенных для окончательной очистки семян, а в 2004 году поставлена на производство принципиально новая машина для вторичной очистки семян – СМВО-10, которая сочетает в себе гравитационную колонку и четырехканальный пневмосепаратор [16].

Многие иностранные исследователи посвятили этой теме свои работы. В частности, в работе американских авторов М.В. McDonald и L.O. Copeland, [151] затронуты такие темы, как адаптация и контроль качества. Целью адаптации ученые называют удаление инертных веществ, сорняков и других сельскохозяйственных культур, а также улучшение качества и внешнего вида. Контроль качества включает в себя отбор проб, тестирование семян, что позволяет обеспечить качество семян на протяжении всей производственной программы и является ключом к получению высококачественных и продуктивных культур.

Этапы развития зерноочистительной техники подробно рассмотрены докторами технических наук В.И. Анискиным и А.Н. Зюлиным [16].

Современный этап (после 2005 г.) характеризуется большим количеством исследований и разнообразием литературы на тему развития и совершенствования технологий обработки и очистки зерна, возросшим интересом к этому вопросу во всём мире. Производство зерна является важнейшим направлением агротехнического комплекса, поскольку влияет на снабжение населения продовольствием, а также развитие кормовых ресурсов для нескольких отраслей агропромышленного комплекса [147, 153].

1.4 Анализ исследований физико-механических свойств сыпучих материалов

Объективная и детальная оценка физико-механических свойств рабочих сред имеет важное значение для толкования сущности исследуемых процессов и выработки практических решений. Кроме того, результаты исследований, имеющие некоторую универсальность и долговременность использования, должны быть «привязаны» к объективно оцененным свойствам рабочей среды. Без этого нельзя решать задачи проектирования технологий. При проектировании и модернизации зерноочистительных технологий основным лимитирующим параметром является технологическая высота. Она связана со свойствами рабочей среды и важна с экономической точки зрения, так как необоснованное завышение технологической высоты зерноочистительного комплекса пропорционально увеличивает его стоимость. В то же время, необоснованное занижение проектной высоты связано с рисками снижения технологической надежности оборудования и даже рисками потери работоспособности.

Анализ существующих возможностей приборного контроля угла естественного контроля сыпучих материалов показывает следующее:

- в большинстве случаев при определении угла естественного откоса сыпучих материалов формируется контрольная физическая модель в виде насыпного конуса [41], рисунок 1.10, [6];

- во всех случаях при формировании насыпного конуса не контролируется и не оговаривается динамика насыпания исследуемого материала, которая существенно влияет на результаты замеров;

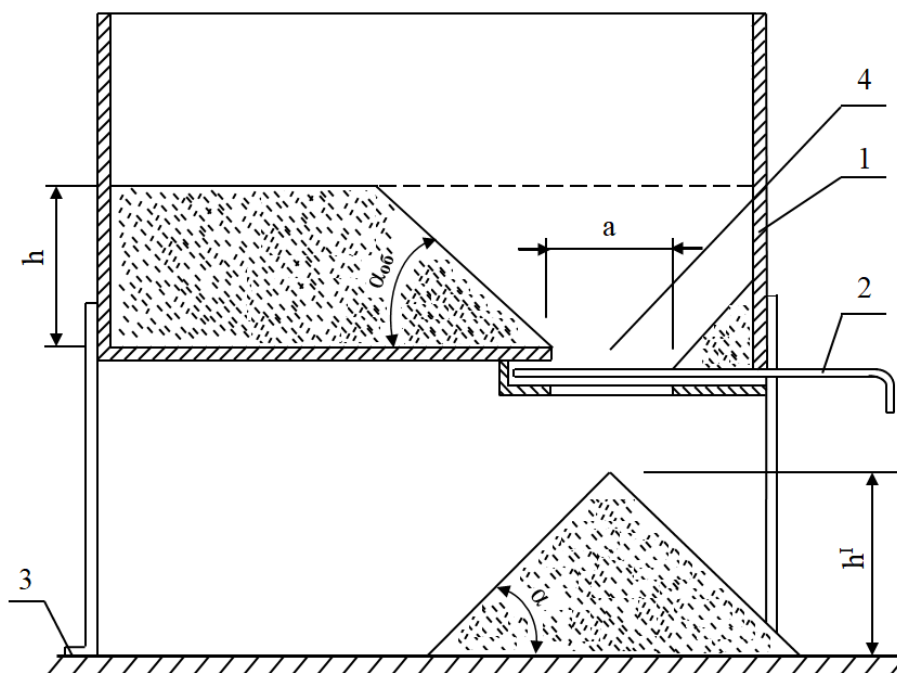
- угол естественного откоса определяют по-разному, включая замер наклона образующей конуса, замеры основания и высоты насыпного конуса с последующим расчётом угла естественного откоса и др.;

- форма насыпного конуса идеализируется, не учитываются и не оговариваются свойства материала, форма частиц, свойства опорной поверхности;

- вершина насыпного конуса при динамическом воздействии финишными порциями исследуемого материала может смещаться и «проседать», нарушая (ис-

кривляя) форму образующих;

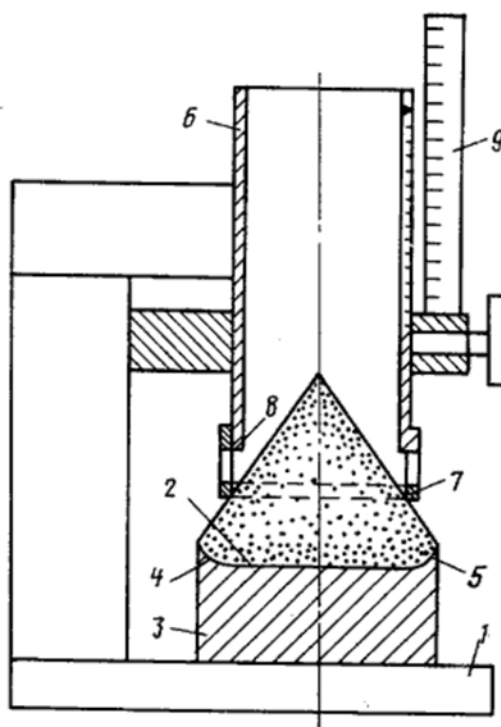
– частицы обширного перечня сыпучих материалов могут раскатываться по опорной поверхности, превращая контур вертикального осевого сечения «конуса» в синусоиду. К таким материалам относятся исследуемые нами примесные компоненты – семена сорго, горчицы, вики и др.



1 – ящик; 2 – задвижка; 3 – опорная плоскость; 4 – прорезь

Рисунок 1.10 – Прибор для определения углов обрушения и естественного откоса

– измерения параметров конуса коаксиальным цилиндром, сопряженным с полый цилиндрической емкостью для сыпучего материала (по А.С. СССР №1226000 [2]) не обеспечивают объективной оценки угла естественного откоса. Коаксиальный цилиндр будет касаться только одной образующей конуса, другие в результате локальных лавинок будут иметь разные углы наклона к горизонту, рисунок 1.11.



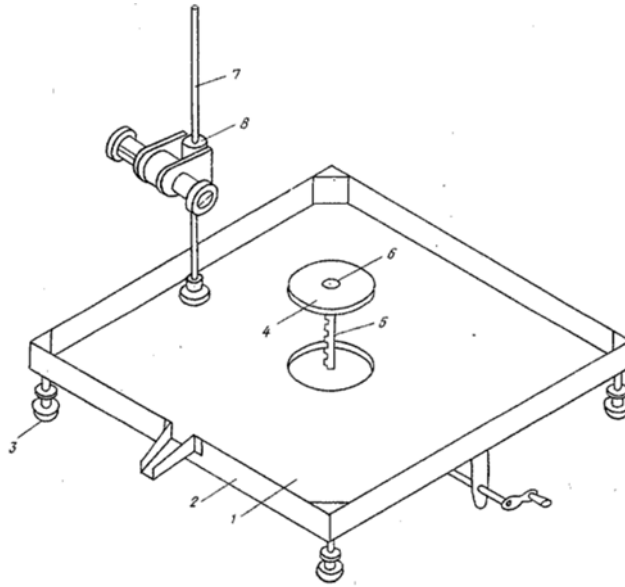
1 – корпус; 2 – основание тарельчатой формы; 3 – диск; 4 – буртик; 5 – фаска;
6 – полый цилиндр; 7 – кольцо; 8 – торец цилиндра; 9 – шкала

Рисунок 1.11 – Устройство для определения углов естественного откоса сыпучих материалов (А.С. СССР №1226000 [2])

– ограничения раскатыванию частиц по опорной плоскости кольцом или буртиком не снимает проблему воспроизводимости идентичных условий замеров из-за неконтролируемой динамики формирования насыпного конуса. Насыпание конуса из емкости через край не обеспечивает стабильности динамики процесса (все кто заполнял перечницу - знает об этом), а стабильность насыпания конуса из емкости через калиброванное отверстие дискредитируется сводообразованием (А.С. СССР №№ 1295201[3], 697792 [9]);

– измерение угла естественного откоса способом подъема платформы, размещенной под слоем исследуемого материала (А.С. СССР № 615353), производится винтовым механизмом, рисунок 1.12. Он не обеспечивает идентичности формирования контролируемого монолита в сравнении с насыпанием материала на опорную поверхность. Подъем платформой слоя тонкодисперсного материала, обладающего высокой гигроскопичностью (мел, горчичный порошок, молотый перец и др.), может формировать по ее периметру отвесные стенки, которые ис-

ключаются при насыпании из емкости того же материала на опорную поверхность.



1 – плоскость; 2 – буртик; 3 – регулируемая опора; 4 – столик; 5 – рейка; 6 – уровень;
7 – кронштейн; 8 – угломер

Рисунок 1.12 – Прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала (А.С. СССР №615353 [8])

К основным свойствам измерительных приборов следует отнести: точность измерений; трудоемкость измерительных работ; стоимость прибора; универсальность относительно контролируемых сред (объектов); надежность в работе. Указанные качества измерительной техники во многом обеспечиваются рациональным способом измерений, техническим уровнем ее изготовления и возможностью воспроизведения идентичных условий замеров независимо от свойств контролируемых средств (объектов).

Однако, существующие приборы для измерения угла естественного откоса сыпучих материалов не в полной мере обладают указанными качествами и не обеспечивают сопоставимости оценок одних и тех же материалов по этому важнейшему показателю. Более того, по патентным материалам и описаниям приборов в литературных источниках в большинстве случаев бывает сложно оценить их возможности применительно к конкретной рабочей среде.

На рисунке 1.10 представлен прибор для определения углов обрушения и

естественного откоса сыпучих материалов, представленный в основополагающей работе [41] по механике насыпных грузов. Вместе с тем принцип действия упомянутого прибора не вселяет уверенность в возможность воспроизведения условий замеров и его универсальность относительно свойств контролируемых сыпучих материалов.

Величина слоя h в ящике 1 не регламентирована, а размеры прорези 4 (см. рисунок 1.10) требуют обоснованной корректировки применительно к физико-механическим свойствам, гранулометрическому составу и форме частиц каждого контролируемого сыпучего материала. Для материалов с крупными частицами или с частицами, обладающими связностью, необходимы большие размеры прорези 4 с тем, чтобы обеспечить стабильность истечения (без сводообразования). Легкосыпучие материалы не требуют значительных размеров прорези 4 – стабильность их истечения более вероятна. Однако при разных параметрах прорези 4 и величинах слоя материала h в ящике 1 на формируемых конус будет оказываться различное динамическое воздействие выгружаемого из ящика 1 материала.

Кроме того, качество опорной плоскости 3 и свойства материала, из которого она изготовлена, не определены. Это также не соответствует одному из основных требований к приборам – воспроизводимости условий проведения замеров. Нижний слой сыпучего материала с частицами округлой или эллипсоидной формы будет раскатываться по гладкой опорной плоскости, искажая «конусную» форму насыпного монолита. Это исключает применимость прибора для объективного контроля угла естественного откоса с частицами подобной формы.

На рисунке 1.11 представлено устройство по авторскому свидетельству СССР №1226000 [2]. В этом устройстве опорная поверхность выполнена в виде тарелки с буртиком по периферии, который предотвращает раскатывание частиц округлой формы из нижних слоев под давлением верхних слоев формируемого конуса из контролируемого материала.

Однако, способ измерений параметров конусного монолита исследуемого материала с использованием устройства [2] предполагает его строго симметричное размещение относительно полого цилиндра 6 и соосного ему кольца 7. Вместе

с тем сыпучие материалы, содержащие асимметричные частицы или частицы разных форм и размеров не позволяют сформировать предложенным способом (подъемом полого цилиндра 6) идеальную форму конусного монолита. При осыпании таких частиц по различным образующим конуса с эффектом локальных лавинок они будут вносить вариативность в их угловое положение относительно горизонта.

Поэтому кольцо 7 будет соприкасаться в первую очередь с образующей, имеющей меньший угол наклона к горизонту. Этот замер будет отражать локальные условия формирования конусного монолита, что занижает реальное значение угла естественного откоса полидисперсных сыпучих материалов с частицами разных форм. Из-за этих недостатков устройство [2] ограничено в применении. Необходим прибор, который бы позволял производить множественные измерения образующих конусного монолита для последующего их усреднения расчетным путем.

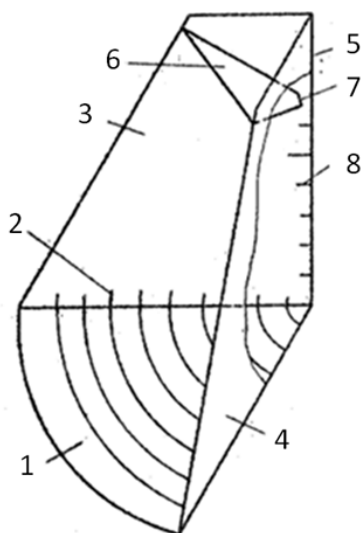
На рисунке 1.12 показан прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала по авторскому свидетельству СССР №615353 [8]. Принцип его действия также основан на измерении угла наклона образующих конусного монолита к горизонту. Отличие состоит в том, что конусный монолит формируется подъемом круглого столика 4, находящегося под слоем исследуемого сыпучего материала на горизонтальной плоскости 1 с буртиком 2 по периферии.

Прибор [8] имеет ряд весьма существенных недостатков. Во-первых, на круглом столике 4 не могут удерживаться частицы округлой и эллипсоидной формы. Из-за этого невозможно сформировать монолит сыпучего материала конусной формы. Во-вторых, при исследовании тонкодисперсных сыпучих материалов (порошковый мел, горчичный порошок, молотый перец и др.), обладающих существенной гигроскопичностью, они в слое на горизонтальной плоскости 1 быстро приобретают свойство связности. По этой причине последующий подъем круглого столика 4 рейкой 5 не позволит сформировать на его поверхности монолит материала конусной формы. При достаточной связанности частиц указанных материалов стенки монолита на поднятом столике 4 могут оказаться вертикаль-

ными, что подчеркивает принципиальную разницу способов его формирования – насыпанием, подъемом слоя, выдавливанием из зон переуплотнения. В последних двух случаях наиболее вероятно образование вертикальных стенок, чего не может быть при насыпании монолита сыпучих материалов. Кроме того, угломер 8 в приборе [8] зафиксирован на плоскости 1 и не позволяет производить множественные замеры углов наклона к горизонту скатных поверхностей монолита исследуемого материала, сформированного на столике 4.

Анализ указанных недостатков прибора [8] показывает, что его применение ограничено по физико-механическим свойствам исследуемых сыпучих материалов и достоверности оценок угла их естественного откоса. Недостатки приборов [41, 2, 8], состоящие в ограниченной применимости относительно физико-механических свойств и состав сыпучих материалов, неопределенности качества и состояния материалов опорных поверхностей, ограниченной воспроизводимости идентичных условий формирования конусного монолита исследуемого материала и проведения замеров, характерны и для приборов [3, 9].

Принципиальными отличиями от приборов [41, 2, 8, 3, 9] обладает устройство по авторскому свидетельству СССР №1401250 [5], представленное на рисунке 1.13.



- 1 – секторная опорная поверхность; 2 – школа; 3, 4 – вертикальные перегородки; 5 – ребро;
6 – трапециевидальная пластина; 7 – отверстие; 8 – вертикальная шкала

Рисунок 1.13 – Устройство для определения угла естественного откоса сыпучих материалов (А.С. СССР №1401250 [5])

Это устройство обладает простотой конструкции и малой трудоемкостью измерений, так как содержит встроенную вертикальную измерительную шкалу и радиальную разметку на опорной поверхности (сектор 1). Кроме того, устройство обеспечивает некоторую регламентацию формирования контролируемого (измеряемого) монолита сыпучего материала в форме части кругового конуса, находящегося между перегородками 3 и 4. Это достигается посредством трапецеидальной пластины 6, образующей с перегородками 3 и 4 наклонную воронку с отверстием 7.

Однако, устройство [5] также содержит ряд существенных недостатков. Качество и состав материала секторной опорной поверхности не определены. Ограничивающий раскатывание частиц исследуемого материала по опорной поверхности 1 буртик отсутствует. Отверстие 7 обеспечивает регламентацию формирования части кругового сектора только при исследовании тонкодисперсных легкосыпучих материалов. При исследовании полидисперсных сред над отверстием 7 возможно образование сводов, что исключает какую-либо регламентацию условий замеров, а увеличение размеров отверстия 7 приведет к смещению оси конуса (смещению начала отсчета по шкале 2). Вертикальные перегородки вносят погрешность в процессе формирования монолита исследуемого материала за счет пристанных эффектов.

1.5 Анализ исследований процессов триерной очистки зерна

Конструкция триера в виде вращающегося цилиндра с ячейками на внутренней поверхности была разработана еще в середине 19 века. Однако первые триеры были тихоходными, громоздкими, имели низкую производительность, и применялись они крайне редко [124, 49, 23, 48]. Наряду с низкой производительностью цилиндрических триеров существенной проблемой являлось сложность технологии изготовления ячеистых цилиндров. При их сворачивании искажались форма и размеры ячеек. Над решением этих двух задач работали многие ученые в

20 веке [21, 20, 22, 38, 42, 52, 67, 134, 127, 144, 96, 77].

Теоретические основы процессов разделения компонентов зерносмесей заложены в своих работах Полетаев С.В. [76, 77], Летошнев М.Н. [54, 55, 56, 57, 58], Тиц З.Л. [96], Горячкин В.П. [27], Блох З.Ш. [17].

Привычная нам сегодня конструкция цилиндрического триера, включающая горизонтальный ячеистый цилиндр, соосно размещенный выводной желоб со шнеком и электропривод, обеспечивающий кинематический режим работы триера в диапазоне $k=0,51 - 0,73$, была разработана в 20-х годах прошлого века и не претерпела серьезных изменений. В последствие работы ученых были направлены на совершенствование элементов конструкции триера, его режимов работы и повышение производительности.

Многие ученые посвятили свои работы изучению движения зерна по внутренней поверхности цилиндра, рассматривая зерновку, как материальную точку и принимая при этом ряд допущений [17, 18, 20, 22, 25, 55, 42, 43, 52, 65, 66, 77, 17, 78, 83, 84, 85, 94, 131]. Эти исследования имеют теоретический интерес, вносят вклад в теорию цилиндрического триера, однако далеки от реального процесса, когда частицы зернового материала имеют сложную форму и движутся в циркулирующем потоке.

Достаточно много попыток интенсифицировать работу цилиндрического триера было предпринято за счет совершенствования формы ячеек. Теоретические исследования процессов западания, и выпадения частиц из ячеек были выполнены Полетаевым С.В. [17], Летошневым М.Н. [54, 58], Кожуховским [48], Рассадиным А.А. [84], Урхановым Н.А. [128, 130, 129, 133, 132, 135, 137], Евдокимовым В.Ф. [38], Абидуевым А.А. [12, 13]. Авторами установлены условия захвата частиц ячейками триерного цилиндра с учетом соотношения размеров частицы шарообразной формы и глубины ячейки. Рассадин А.А. установил, что для надежной фиксации частицы в ячейке, последняя должна иметь плавный переход между боковыми поверхностями и дном ячейки.

Урханов Н.А. обосновал преимущества размещения и выпадения зерновок из ячеек продолговатых форм, в результате чего были разработаны новые кон-

струкции ячеек [7, 11, 140, 143].

При исследованиях процесса выпадения авторами рассмотрены случаи, когда при повороте цилиндра на некоторый угол частица выпадает из ячейки путем скольжения, опрокидывания через ее заднюю стенку или смешанного вида. Предложены ряд уравнений, описывающих эти процессы, однако их практическое применение ограничено из-за неоднородности физико-механических свойств зерновок рассматриваемых зерновых материалов.

Были предприняты попытки разработки и исследований конструкций с кинематическим режимом $k > 1$. Их работоспособность достигалась за счет принудительного удаления захваченных частиц из ячеек. В триере, разработанном Сидоровым И.А. [4, 89] короткие частицы удаляются в верхней части цилиндра воздушным потоком, проходящим сквозь отверстия в ячейках, рисунок 1.14.

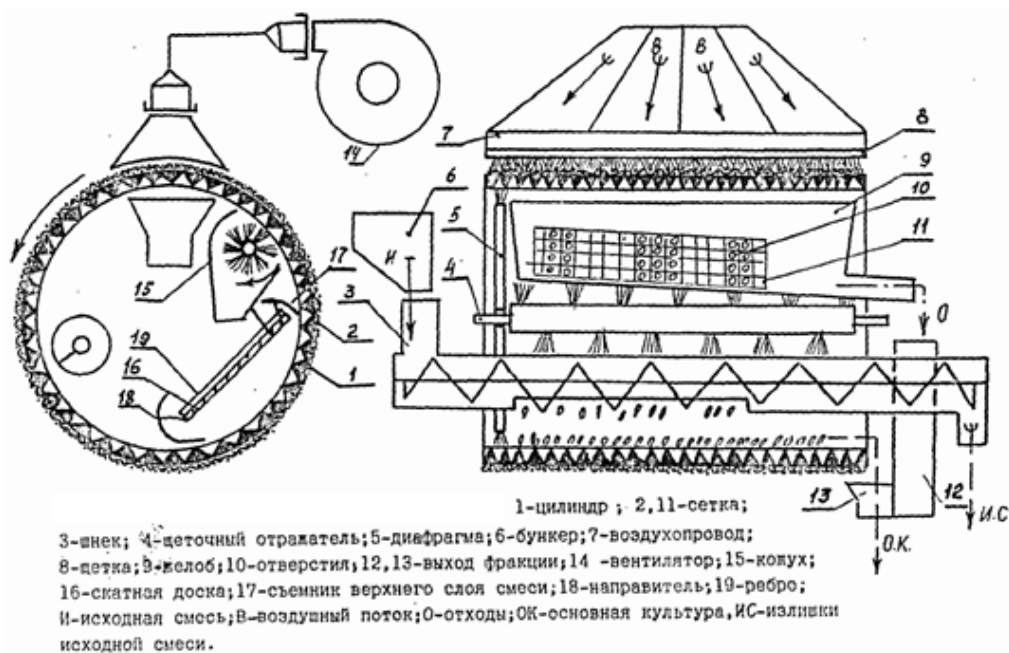
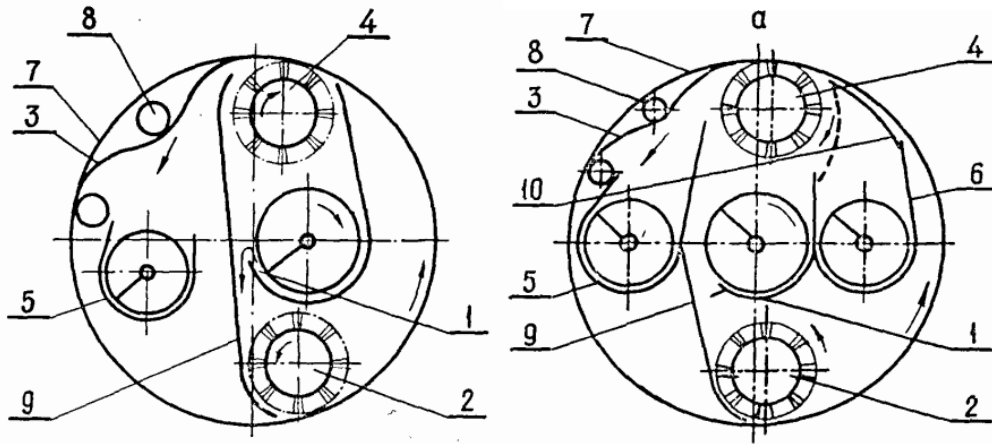


Рисунок 1.14 – Лабораторный триер с принудительным удалением коротких частиц

Туаев М.В. и Кузьмин М.В. разработали и исследовали быстроходный триер с гибкой рабочей поверхностью и эллипсоидной формой ячеек [53, 126], рисунок 1.15.

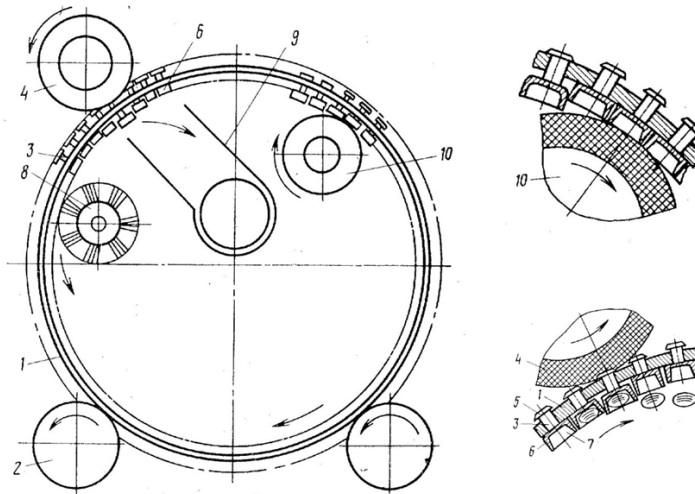
Удаление частиц из ячеек обеспечивается наличием в верхней части цилиндрической поверхности участка с резким изменением кривизны гибкого ячеистого цилиндра, создаваемого нажимным валиком.



1 – распределитель; 2 – ускоритель потока; 3 – гибкий ячеистый цилиндр; 4 – щеточный отражатель; 5 – желоб шнека короткой фракции; 6 – желоб длинной фракции; 7 – ведущий барабан; 8 – нажимной валик; 9 – диафрагма; 10 – направитель длинной фракции

Рисунок 1.15 – Триер конструкции Туаева М.В.

Сосновский Е.Л. предложил триер с повышенной производительностью, рисунок 1.16.



1 – перфорированный цилиндр, 2 – опорные ролики, 3 – толкатели, 4 – нажимной валик, 5 – внешние ограничители, 6 – внутренние ограничители, 7 – ячейки, 8 – щеточный отражатель, 9 – приемник, 10 – нажимной валик

Рисунок 1.16 – Триер Сосновского Е.Л.

При высокой скорости вращения триерного цилиндра выпадение захваченных частиц происходит принудительно за счет воздействия на них приспособления для очистки ячеистой поверхности в виде стержневых толкателей, размещенных в отверстиях ячеек и снабженных механизмом возврата [10].

Все попытки создания высокоскоростных триеров с целью увеличения производительности приводят к значительному усложнению и удорожанию кон-

струкции, снижению технологической надежности работы триера. В связи с вышеизложенным основной резерв повышения эффективности триерной очистки зерна нами видится в установлении рациональных параметров и режимов триера классической конструкции.

Большой вклад в исследование процессов разделения компонентов зерносмесей внесли ученые ФГБНУ ВНИИТиН Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. В результате теоретических исследований [120, 121, 114, 97, 113] авторами выявлены противоречия технологических процессов в существующих триерных блоках по качеству выделения коротких и длинных примесей; теоретически установлена динамика выделения триерной поверхностью коротких примесей.

Авторами разработано принципиально новое стендовое оборудование для исследования ячеистых поверхностей циклического действия [110, 112, 111, 118, 107, 109, 108, 119, 75, 74, 71, 73], обеспечивающее непрерывный интервально-временной контроль показателей процесса, рисунок 1.17.



Рисунок 1.17 – Стенды для исследований процессов триерной очистки конструкции ФГБНУ ВНИИТиН

При этом появилась возможность проводить исследования процесса без ограничения по времени до полного выделения примесного компонента. В разработке стенда с ячеистым цилиндром на опорных роликах (рисунок 1.17 г) и прибора для разделения проб зерносмеси и исследований процессов триерной очистки (рисунок 1.17 д) принимал участие и автор настоящей диссертационной работы [96, 83], а упомянутый прибор использован автором диссертации при экспериментальных исследованиях процессов триерной очистки ячменя от коротких примесей.

Тишанинов Н.П. и Анашкин А.В. установили влияние на процесс параметров сегмента зерносмеси внутри вращающегося ячеистого цилиндра [116, 105, 100, 101, 14] динамику выделения пшеницы овсюжным цилиндром, рисунок 1.18 [123, 103]; закономерности качества выделения длинных [100, 99] и коротких примесей [122, 117, 106, 102] из зерносмесей.

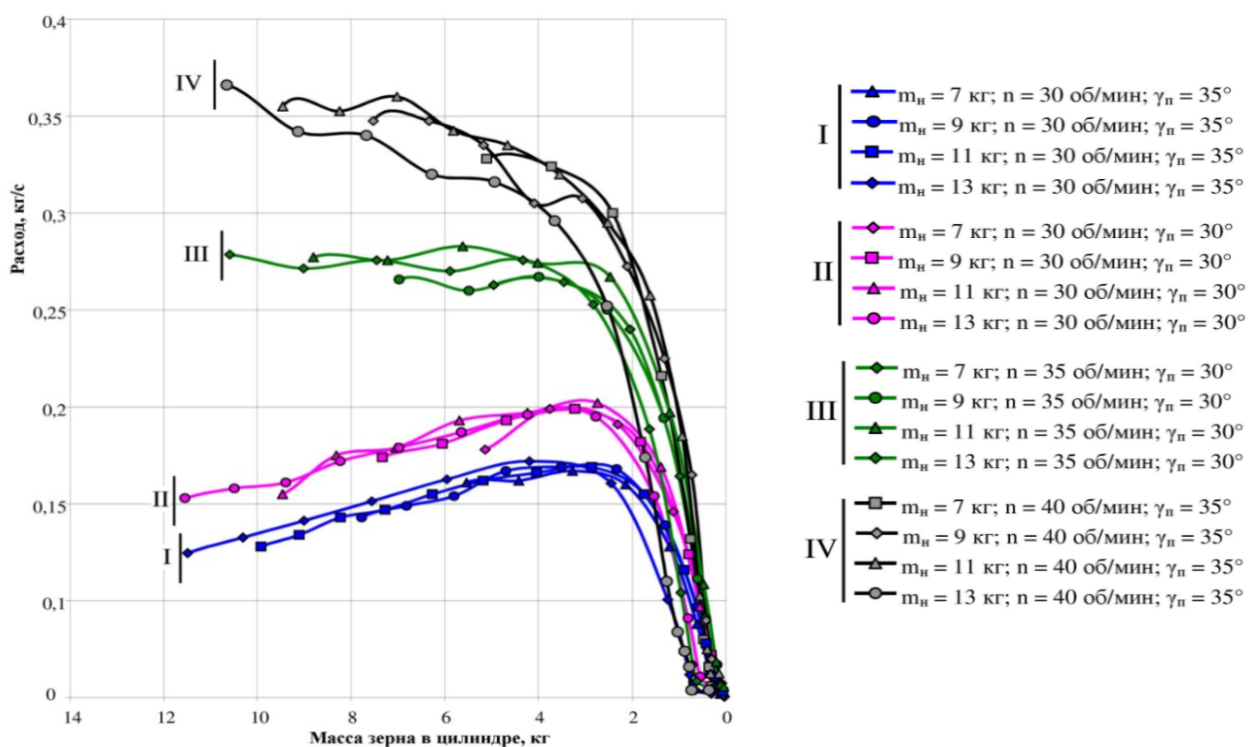


Рисунок 1.18 – Выделение пшеницы овсюжным триером

Необходимо отметить, что во всех исследованиях Тишанинова Н.П. и Анашкина А.В. в качестве основной культуры использовалась пшеница. Ячмень, наряду с пшеницей является наиболее распространенной культурой и занимает второе место по производству в России. В 2020 г. было засеяно пшеницей 29421

тыс. га – 35,8%, ячменем 8532 тыс. га – 10,5% [80]. В Ираке доля ячменя в структуре растениеводства еще выше [145, 81]. В 2019 году в республике пшеницу выращивали на 1583 тыс. га – 57,4%, ячмень на 930 тыс. га – 33,8%.

Свойства ячменя существенно отличаются от свойств пшеницы, что требует отдельных исследований процесса его триерной очистки.

Исследованиям процессов триерной очистки особое внимание уделяют европейские, китайские, корейские, египетские ученые.

Датские ученые Ole Thomsen Buus, Johannes Ravn Jørgensen и Jens Michael Carstensen исследовали траектории частиц после их выпадения из ячеек триерного цилиндра с помощью скоростной видеосъемки [148]. Авторы сконцентрировались на определении углов выпадения семян из ячеек при работе триера. В качестве объекта исследования они использовали лабораторный триер Westrup L-AT LAT-0801 с ячеистым цилиндром длиной 500 мм и диаметром 400 мм.

Цилиндр имел фиксированное положение с наклоном к горизонту под углом $0,7^\circ$. Были использованы два цилиндра с ячейками диаметром 6,0 мм и 7,0 мм. Частота вращения варьировалась в диапазоне от 26 об/мин до 49 об/мин со средним шагом 2,56 об/мин. Меньшее значение исследуемой частоты вращения соответствует кинематическому режиму $k = 0,15$, большее значение – $k = 0,54$.

Перед открытым торцом лабораторного триера, на расстоянии 2,7 м, помещалась цветная камера Point Grey Grasshopper GRAS-03K2C-C, обеспечивающая скорость съемки до 260 кадров в секунду. Положение камеры обеспечивало отображение в кадре верхнего правого квадранта окружности цилиндра триера, рисунок 1.19. Для удобства визуального контроля процесса приемный лоток был демонтирован.

В качестве исследуемого материала авторами использовалась смоделированная зерносмесь, состоящая из 50% целых и 50% дробленых зерен ячменя. Масса навески составляла 2 кг. Авторами было записано 20 последовательностей изображений со скоростью 260 кадров/с – для 10-ти значений частоты вращения цилиндра и двух значений диаметров ячеек. После записи все последовательности были синхронизированы по одинаковому положению цилиндра в первом кадре и

содержали 1300 кадров в течение 5 секунд.

После компьютерной обработки изображений получены графики траекторий частиц для всех условий выполненных исследований. На рисунке 1.19 представлены графики для 6-ти значений частоты вращения цилиндра с ячейками диаметром 6,0 мм.

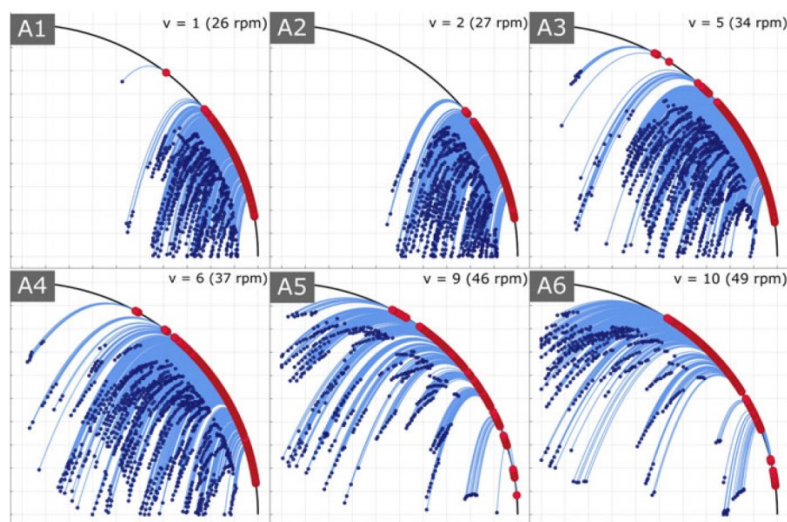


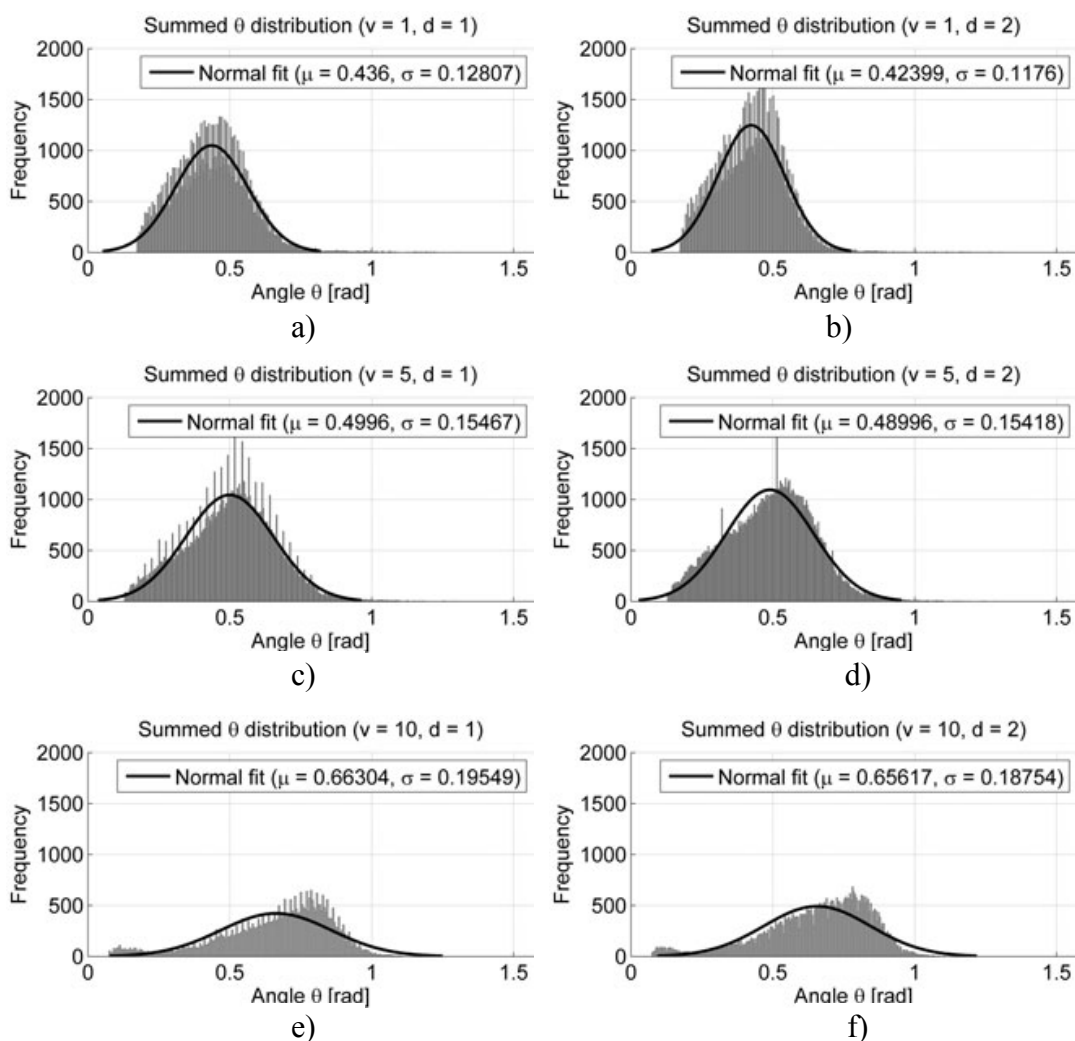
Рисунок 1.19 – Графики траектории частиц

После статистической обработки результатов исследований авторы установили, что суммарные частотные распределения значений углов выпадения частиц имеют вид, близкий к нормальному распределению, рисунок 1.20.

Из рисунка 1.20 видно, что при низких скоростных режимах распределение частот углов выпадения частиц очень близкое к нормальному. Для более высокой скорости увеличивается вероятность более высоких значений углов выпадения. При этом для максимальной скорости распределение становится мультимодальным, рисунок 1.20(e) и 1.20(f) и рисунок 1.19 (график A6).

Авторами установлена закономерность изменения средних значений угла выпадения частиц от режима работы триерного цилиндра, рисунок 1.21. Представлены данные для всех десяти исследованных скоростных режимов и обоих размеров ячеек.

С высокой степенью достоверности ($R^2 = 0,99$) полученная зависимость является линейной.



(a), (c), (e) – частоты и кривая нормального распределения для скоростей вращения $n = 26; 34; 49$ об/мин для ячеек диаметром $d = 6,0$ мм; (b), (d), (f) – частоты и кривая нормального распределения для скоростей вращения $n = 26; 34; 49$ об/мин для ячеек диаметром $d = 7,0$ мм.

Рисунок 1.20 – Частотные распределения углов выпадения с наложенной нормальной плотностью

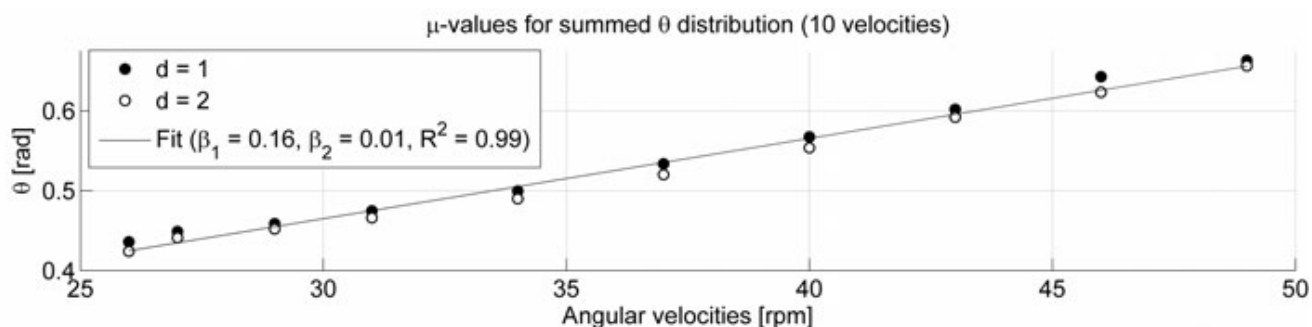


Рисунок 1.21 – График разброса и линейная регрессия для μ -параметра выпадения частиц

Вместе с тем можно отметить некоторые недостатки рассмотренных исследований. Авторы в исследованиях использовали недостаточные скоростные ре-

жимы работы триера – $k = 0,15-0,54$, тогда как для серийных триеров коэффициент кинематического режима составляет $k = 0,55-0,73$ [15]. Очевидно, что при этих значениях k увеличится диапазон углов выпадения частиц и, возможно, мульти модальность их распределения. При использовании всей ячеистой поверхности длиной 500 мм искажается изображение частиц на снимках, что вносит погрешности в определение их количества и координат. Целесообразно было задействовать только переднюю часть ячеистого цилиндра длиной 30-50 мм.

Нереалистичное соотношение целых и дробленых частиц ячменя, а также неопределенность линейных размеров дробленых частиц, не позволяет идентифицировать результаты исследований с производственными условиями.

Авторами не учитывается возможность вероятностного захвата ячейками целых частиц ячменя и их траектории движения.

При наибольших значениях скорости вращения цилиндра наблюдается значительно меньшее число зафиксированных частиц (рисунок 1.19 графики А5 и А6), чем при низких скоростных режимах (рисунок 1.19 графики А1-А3), это обстоятельство при равных временных интервалах измерений (5 с) противоречит логике протекания процесса, свидетельствует о несовершенстве принятой методики фиксации и компьютерной обработки изображений и снижает достоверность полученных результатов.

Венгерские ученые Sorică C., Pirnă I., Găgeanu P., Marin E., Postelnicu E. предприняли попытку выражения качественных параметров рабочего процесса цилиндрического триера в виде функций его технологических параметров [156]. За основу авторами была принята математическая модель, которую предложил советский ученый Тиц З.Л. в 1967 году [95]. Она была доработана и получены формулы для расчета качественных параметров рабочего процесса триера в зависимости от геометрических и физических параметров. В частности авторами предложено выражение для определения взаимосвязи между расстоянием, измеренным по оси цилиндра от места загрузки зерносмеси, и поток удаляемых примесей:

$$x(Q_i) = \frac{Q_i + Q_{i_0} \ln \frac{Q_{i_0}}{Q_{i_0} - Q_i}}{\varepsilon \mu_0 \gamma_s z_0 \frac{\pi R n}{30}} \quad (1.1)$$

где Q_i – величина потока фракции примеси на некотором расстоянии от места загрузки зерносмеси; кг/с;

Q_{i_0} – поток полезной фракции при загрузке, кг/с;

Q_{i_0} – поток примесной фракции при загрузке, кг/с;

ε – вероятность попадания примеси в ячейку;

μ_0 – объем ячейки, м³;

γ_s – плотность семян, кг/м³;

z_0 – число ячеек на единицу площади, м⁻²;

R – радиус цилиндра, м;

n – частота вращения цилиндра, об/мин.

Содержание примеси в зерносмеси, как функция осевого расстояния от места загрузки имеет вид:

$$C_{sme} = \frac{Q_{i_0} - Q_{i(x)}}{Q} \cdot 100, \quad (1.2)$$

где $Q_{i(x)}$ – поток примесной фракции на длине x , кг/с;

Q – поток подаваемого в цилиндр материала, кг/с;

Технологический эффект (степень выделения примеси), как функцию расстояния от места загрузки, авторы предлагают определять по формуле:

$$C_{scm(x)} = \frac{Q_{i(x)}}{Q_{i_0}} \cdot 100. \quad (1.3)$$

Экспериментальную проверку предложенной математической модели авторы проводили с помощью стенда (рисунок 1.22), разработанного Национальным институтом исследований и разработки машин и установок для сельского хозяйства и пищевой промышленности – INMA, Бухарест.

Стенд содержит ячеистый цилиндр, радиусом 0,125 м и длиной 0,5 м, электрическую панель управления, аналитические весы, секундомер, ноутбук. Опыты проводились при исходном содержании примесей 1,4%.



Рисунок 1.22 – Стенд для исследования рабочего процесса триерных сепараторов

Однако авторы не приводят состав примесного компонента и физико-механические свойства его частиц, что затрудняет анализ полученных результатов экспериментальных исследований. Подача зерносмеси составляла 0,699 г/с (2,517 т/ч), частота вращения ячеистого цилиндра варьировалась в диапазоне 20-47 об/мин. В качестве основного использовался скоростной режим с показателем кинематического режима $k = 0,28$, что соответствует частоте вращения цилиндра $n = 45$ об/мин. Угол наклона желоба для сбора примесей составлял $\alpha = 31^\circ$, хотя фиксация этого фактора исследований на одном уровне значительно ограничивает полноту исследований.

Результаты экспериментальной проверки подтвердили справедливость разработанной математической модели и возможность ее применения. Авторы отмечают, что качество выделения короткой примеси зависит не только от исходного ее содержания, но и от величины подачи зерносмеси, хотя количественной оценки не приводят. В качестве одного из выводов по работе авторы приводят утверждение об эквивалентности качества процесса триерной очистки материала от коротких примесей при прохождении его через длинный триер с прохождением несколько раз через короткий. Этот результат не подтверждается материалами статьи и вызывает сомнения, так как при этом не может быть определено влияние эффекта динамической сегрегации в сегменте зерносмеси примесных компонен-

тов, выявленный авторами [104].

Китайские ученые Xiangyi Meng, Fuguo Jia, Hualong Qiu, Yanlong Han, Yong Zeng, Yawen Xiao, Peiyu Chen изучили процесс разделения целого и дробленого риса с помощью триера [152]. Для оценки способности разделения была принята статистическая оценка «Расстояние Хеллингера», используемая для количественной оценки разницы между двумя распределениями вероятностей – углов выпадения целого и дробленого риса.

Для моделирования процесса триерного разделения частиц риса авторы использовали программное обеспечение EDEM (DEM Solution Ltd). Также была изготовлена экспериментальная установка, соответствующая модели, рисунок 1.23.

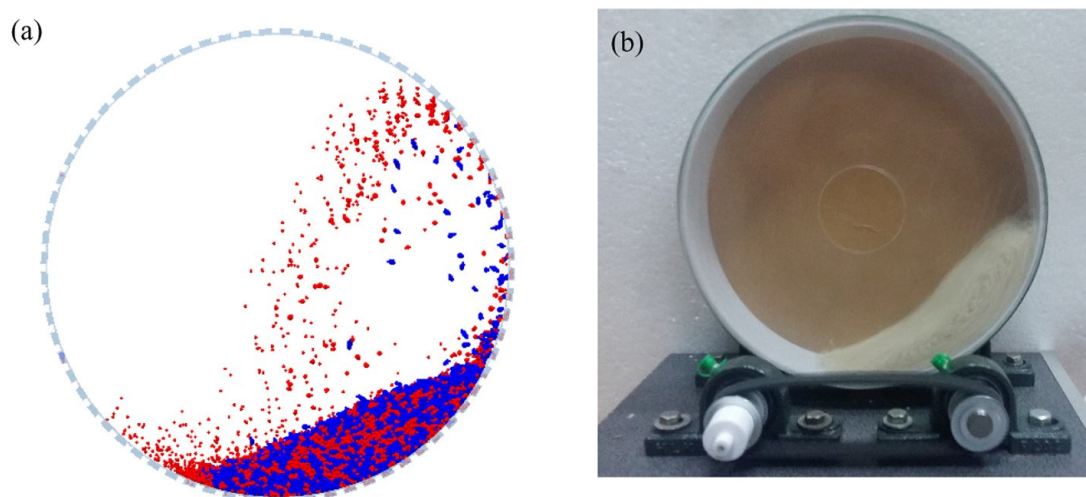


Рисунок 1.23 – DEM моделирование и эксперимент захвата частиц риса

Она представляет собой цилиндр с ячейками прямоугольной формы, размерами 6x3x3 мм, расположенный на опорных роликах и электропривод с регулированием частоты вращения. Осевая длина цилиндра составляет 50 мм. Передняя торцевая панель выполнена из прозрачной пластины для обеспечения визуального наблюдения, задняя окрашена в темный цвет в качестве фона.

По результатам анализа изображений DEM модели и физического процесса авторы приходят к выводу о близких параметрах сегмента и справедливости модели.

Авторами установлено, что с увеличением частоты вращения цилиндра углы выпадения риса увеличиваются и их диапазоны становятся шире, рисунок

1.24. Расстояние Хеллингера сначала увеличивается, до скорости вращения 55% от критической скорости, а затем уменьшается. С увеличением числа ячеек увеличивается угол выпадения и целых, и колотых частиц риса. Расстояние Хеллингера с увеличением количества ячеек увеличивается до некоторого значения, после чего остается стабильным. Оптимальный угол установки приемного желоба авторами установлен на уровне 60° , обеспечивающий эффективность сепарации на уровне 80%.

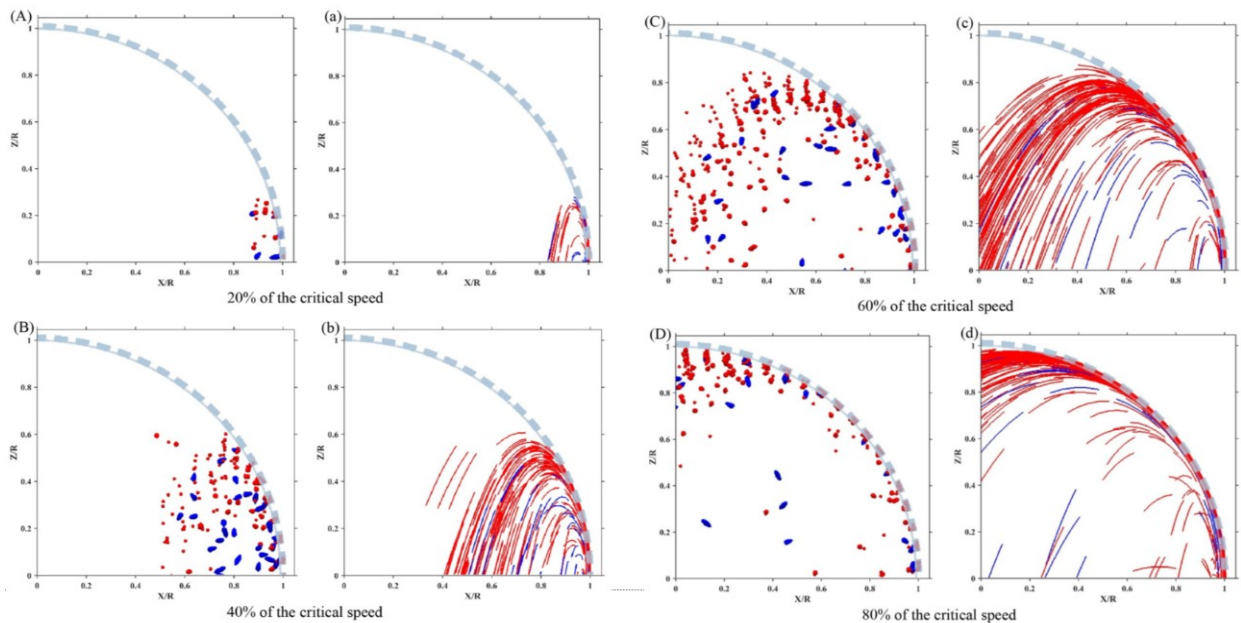


Рисунок 1.24 – Снимки и траектории движения целых (синий) и колотых (красный) частиц риса, полученных с помощью DEM моделирования

Авторы утверждают, что метод DEM моделирования может использоваться при проектировании триеров для достижения наилучших рабочих параметров. Однако при анализе рисунка 1.24 возникают сомнения об адекватности предложенной модели, где во всех режимах траектории движения целых и колотых частиц риса имеют одинаковые угловые диапазоны (красные и синие точки и траектории), что исключает возможность их эффективного разделения. Полученные авторами оптимальные режимные и регулировочные параметры требуют экспериментальной проверки.

Berlage A. G., Bilsland D. M., Brandenburg N. R., Cooper T. M. исследовали [146] очистку мелких семян трав с помощью специального самоочищающегося

триера, состоящего из опорной рамы, ячеистого цилиндра, электропривода, опорного ремня из синтетической замши толщиной 1,14 мм, натяжного ролика, чистящей щетки, питателя и выводного лотка. Диаметр цилиндра составлял 432 мм, его длина 972 мм. Щетинки диаметром 0,25 мм и длиной 25,4 мм очищали более 99,9% засорений ячеек.

Авторы установили, что наибольшее влияние на потери основной культуры оказывают величина подачи зерносмеси и скорость вращения цилиндра, а наклон цилиндра – маловажный фактор. На эффективность очистки от коротких примесей влияют скорость вращения, наклон цилиндра и в большей степени величина подачи зерносмеси. Однако при этом не учитывалось фактическое положение приемного лотка, что исключает полноту анализа процесса.

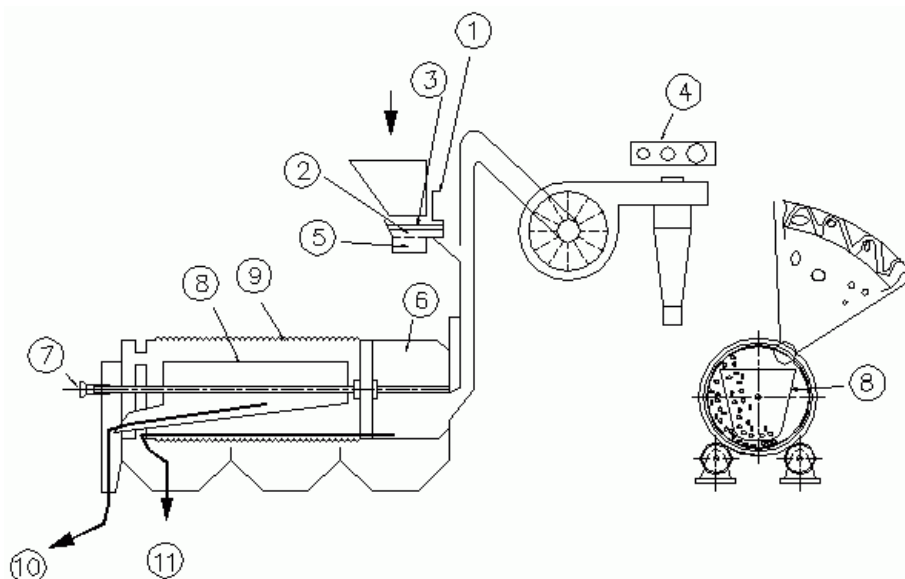
Авторами работ [146] решена задача по исключению застревания семян трав в ячейках специальных триеров, сконструированных для разделения семян с небольшими различиями в длине; установлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс очистки семян люцерны и бермудской травы. Из-за узкой направленности выполненных исследований область применения их результатов существенно ограничена.

Корейские ученые Myoung Ho Kim, Seung Je Park исследовали эффективность процесса отделения битого риса с помощью лабораторного триера Labofix 90 (Schmidt AG, Германия) с целью получения информации для разработки прототипа триера для отделения битого риса [150]. На рисунке 1.25 представлена конструкция лабораторной установки.

Длина ячеистого цилиндра лабораторного триера составляла 373 мм, диаметр – 245 мм. Были исследованы цилиндры с двумя формами ячеек: каплевидная размерами 3,75 мм и 2,5 мм; полусферическая размером 3,75 мм и 2,5 мм. Скорость вращения ячеистого цилиндра варьировалась на четырех уровнях: 17; 34; 51; 68 об/мин. Угол рабочей кромки приемного желоба составлял 15°; 37,5°; 60°; 82,5°. Величина подачи исследуемого материала составляла 25 и 50 кг/ч.

В результате исследований авторы установили, что угловое положение приемного лотка и скорость вращения цилиндра оказывают статистически значимое

влияние на эффективность разделения исследуемых компонентов.



1 – входной регулятор для непрерывной подачи; 2 – вибрационный конвейер; 3 – сито предварительной очистки; 4 – перегородка для контроля расхода воздуха; 5 – потенциометр для контроля производительности; 6 – цилиндр тонкого просеивания; 7 – ручка регулировки угла желоба; 8 – желоб; 9 – ячеистый цилиндр; 10 – выход колотого зерна; 11 – выход целого зерна

Рисунок 1.25 – Принципиальная схема лабораторного триера Labofix 90

Для скоростных режимов работы лабораторного триера 17; 34 и 51 об/мин наибольшая эффективность разделения обеспечивалась при угловых положениях желоба $37,5^\circ$; 60° и $82,5^\circ$ соответственно. Для промышленного образца триера для отделения колотого риса авторы рекомендуют полусферическую ячейку из-за технологичности и простоты изготовления ячеистой поверхности. Для эффективного отделения битых частиц авторы рекомендуют размер ячеек выбирать несколько больше фактического размера отделяемых частиц: например, ячейки диаметром 3,0 мм для отделения частиц 2,5 мм.

Румынские исследователи Cristian Sorica, Ion Pirna, Carmen Bracacescu, Eugen Marin, Elena Postelnicu с помощью математического моделирования в среде Mathcad 12 исследовали движение частиц при их отрыве от ячейки триерного цилиндра [155]. Авторами получены аналитические выражения для определения равновесного положения частицы в ячейке, критического угла отрыва частицы, координат точки отрыва частицы и траектории ее движения. Для проверки математической модели кинематических параметров триерной сепарации авторами

было подготовлено экспериментальное оборудование (рисунок 1.26), включающее лабораторный триер с открытым выходным торцом для удобства визуального контроля процесса, высокоскоростную видеокамеру Phantom V10 (Vision Research), источники искусственного освещения и программное обеспечение для анализа движения TEMA Automotive (Image System AB). Указанная аппаратура позволила фиксировать процесс с хорошим качеством изображения с частотой 1800 кадров в секунду.

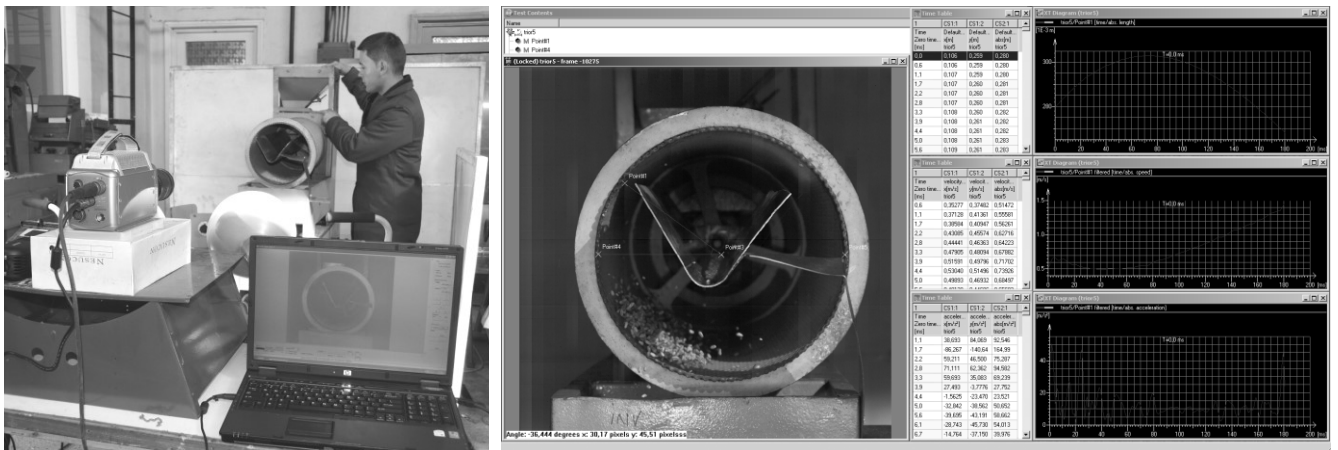


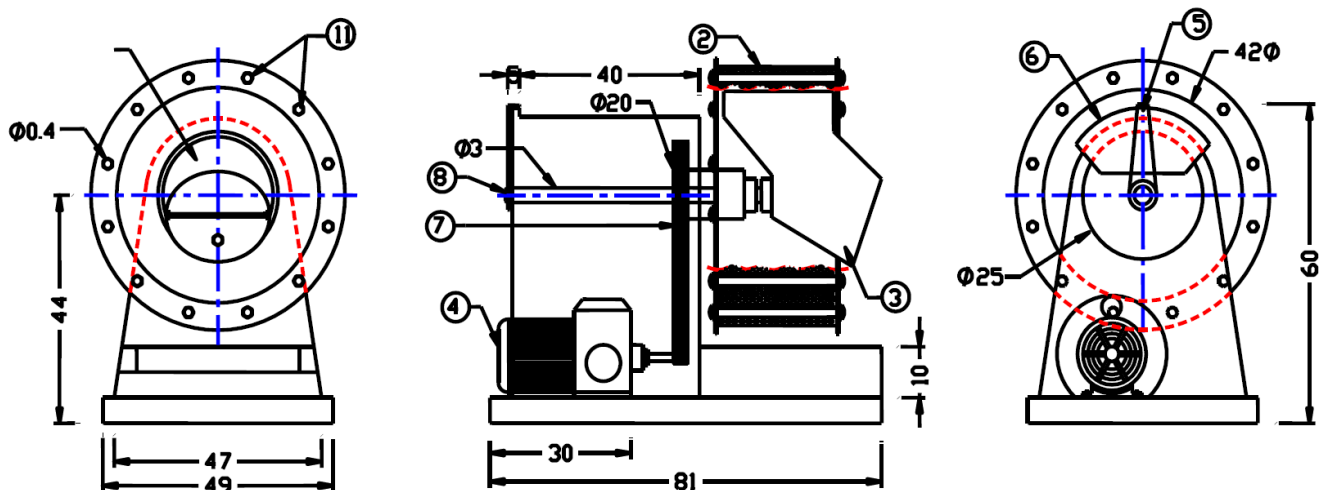
Рисунок 1.26 – Исследование выпадения частиц из ячеек триера с помощью скоростной видеосъемки

Таким образом, с высокой точностью определены экспериментальные данные о моменте отрыва частицы от ячейки с фиксацией углового положения, начальное положение и скорость примесной частицы, определены векторы скорости и ускорения частиц на траектории до выводного желоба.

По результатам исследований авторы делают выводы о высокой степени сходимости их математической модели с фактическим процессом и, зная угол внешнего трения примесных частиц, можно определить траектории их движения от момента выпадения из ячейки до приемного желоба, чтобы определить оптимальное положение последнего. Однако, кроме сил трения на величину угла выпадения частиц из ячейки влияет форма, размер, плотность частиц и другие неучтенные факторы, поэтому для определения рациональных параметров триера необходимы дополнительные экспериментальные исследования.

Египетские ученые Tawfik, M.A., El Shal A.M., Fawal Y.A. El. исследовали

влияние технических и эксплуатационных факторов на производительность триера и эффективность очистки пшеницы и кукурузы местных сортов [157]. Для своих исследований они использовали экспериментальный цилиндрический триер, рисунок 1.27.



1 – рама; 2 – ячеистый цилиндр; 3 – приемный лоток; 4 – электродвигатель; 5 – устройство позиционирования приемного лотка; 6 – угловая шкала; 7 – цепная передача; 8 – вал позиционирования приемного лотка; 9 – кожух; 10 – выходное отверстие; 11 – болты

Рисунок 1.27 – Экспериментальный триер

Триер содержит ячеистый цилиндр диаметром 300 мм и длиной 600 мм с ячейками конической формы диаметром 6 мм для исследования процессов очистки пшеницы и ячейками диаметром 8 мм для исследований процессов очистки кукурузы. В качестве исследуемых факторов рассматривались частота вращения цилиндра, угол установки приемного желоба, величина подачи зерна в триерный цилиндр.

Эффективность очистки оценивалась при окружной скорости цилиндра 0,94; 1,10; 1,26; 1,41 м/с. Приемный желоб устанавливался под углом рабочей кромки к горизонту 30°; 40°; 45° и 50°. Величина подачи материала в цилиндр составила 6; 12; 18 и 24 кг/г.

В результате выполненных исследований авторы установили, что эффективность разделения компонентов снижалась при увеличении скоростного режима, угла установки приемного желоба и подачи материала. Наиболее эффектив-

ные режимы работы триера с точки зрения качества разделения наблюдались при скорости вращения 30-35 об/мин и угловом положении приемного желоба 30-40°. Максимальная эффективность разделения (для пшеницы 92,54%, для кукурузы 91,35%) были получены при частоте вращения 30 об/мин, угловом положении желоба 30° и подаче зерносмеси 6 кг/ч. Однако с точки зрения повышения производительности триерной очистки эти режимы нельзя назвать эффективными.

В работе R. ILEA рассмотрена динамика движения частиц в ячеистом цилиндре [149]. При этом полный цикл движения частицы автором разделяется на 4 фазы: фаза относительного покоя; фаза прямого скольжения; фаза обратного скольжения; фаза свободного падения. При высокой центробежной силе, превышающей вес семян, последние остаются в покое относительно цилиндра. В этом случае исключена возможность выпадения частиц из ячейки и работоспособность триера. Никаких новых знаний относительно существующей теории триеров [67, 96, 77, 76, 54, 55, 27, 17] в этих исследованиях не представлено.

В попытке оптимизации процесса сортирования зерна с помощью ячеистых цилиндров С. Sorica с соавторами [154] пришли к выводу, что технологический эффект разделения компонентов зерносмесей снижается с увеличением скоростного режима. При этом снижается и удельный расход электроэнергии. Наилучшие результаты качества очистки и минимальные потери основной культуры авторами получены при скорости вращения цилиндра 27 об/мин.

Однако полученные результаты представлены авторами без привязки к размерам ячеистого цилиндра, величине подачи зерносмеси в триер и угловому положению приемного желоба, что ограничивает возможности их практического применения.

1.6 Выводы по главе, цель и задачи исследования

1. Поточные технологические комплексы традиционно применяемые в сельхозпредприятиях России и Ираке не обеспечивают высоких требований по содержанию сорных примесей, предъявляемых к продовольственному зерну, и

особенно к посевному материалу из-за низкого технического уровня зерноочистительной техники, высокой засоренности полей, недостаточного уровня квалификации операторов.

2. При наличии в свежееубранном зерновом ворохе трудноотделимых примесей, отличающихся от зерновок основной культуры длиной, получить качественный посевной материал возможно только с применением триерной очистки. К таким примесям относятся овсюг, частицы стеблей сорных растений, куколь, гречишка вьюнковая, сорго, колотые частицы основной культуры.
3. Республика Ирак является одним из основных производителей и потребителей зерна в азиатском регионе. В структуре производства зерновых культур 70% составляет пшеница, 20% – ячмень. Особенностью современного сельхозпроизводства Ирака является использование устаревшей и изношенной зерноочистительной техники и оборудования, что обуславливает необходимость модернизации зерноочистительного комплекса.
4. Современные производители сельскохозяйственной техники предлагают широкий выбор зерноочистительных машин различных типов, в том числе триерных блоков. Однако в технической документации нет регламентов их настройки и регулировки с учетом качества процесса очистки.
5. Для обеспечения эффективной эксплуатации триерных блоков недостаточно знаний о процессах разделения компонентов зерносмесей ячеистыми поверхностями. Отсутствуют исследования по динамике выделения коротких семян сорных растений и колотых частиц основной культуры кукольным триером из ячменя.

Цель работы: повышение качества очистки ячменя от коротких примесей.

Задачи исследований:

- обосновать конструктивно-технологические режимы и параметры экспериментального стенда и прибора для исследований процессов триерной очистки зерна;
- выполнить анализ делимости ячменя и коротких примесных компонен-

тов по размерным признакам;

– изучить физико-механические свойства компонентов исследуемых зерносмесей;

– установить взаимосвязи качества очистки ячменя от коротких примесей с режимами работы и настроечными параметрами триера;

– обосновать рациональные параметры и режимы процесса триерной очистки ячменя от коротких примесей.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ РАЗДЕЛЕНИЯ ЗЕРНОСМЕСЕЙ ПО РАЗМЕРНЫМ ПРИЗНАКАМ ЧАСТИЦ

2.1 Обоснование необходимости триерного разделения зерносмесей и параметров ячеек на основе анализа распределений размерных признаков

Исследования размерных характеристик проводились на зерновках следующих культур: ячмень, сорго, вика. Проводилось измерение длины, ширины и толщины (наименьший размер) частиц. Для ячменя были определены размеры 200 зерновок, для сорго и вики – по 60 зерновок.

Целью проводимых исследований является установление возможности разделения указанных культур, как компонентов зерносмесей, с помощью известных рабочих органов зерноочистительных машин. Для этого необходимо построить вариационные ряды распределения полученных значений линейных размеров зерновок каждой культуры. Построить совместные вариационные кривые по одноименным признакам и установить возможность разделения культур по каждому признаку и величину неизбежных потерь зерна основной культуры (в нашем случае ячменя).

Данные, полученные при измерении линейных размеров частиц исследуемых материалов, представлены в приложении А.

2.1.1 Размерные характеристики зерновок сорго

Наименьшее значение длины частиц сорго в исследуемой выборке составило 3,6 мм, ширины – 3,0 мм, толщины – 2,0 мм. Наибольшее значение длины частиц сорго составило 4,7 мм, ширины – 3,7 мм, толщины – 2,6 мм.

2.1.1.1 Анализ распределения длины частиц сорго

Для построения дискретного ранжированного вариационного ряда длины зерновок сорго отсортируем ряд по возрастанию показателя и подсчитаем количе-

ство повторений для каждого значения ряда, таблица 2.1.

Таблица 2.1 – Вариационный ряд распределения длины частиц сорго

Длина частиц сорго, x_i	3,6	3,7	3,8	3,9	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7
Частота, f_i	2	3	4	6	9	6	9	5	5	4	4	3

Построим полигон распределения частот рассматриваемого признака, рисунок 2.1.

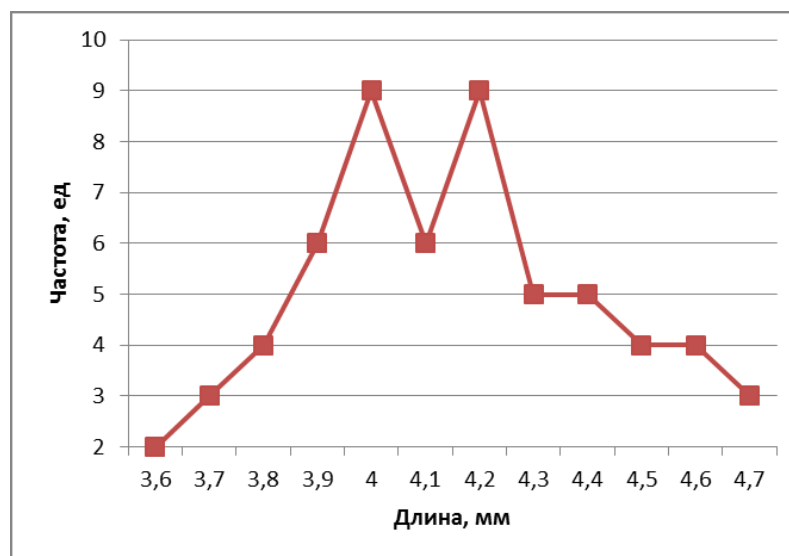


Рисунок 2.1 – Полигон распределения признака длины частиц сорго

Найдем показатели центра распределения и показатели вариации [44, 86, 90, 60, 50, 93, 26]: Для этого составим таблицу с необходимыми расчетными данными, таблица 2.2.

Таблица 2.2 – Данные для расчета показателей

x_i	Частота, f_i	$x_i f_i$	Накопленная частота, S	$ x - x_{cp} f_i$	$(x - x_{cp})^2 f_i$	Относительная частота, f_i/f
3,6	2	7,2	2	1,11	0,616	0,033
3,7	3	11,1	5	1,365	0,621	0,05
3,8	4	15,2	9	1,42	0,504	0,067
3,9	6	23,4	15	1,53	0,39	0,1
4	9	36	24	1,395	0,216	0,15
4,1	6	24,6	30	0,33	0,0182	0,1
4,2	9	37,8	39	0,405	0,0182	0,15
4,3	5	21,5	44	0,725	0,105	0,083
4,4	5	22	49	1,225	0,3	0,083
4,5	4	18	53	1,38	0,476	0,067
4,6	4	18,4	57	1,78	0,792	0,067
4,7	3	14,1	60	1,635	0,891	0,05
Итого	60	249,3		14,3	4,949	1

Средняя взвешенная (выборочная средняя) определяется по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i \times f_i}{\sum f_i}, \quad (2.1)$$

где \bar{x} – вариант числовых значений количественного признака,

f_i – абсолютная численность отдельных вариантов ряда.

$$\bar{x} = \frac{249,3}{60} = 4,2.$$

Имеются два показателя с одинаковым значением частоты $f=9$. Ряд имеет две моды, т.е. является бимодальным.

Находим *медиану*, соответствующую значению ряда, при котором накопленная частота будет больше $\sum f/2 = 31$. Медиана равна $Me=4,2$ мм.

Размах вариации - разность между максимальным и минимальным значениями. $R = x_{max} - x_{min} = 4,7 - 3,6 = 1,1$.

Среднее линейное отклонение определяется по формуле:

$$d = \frac{\sum |x_i - \bar{x}| \cdot f_i}{\sum f_i}, \quad (2.2)$$

$$d = \frac{14,3}{60} = 0,2.$$

Дисперсия определяется по формуле:

$$D = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot f_i}{\sum f_i}, \quad (2.3)$$

$$D = \frac{4,949}{60} = 0,0825.$$

Несмещенная оценка дисперсии :

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot f_i}{\sum f_i - 1}, \quad (2.4)$$

$$S^2 = \frac{4,949}{59} = 0,0839.$$

Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{D}, \quad (2.5)$$

$$\sigma = \sqrt{0,0825} = 0,287.$$

Оценка среднеквадратического отклонения:

$$s = \sqrt{S^2}, \quad (2.6)$$

$$s = \sqrt{0,0839} = 0,29.$$

Коэффициент вариации:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}}, \quad v = \frac{0,287}{4,2} \times 100\% = 6,91\% \quad (2.7)$$

Поскольку $v \leq 30\%$, то совокупность однородна, и полученным результатам можно доверять.

Линейный коэффициент вариации определяется по формуле:

$$K_d = \frac{d}{\bar{x}}, \quad (2.8)$$

$$K_d = \frac{0,2}{4,2} \times 100\% = 4,81\%.$$

Для проверки гипотезы о нормальном распределении длины частиц сорго воспользуемся критерием согласия Пирсона [46].

$$K = \sum \frac{(f_i - f_i^*)^2}{f_i^*}, \quad (2.9)$$

где f_i^* - теоретические частоты:

$$f_i^* = \frac{N \cdot h}{\sigma} \varphi(u_i), \quad u_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \text{ и } \varphi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} \quad (2.10)$$

Тогда:

$$f_i^* = \frac{60 \cdot 0,1}{0,287} \varphi(u_i) = 20,89 \varphi(u_i).$$

Рассчитанные значения приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Расчет теоретических частот длины частиц сорго

Номер варианта (i)	Значение (x _i)	u _i	φ _i	f _i [*]	f _i [*] (отн)
1	2	3	4	5	6
1	3,6	-1,9326	0,0608	1,27	2,20
2	3,7	-1,5843	0,1127	2,355	4,08
3	3,8	-1,2361	0,1849	3,863	6,70

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4	5	6
4	3,9	-0,8879	0,2685	5,61	9,73
5	4	-0,5397	0,3448	7,204	12,49
6	4,1	-0,1915	0,391	8,169	14,17
7	4,2	0,1567	0,3939	8,23	14,27
8	4,3	0,5049	0,3503	7,319	12,69
9	4,4	0,8531	0,2756	5,758	9,99
10	4,5	1,2013	0,1919	4,009	6,95
11	4,6	1,5495	0,12	2,507	4,35
12	4,7	1,8977	0,0656	1,371	2,38

Для определения наблюдаемого значения критерия Пирсона необходимо сравнить фактические и теоретические значения частот длины частиц сорго:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_i - f_i^*)^2}{f_i^*}.$$

Таблица 2.4 – Расчетные значения показателей критерия согласия

i	f_i	f_i^*	$f_i - f_i^*$	$(f_i - f_i^*)^2$	$(f_i - f_i^*)^2 / f_i^*$
1	2	1,2703	-0,7297	0,5325	0,419
2	3	2,3546	-0,6454	0,4166	0,177
3	4	3,863	-0,137	0,01876	0,00486
4	6	5,6096	-0,3904	0,1524	0,0272
5	9	7,2037	-1,7963	3,2266	0,448
6	6	8,169	2,169	4,7044	0,576
7	9	8,2295	-0,7705	0,5936	0,0721
8	5	7,3186	2,3186	5,3761	0,735
9	5	5,758	0,758	0,5745	0,0998
10	4	4,0093	0,00927	8,6E-5	2,1E-5
11	4	2,5071	-1,4929	2,2288	0,889
12	3	1,3705	-1,6295	2,6551	1,937
Σ	60	60			5,385

Границу критической области статистики Пирсона $K_{кр} = \chi^2(k-1; \alpha)$ находим по таблицам распределения χ^2 [51, 92].

$$K_{кр}(11; 0,05) = 19,67514; K_{набл} = 5,38$$

Наблюдаемое значение статистики Пирсона не попадает в критическую область ($K_{набл} < K_{кр}$), поэтому нет оснований отвергать гипотезу о нормальном распределении выборки длины частиц сорго.

Нормальная кривая распределения [79], построенная совместно с графиком экспериментально полученных частот длины частиц сорго (в относительных единицах), представлена на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Экспериментальное и теоретическое распределение длины частиц сорго

При дальнейшем анализе возможности разделения компонентов зерносемян по размерным признакам будем оперировать полученными данными вероятностей частот для нормального распределения.

2.1.1.2 Анализ распределения ширины частиц сорго

Дискретный ранжированный вариационный ряд экспериментальных значений ширины зерновок сорго имеет следующий вид, таблица 2.5.

Таблица 2.5 – Вариационный ряд распределения ширины частиц сорго

Ширина частиц сорго, x_i	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7
Частота, f_i	2	4	13	8	20	6	6	1

Полигон распределения значений представлен на рисунке 2.3.

Для определения показателей центра распределения и показателей вариации выполнены необходимые расчеты, таблица 2.6. Сами статистические показатели представлены в таблице 2.7.

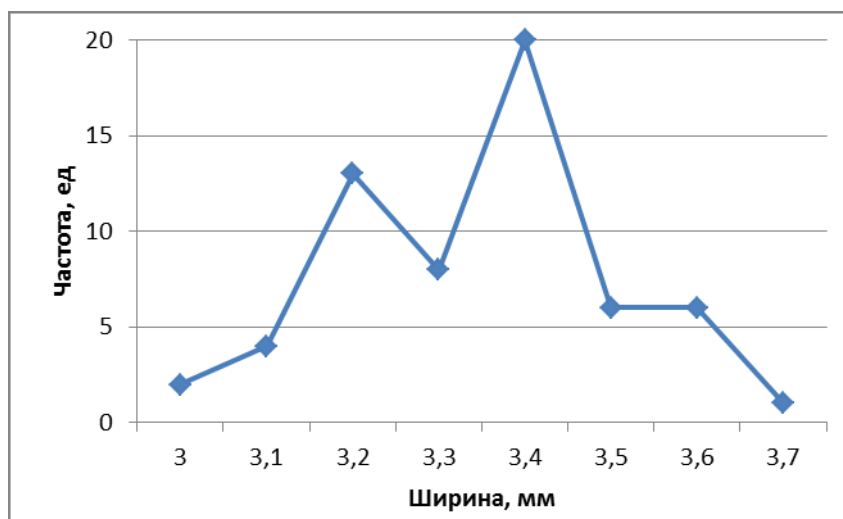


Рисунок 2.3 – Полигон распределения признака ширины частиц сорго

Таблица 2.6 – Данные для расчета статистических показателей

x_i	Частота, f_i	$x_i \cdot f_i$	Накопленная частота, S	$ x - x_{cp} \cdot f_i$	$(x - x_{cp})^2 \cdot f_i$	Относительная частота, f_i/f
3	2	6	2	0,69	0,238	0,0333
3,1	4	12,4	6	0,98	0,24	0,0667
3,2	13	41,6	19	1,885	0,273	0,217
3,3	8	26,4	27	0,36	0,0162	0,133
3,4	20	68	47	1,1	0,0605	0,333
3,5	6	21	53	0,93	0,144	0,1
3,6	6	21,6	59	1,53	0,39	0,1
3,7	1	3,7	60	0,355	0,126	0,0167
Итого	60	200,7		7,83	1,489	1

Таблица 2.7 – Статистические показатели вариационного ряда распределения ширины частиц сорго

Наименование показателя	Усл. обозначение	Значение показателя
Средняя взвешенная	\bar{x}	3,3
Мода	Mo	3,4
Медиана	Me	3,4
Размах вариации	R	0,7
Среднее линейное отклонение	d	0,1
Дисперсия	D	0,0248
Несмещенная оценка дисперсии	S^2	0,0252
Среднее квадратическое отклонение	σ	0,158
Оценка среднеквадратического отклонения	s	0,159
Коэффициент вариации	v	4,71
Относительное линейное отклонение	K_d	2,99

Промежуточные расчеты, выполненные для проверки гипотезы о нормальном распределении ширины семян сорго представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Расчет показателей критерия согласия Пирсона

i	x_i	u_i	φ_i	f_i^*	f_i	$f_{i(отн)}$	$f_{i(отн)}^*$	$f_i \cdot f_i^*$	$(f_i - f_i^*)^2$	$(f_i - f_i^*)^2 / f_i^*$
1	3	-2,1904	0,0355	1,352	2	3,33	2,285	-0,6477	0,4195	0,31
2	3,1	-1,5555	0,1182	4,503	4	6,67	7,611	0,5027	0,2527	0,0561
3	3,2	-0,9206	0,2589	9,862	13	21,67	16,669	-3,1376	9,8443	0,998
4	3,3	-0,2857	0,3825	14,571	8	13,33	24,629	6,5708	43,1756	2,963
5	3,4	0,3492	0,3752	14,293	20	33,33	24,159	-5,7073	32,5729	2,279
6	3,5	0,9841	0,2444	9,31	6	10,00	15,736	3,3101	10,9567	1,177
7	3,6	1,619	0,1074	4,091	6	10,00	6,915	-1,9087	3,6433	0,891
8	3,7	2,2539	0,031	1,181	1	1,67	1,996	0,1809	0,03273	0,0277
Σ					60	100	100			8,702

Определим границу критической области $K_{кр} = \chi^2(k-1; \alpha)$ по таблицам [51, 92] распределения χ^2 для $k = 8$ и $\alpha = 0,05$. $K_{кр}(7; 0,05) = 14,06714$; $K_{набл} = 8,702$, что дает основания утверждать о нормальном распределении выборки значений ширины частиц сорго.

Построим на одной диаграмме (рисунок 2.4) гистограмму относительных частот ширины частиц сорго полученных экспериментально (столбец $f_{i(отн)}$ в таблице 2.7) и нормальную кривую распределения вероятностей частот этого показателя (столбец $f_{i(отн)}^*$ в таблице 2.8).

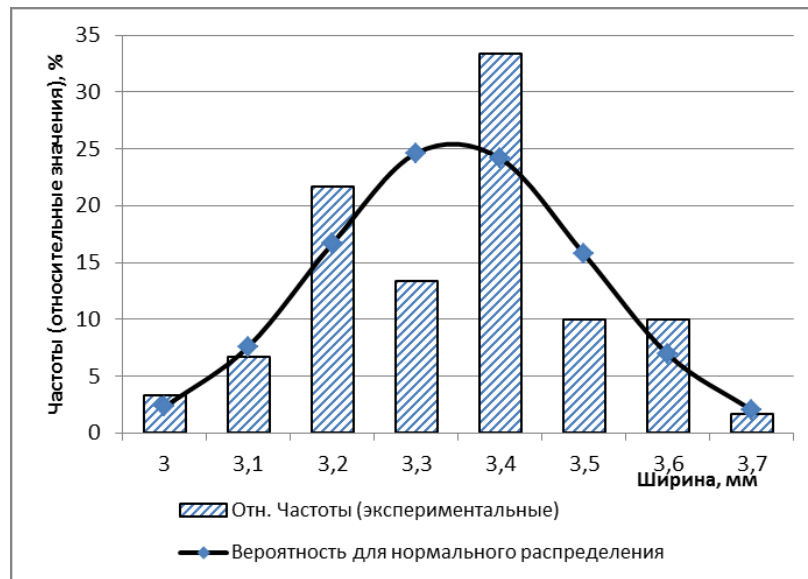


Рисунок 2.4 – Экспериментальное и теоретическое распределение ширины частиц сорго

2.1.1.3 Анализ распределения толщины частиц сорго

Вариационный ряд экспериментальных значений толщины зерновок сорго представлен в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Вариационный ряд распределения толщины частиц сорго

Толщина частиц сорго, x_i	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
Частота, f_i	1	3	20	12	14	9	1

Полигон распределения значений толщины представлен на рисунке 2.5.

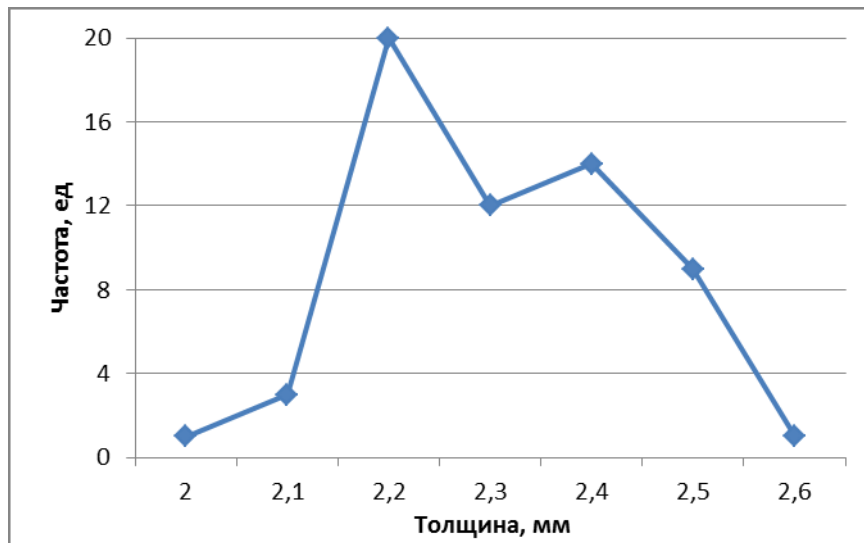


Рисунок 2.5 – Полигон распределения признака толщины частиц сорго

Промежуточные расчеты для определения статистических показателей представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Данные для расчета показателей

x_i	Кол-во, f_i	$x_i \cdot f_i$	Накопленная частота, S	$ x - x_{cp} \cdot f_i$	$(x - x_{cp})^2 \cdot f_i$	Относительная частота, f_i/f
2	1	2	1	0,31	0,0961	0,0167
2,1	3	6,3	4	0,63	0,132	0,05
2,2	20	44	24	2,2	0,242	0,333
2,3	12	27,6	36	0,12	0,0012	0,2
2,4	14	33,6	50	1,26	0,113	0,233
2,5	9	22,5	59	1,71	0,325	0,15
2,6	1	2,6	60	0,29	0,0841	0,0167
Итого	60	138,6		6,52	0,994	1

Показатели центра распределения и показатели вариации, рассчитанные по формулам (2.1) – (2.8) представлены в таблице 2.11.

Необходимые данные для проверки гипотезы о нормальном распределении признака толщины частиц сорго и построения нормальной кривой распределения представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.11 – Статистические характеристики вариационного ряда распределения толщины частиц сорго

Наименование показателя	Усл. обозначение	Значение показателя
Средняя взвешенная	\bar{x}	2,3
Мода	Mo	2,2
Медиана	Me	2,3
Размах вариации	R	0,6
Среднее линейное отклонение	d	0,1
Дисперсия	D	0,0166
Несмещенная оценка дисперсии	S^2	0,0168
Среднее квадратическое отклонение	σ	0,129
Оценка среднеквадратического отклонения	s	0,13
Коэффициент вариации	v	5,57
Относительное линейное отклонение	K_d	4,33

Таблица 2.12 – Данные для проверки гипотезы о виде распределения

i	x_i	f_i	$f_{i(отн)}$	u_i	φ_i	f_i^*	$f_{i(отн)}^*$	$f_i - f_i^*$	$(f_i - f_i^*)^2$	$(f_i - f_i^*)^2 / f_i^*$
1	2	1	1,67	-2,4085	0,0219	1,021	1,72	0,02089	0,000436	0,00043
2	2,1	3	5,00	-1,6316	0,104	4,848	8,15	1,848	3,4153	0,704
3	2,2	20	33,33	-0,8546	0,2756	12,847	21,60	-7,1527	51,1607	3,982
4	2,3	12	20,00	-0,0777	0,3977	18,539	31,17	6,5391	42,7602	2,306
5	2,4	14	23,33	0,6992	0,3123	14,558	24,48	0,5581	0,3115	0,0214
6	2,5	9	15,00	1,4762	0,1334	6,219	10,46	-2,7814	7,7364	1,244
7	2,6	1	1,67	2,2531	0,031	1,445	2,43	0,4451	0,1981	0,137
Σ		60	100				100			8,396

Граница критической области $K_{кр} = \chi^2(k-1; \alpha)$ для $k = 7$ и $\alpha = 0,05$. $K_{кр}(6; 0,05) = 12,59159$; $K_{набл} = 8,396$. $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергнуть гипотезу о нормальном распределении значений толщины частиц сорго.

На рисунке 2.6 представлена нормальная кривая распределения вероятностей частот показателя толщины частиц сорго и его фактические значения, полученные экспериментально.



Рисунок 2.6 – Экспериментальное и теоретическое распределение толщины частиц сорго

2.1.2 Размерные характеристики зерновок вики

2.1.2.1 Анализ распределения длины частиц вики

Дискретный вариационный ряд экспериментальных значений длины зерновок вики представлен в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Вариационный ряд распределения длины частиц вики

Длина частиц вики, x_i	4,4	4,5	4,7	4,8	4,9	5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,8	5,9	6	6,1
Частота, f_i	1	1	2	3	7	10	6	6	4	2	10	1	2	3	1	1

Полигон распределения значений длины представлен на рисунке 2.7.

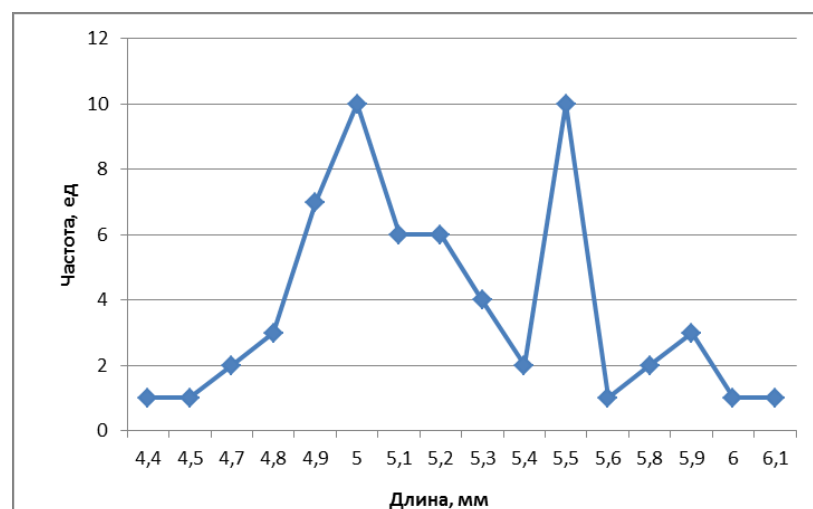


Рисунок 2.7 – Полигон распределения признака длины частиц вики

Промежуточные расчеты для определения статистических показателей представлены в таблице 2.14, а их значения – в таблице 2.15.

Таблица 2.14 – Данные для расчета статистических показателей

x_i	Кол-во, f_i	$x_i f_i$	Накопленная частота, S	$ x - x_{cp} f_i$	$(x - x_{cp})^2 f_i$	Относительная частота, f_i/f
4,4	1	4,4	1	0,813	0,662	0,0167
4,5	1	4,5	2	0,713	0,509	0,0167
4,7	2	9,4	4	1,027	0,527	0,0333
4,8	3	14,4	7	1,24	0,513	0,05
4,9	7	34,3	14	2,193	0,687	0,117
5	10	50	24	2,133	0,455	0,167
5,1	6	30,6	30	0,68	0,0771	0,1
5,2	6	31,2	36	0,08	0,00107	0,1
5,3	4	21,2	40	0,347	0,03	0,0667
5,4	2	10,8	42	0,373	0,0697	0,0333
5,5	10	55	52	2,867	0,822	0,167
5,6	1	5,6	53	0,387	0,15	0,0167
5,8	2	11,6	55	1,173	0,688	0,0333
5,9	3	17,7	58	2,06	1,415	0,05
6	1	6	59	0,787	0,619	0,0167
6,1	1	6,1	60	0,887	0,786	0,0167
Итого	60	312,8		17,76	8,009	1

Таблица 2.15 – Статистические характеристики вариационного ряда распределения длины частиц вики

Наименование показателя	Усл. обозначение	Значение показателя
Средняя взвешенная	\bar{x}	5,2
Мода	Mo	–
Медиана	Me	5,2
Размах вариации	R	1,7
Среднее линейное отклонение	d	0,3
Дисперсия	D	0,133
Несмещенная оценка дисперсии	S^2	0,136
Среднее квадратическое отклонение	σ	0,365
Оценка среднеквадратического отклонения	s	0,368
Коэффициент вариации	v	7,01
Относительное линейное отклонение	K_d	5,75

Граница критической области $K_{kp} = \chi^2(k-1; \alpha)$ для $k = 16$ и $\alpha = 0,05$. $K_{kp}(15; 0,05) = 24,99579$ [51]; $K_{набл} = 21,206$.

$K_{набл} < K_{kp}$, поэтому нет оснований отвергать гипотезу о нормальном распределении значений длины частиц вики.

Результаты вычислений, необходимых для проверки гипотезы о нормальном распределении признака длины частиц вики и построения нормальной кривой

распределения представлены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Данные для проверки гипотезы о виде распределения

i	x_i	f_i	$f_{i(отн)}$	u_i	φ_i	f_i^*	$f_{i(отн)}^*$	$f_i - f_i^*$	$(f_i - f_i^*)^2$	$(f_i - f_i^*)^2 / f_i^*$
1	4,4	1	1,67	-2,2261	0,0332	0,545	1,00	-0,4548	0,2068	0,379
2	4,5	1	1,67	-1,9524	0,0584	0,959	1,75	-0,04095	0,00168	0,00175
3	4,7	2	3,33	-1,405	0,1476	2,424	4,43	0,4239	0,1797	0,0741
4	4,8	3	5,00	-1,1313	0,2083	3,421	6,26	0,4207	0,177	0,0517
5	4,9	7	11,67	-0,8576	0,2756	4,526	8,28	-2,4741	6,121	1,352
6	5	10	16,67	-0,5839	0,3352	5,505	10,07	-4,4953	20,2078	3,671
7	5,1	6	10,00	-0,3102	0,379	6,224	11,39	0,224	0,05017	0,00806
8	5,2	6	10,00	-0,03649	0,3986	6,546	11,98	0,5458	0,298	0,0455
9	5,3	4	6,67	0,2372	0,3876	6,365	11,65	2,3652	5,5942	0,879
10	5,4	2	3,33	0,5109	0,3485	5,723	10,47	3,7231	13,8615	2,422
11	5,5	10	16,67	0,7846	0,292	4,795	8,77	-5,2047	27,0894	5,649
12	5,6	1	1,67	1,0583	0,2275	3,736	6,84	2,736	7,4858	2,004
13	5,8	2	3,33	1,6057	0,1092	1,793	3,28	-0,2067	0,04273	0,0238
14	5,9	3	5,00	1,8794	0,0681	1,118	2,05	-1,8817	3,5406	3,166
15	6	1	1,67	2,1531	0,0387	0,636	1,16	-0,3645	0,1328	0,209
16	6,1	1	1,67	2,4268	0,0208	0,342	0,63	-0,6584	0,4335	1,269
Σ		60	100				100			21,206

Построим совместную диаграмму экспериментальных относительных частот длины частиц вики и нормальной кривой распределения вероятностей частот этого показателя, рисунок 2.8.

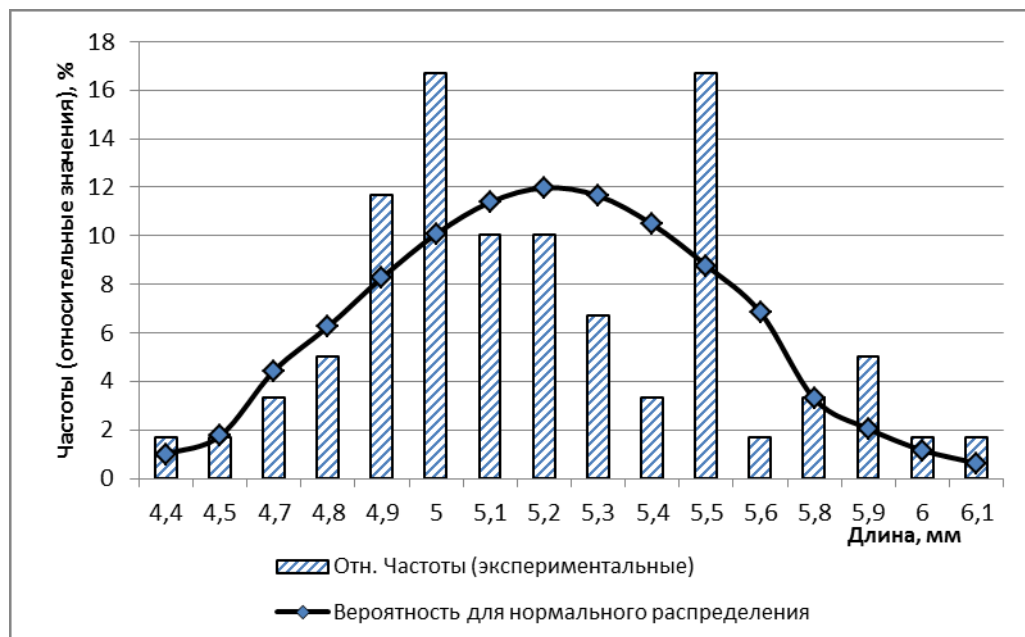


Рисунок 2.8 – Экспериментальное и теоретическое распределение длины частиц вики

2.1.2.2 Анализ распределения ширины частиц вики

Дискретный вариационный ряд экспериментальных значений ширины зерновок вики представлен в таблице 2.17.

Таблица 2.17 – Вариационный ряд распределения ширины частиц вики

Ширина частиц вики, x_i	4,4	4,5	4,7	4,8	4,9	5	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7
Частота, f_i	2	2	5	5	12	7	8	4	6	6	2	1

На рисунке 2.9 представлен полигон распределения значений ширины.

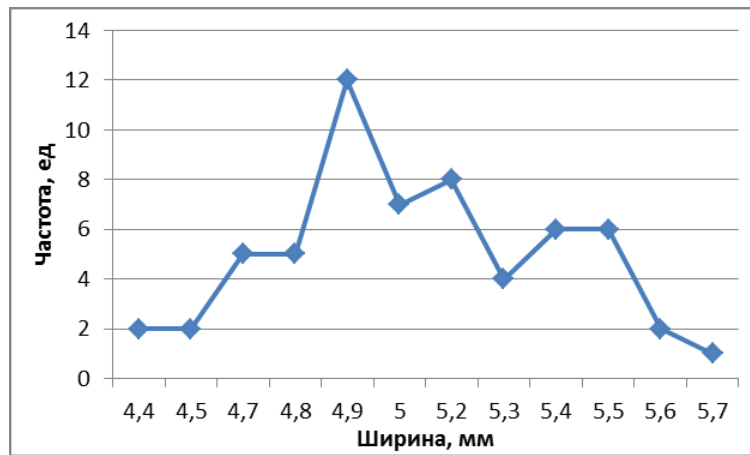


Рисунок 2.9 – Полигон распределения признака ширины частиц вики

Промежуточные расчеты представлены в таблице 2.18, а значения статистических показателей – в таблице 2.19.

Таблица 2.18 – Данные для расчета показателей статистики

x_i	Кол-во, f_i	$x_i f_i$	Накопленная частота, S	$ x - x_{cp} f_i$	$(x - x_{cp})^2 f_i$	Относительная частота, f_i/f
4,4	2	8,8	2	1,34	0,898	0,0333
4,5	2	9	4	1,14	0,65	0,0333
4,7	5	23,5	9	1,85	0,684	0,0833
4,8	5	24	14	1,35	0,364	0,0833
4,9	12	58,8	26	2,04	0,347	0,2
5	7	35	33	0,49	0,0343	0,117
5,2	8	41,6	41	1,04	0,135	0,133
5,3	4	21,2	45	0,92	0,212	0,0667
5,4	6	32,4	51	1,98	0,653	0,1
5,5	6	33	57	2,58	1,109	0,1
5,6	2	11,2	59	1,06	0,562	0,0333
5,7	1	5,7	60	0,63	0,397	0,0167
Итого	60	304,2		16,42	6,046	1

Таблица 2.19 – Статистические характеристики распределения ширины частиц вики

Наименование показателя	Усл. обозначение	Значение показателя
Средняя взвешенная	\bar{x}	5,1
Мода	Mo	4,9
Медиана	Me	5
Размах вариации	R	1,3
Среднее линейное отклонение	d	0,3
Дисперсия	D	0,101
Несмещенная оценка дисперсии	S^2	0,102
Среднее квадратическое отклонение	σ	0,317
Оценка среднеквадратического отклонения	s	0,32
Коэффициент вариации	v	6,26
Относительное линейное отклонение	K_d	5,92

В таблице 2.20 представлены результаты вычислений, необходимых для проверки гипотезы о нормальном распределении признака ширины частиц вики и построения нормальной кривой распределения.

Таблица 2.20 – Данные для проверки гипотезы о виде распределения

i	x_i	f_i	$f_{i(отн)}$	u_i	φ_i	f_i^*	$f_{i(отн)}^*$	$f_i \cdot f_i^*$	$(f_i \cdot f_i^*)^2$	$(f_i \cdot f_i^*)^2 / f_i^*$
1	4,4	2	3,33	-2,1107	0,0422	0,798	1,66	-1,2024	1,4457	1,812
2	4,5	2	3,33	-1,7956	0,079	1,493	3,10	-0,5068	0,2568	0,172
3	4,7	5	8,33	-1,1656	0,2012	3,803	7,90	-1,197	1,4329	0,377
4	4,8	5	8,33	-0,8506	0,2756	5,209	10,82	0,2092	0,04377	0,0084
5	4,9	12	20,00	-0,5355	0,3448	6,517	13,53	-5,4828	30,0613	4,613
6	5	7	11,67	-0,2205	0,3885	7,343	15,25	0,3432	0,1178	0,016
7	5,2	8	13,33	0,4095	0,3668	6,933	14,39	-1,067	1,1385	0,164
8	5,3	4	6,67	0,7246	0,3056	5,776	11,99	1,7763	3,1551	0,546
9	5,4	6	10,00	1,0396	0,2323	4,391	9,12	-1,6092	2,5896	0,59
10	5,5	6	10,00	1,3546	0,1582	2,99	6,21	-3,0098	9,0589	3,03
11	5,6	2	3,33	1,6696	0,0989	1,869	3,88	-0,1307	0,01707	0,00913
12	5,7	1	1,67	1,9846	0,0551	1,041	2,16	0,04146	0,00172	0,00165
Σ		60	100				100			11,339

Граница критической области $K_{кр} = \chi^2(k-1; \alpha)$ для $k = 12$ и $\alpha = 0,05$. $K_{кр}(11; 0,05) = 19,67514$ [51]; $K_{набл} = 11,339$. $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергать гипотезу о нормальном распределении значений ширины частиц вики.

Построим совместную диаграмму экспериментальных относительных частот ширины частиц вики и нормальной кривой распределения вероятностей частот этого показателя, рисунок 2.10.

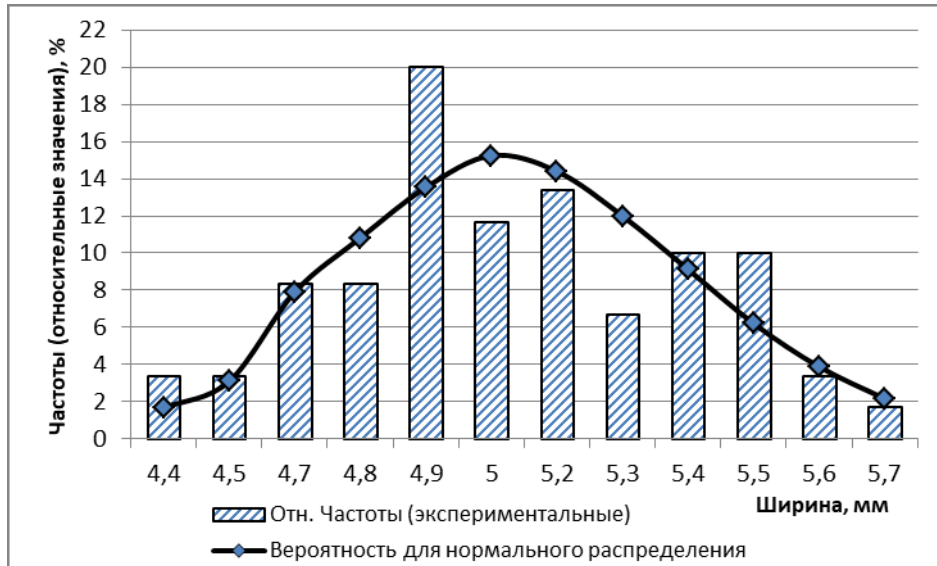


Рисунок 2.10 – Экспериментальное и теоретическое распределение ширины частиц вики

2.1.2.3 Анализ распределения толщины частиц вики

Дискретный вариационный ряд экспериментальных значений толщины зерновок вики представлен в таблице 2.21.

Таблица 2.21 – Вариационный ряд распределения толщины частиц вики

Толщина частиц вики, x_i	3,8	3,9	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9
Частота, f_i	2	3	3	4	7	8	11	8	3	6	3	2

Полигон распределения значений толщины частиц вики представлен на рисунке 2.11.

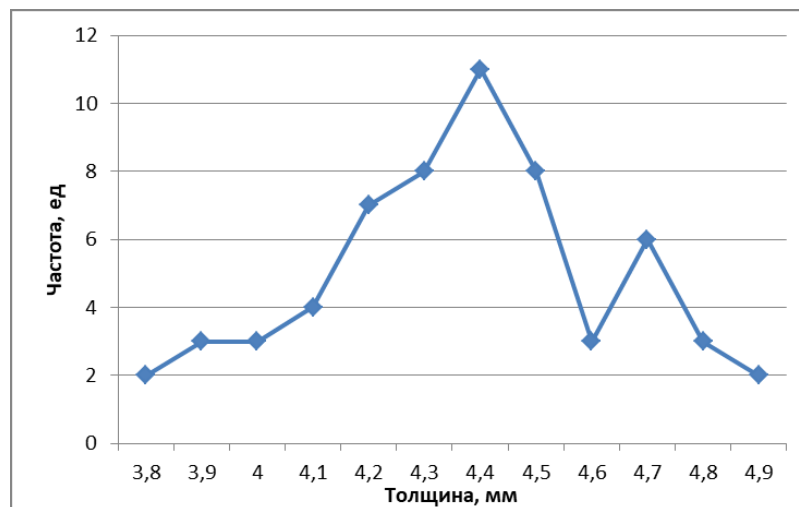


Рисунок 2.11 – Полигон распределения признака толщины частиц вики

Промежуточные расчеты для определения статистических показателей представлены в таблице 2.22, а их значения – в таблице 2.23.

Таблица 2.22 – Данные для расчета показателей статистики

x_i	Кол-во, f_i	$x_i f_i$	Накопленная частота, S	$ x - x_{cp} f_i$	$(x - x_{cp})^2 f_i$	Относительная частота, f_i/f
3,8	2	7,6	2	1,137	0,646	0,0333
3,9	3	11,7	5	1,405	0,658	0,05
4	3	12	8	1,105	0,407	0,05
4,1	4	16,4	12	1,073	0,288	0,0667
4,2	7	29,4	19	1,178	0,198	0,117
4,3	8	34,4	27	0,547	0,0374	0,133
4,4	11	48,4	38	0,348	0,011	0,183
4,5	8	36	46	1,053	0,139	0,133
4,6	3	13,8	49	0,695	0,161	0,05
4,7	6	28,2	55	1,99	0,66	0,1
4,8	3	14,4	58	1,295	0,559	0,05
4,9	2	9,8	60	1,063	0,565	0,0333
Итого	60	262,1		12,89	4,33	1

Таблица 2.23 – Статистические характеристики распределения толщины частиц вики

Наименование показателя	Усл. обозначение	Значение показателя
Средняя взвешенная	\bar{x}	4,4
Мода	Mo	4,4
Медиана	Me	4,4
Размах вариации	R	1,1
Среднее линейное отклонение	d	0,2
Дисперсия	D	0,0722
Несмещенная оценка дисперсии	S^2	0,0734
Среднее квадратическое отклонение	σ	0,269
Оценка среднеквадратического отклонения	s	0,271
Коэффициент вариации	v	6,15
Относительное линейное отклонение	K_d	4,58

В таблице 2.24 представлены результаты вычислений, необходимых для проверки гипотезы о нормальном распределении признака толщины частиц вики и построения нормальной кривой распределения.

Граница критической области $K_{кр} = \chi^2(k-1; \alpha)$ для $k = 12$ и $\alpha = 0,05$. $K_{кр}(11; 0,05) = 19,67514$ [51]; $K_{набл} = 5,782$. $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергнуть гипотезу о нормальном распределении значений толщины частиц вики.

Таблица 2.24 – Данные для проверки гипотезы о виде распределения

i	x_i	f_i	$f_{i(омн)}$	u_i	φ_i	f_i^*	$f_{i(омн)}^*$	$f_i \cdot f_i^*$	$(f_i \cdot f_i^*)^2$	$(f_i \cdot f_i^*)^2 / f_i^*$
1	3,8	2	3,33	-2,1156	0,0422	0,943	1,62	-1,0575	1,1182	1,186
2	3,9	3	5,00	-1,7434	0,0863	1,928	3,31	-1,0725	1,1502	0,597
3	4	3	5,00	-1,3711	0,1539	3,437	5,90	0,4374	0,1913	0,0557
4	4,1	4	6,67	-0,9989	0,242	5,405	9,28	1,4051	1,9744	0,365
5	4,2	7	11,67	-0,6266	0,3271	7,306	12,54	0,3059	0,09356	0,0128
6	4,3	8	13,33	-0,2544	0,3857	8,615	14,78	0,6147	0,3779	0,0439
7	4,4	11	18,33	0,1179	0,3961	8,847	15,18	-2,153	4,6354	0,524
8	4,5	8	13,33	0,4901	0,3521	7,864	13,50	-0,1357	0,01843	0,00234
9	4,6	3	5,00	0,8624	0,2732	6,102	10,47	3,102	9,6224	1,577
10	4,7	6	10,00	1,2346	0,1849	4,13	7,09	-1,8702	3,4977	0,847
11	4,8	3	5,00	1,6069	0,1092	2,439	4,19	-0,561	0,3147	0,129
12	4,9	2	3,33	1,9792	0,0562	1,255	2,15	-0,7448	0,5547	0,442
		60	100				100			5,782

Построим совместную диаграмму экспериментальных относительных частот толщины частиц вики и нормальной кривой распределения вероятностей частот этого показателя, рисунок 2.12.

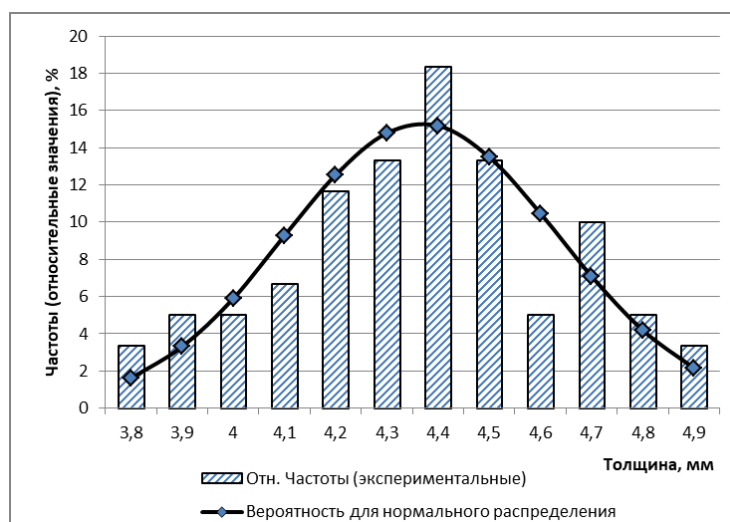


Рисунок 2.12 – Экспериментальное и теоретическое распределение толщины частиц вики

2.1.3 Размерные характеристики зерновок ячменя

2.1.3.1 Анализ распределения длины частиц ячменя

При исследовании размерных характеристик ячменя было выполнено измерение линейных размеров 200 зерновок.

Наименьшее значение длины частиц ячменя в исследуемой выборке соста-

вило 7,2 мм, ширины – 3,0 мм, толщины – 2,4 мм. Наибольшее значение длины частиц ячменя в исследуемой выборке составило 12,7 мм, ширины – 4,6 мм, толщины – 4,0 мм.

При построении дискретного вариационного ряда оказалось, что количество вариант x_i составило 39, что крайне усложняет статистический анализ полученных экспериментальных данных. В связи с этим выполним группировку данных: объединим отдельные единицы совокупности в однородные группы. Составим интервальный вариационный ряд признака длины частиц ячменя.

Число групп определим по формуле Стерджесса [50]:

$$n = 1 + 3,2 \lg n = 1 + 3,2 \lg(200) = 8 \quad (2.11)$$

Величина интервала составит:

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n} = \frac{12,7 - 7,2}{8} = 0,7, \quad (2.12)$$

где x_{\max} - максимальное значение длины частиц ячменя в совокупности;

x_{\min} - минимальное значение длины частиц ячменя, таблица 2.25.

Таблица 2.25 – Характеристики полученных групп

Номер группы	Нижнее значение границы	Верхнее значение граница
1	7,2	7,9
2	7,9	8,6
3	8,6	9,3
4	9,3	10
5	10	10,7
6	10,7	11,4
7	11,4	12,1
8	12,1	12,8

Для каждого значения длины частиц ячменя, полученных экспериментально, подсчитаем, сколько раз оно попадает в тот или иной интервал и построим интервальный вариационный ряд, таблица 2.26. Значения, соответствующие верхним границам предыдущих интервалов и нижним границам последующих интервалов, учитываются в интервале, где значению соответствует верхняя граница.

Необходимые промежуточные данные для определения статистических показателей ряда приведены в таблице 2.27.

Таблица 2.26 – Вариационный ряд распределения длины частиц ячменя

Группы	7,2 - 7,9	7,9 - 8,6	8,6 - 9,3	9,3 - 10	10 - 10,7	10,7 - 11,4	11,4 - 12,1	12,1 - 12,8
Середина интервала, $x_{\text{центр}}$	7,55	8,25	8,95	9,65	10,35	11,05	11,75	12,45
Частота, f_i	2	7	25	57	54	36	15	4

Таблица 2.27 – Данные для определения статистических показателей

Группы	Середина интервала, $x_{\text{центр}}$	Кол-во, f_i	$x_i f_i$	Накопленная частота, S	$ x - x_{\text{cp}} \cdot f_i$	$(x - x_{\text{cp}})^2 \cdot f_i$	Относительная частота, f_i/f
7,2 - 7,9	7,55	2	15,1	2	5,194	13,489	0,01
7,9 - 8,6	8,25	7	57,75	9	13,279	25,19	0,035
8,6 - 9,3	8,95	25	223,75	34	29,925	35,82	0,125
9,3 - 10	9,65	57	550,05	91	28,329	14,08	0,285
10 - 10,7	10,35	54	558,9	145	10,962	2,225	0,27
10,7 - 11,4	11,05	36	397,8	181	32,508	29,355	0,18
11,4 - 12,1	11,75	15	176,25	196	24,045	38,544	0,075
12,1 - 12,8	12,45	4	49,8	200	9,212	21,215	0,02
Итого		200	2029,4		153,454	179,918	1

На рисунке 2.13 представлена гистограмма относительных частот и полигон эмпирических частот распределения признака длины частиц ячменя в рассматриваемой выборке.

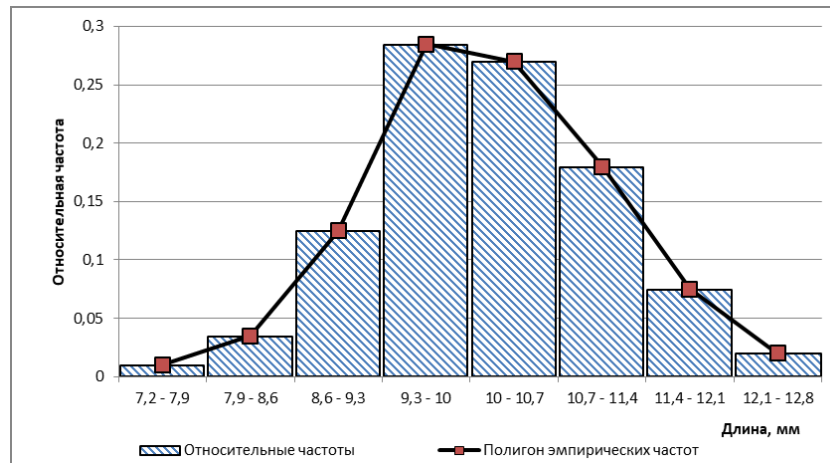


Рисунок 2.13 – Гистограмма относительных частот и полигон эмпирических частот распределения длины частиц ячменя

Определим показатели статистической оценки рассматриваемого ряда. Мода интервального вариационного ряда определяется по формуле [44, 26]:

$$Mo = x_0 + h \frac{f_2 - f_1}{(f_2 - f_1) + (f_2 - f_3)}, \quad (2.13)$$

где x_0 – начало модального интервала; h – величина интервала; f_2 – частота, соответствующая модальному интервалу; f_1 – предмодальная частота; f_3 – послемодальная частота.

Тогда:

$$Mo = 9,3 + 0,7 \frac{57 - 25}{(57 - 25) + (57 - 54)} = 9,9.$$

Медиана определяется по формуле:

$$Me = x_0 + \frac{h}{f_{me}} \left(\frac{\sum f_i}{2} - S_{me-1} \right), \quad (2.14)$$

где x_0 – нижняя граница интервала, который содержит медиану (медианным является интервал 10 - 10,7);

$\sum f_i$ – сумма частот или число элементов в группе;

S_{me-1} – накопленная частота интервала, предшествующего медианному;

f_{me} – частота медианного интервала.

$$Me = 10 + \frac{0,7}{54} \left(\frac{200}{2} - 91 \right) = 10,1.$$

Остальные статистические характеристики ряда определяем по формулам (2.2) – (2.8) и вносим в таблицу 2.28.

Таблица 2.28 – Статистические характеристики вариационного ряда распределения длины частиц вики

Наименование показателя	Усл. обозначение	Значение показателя
Средняя взвешенная	\bar{x}	10,1
Мода	Mo	9,9
Медиана	Me	10,1
Размах вариации	R	5,6
Среднее линейное отклонение	d	0,8
Дисперсия	D	0,9
Несмещенная оценка дисперсии	S^2	0,904
Среднее квадратическое отклонение	σ	0,948
Оценка среднеквадратического отклонения	s	0,951
Коэффициент вариации	v	9,35
Относительное линейное отклонение	K_d	7,88

Гипотезу о нормальном распределении длины частиц ячменя проверим с помощью критерия согласия Пирсона:

$$K = \sum \frac{(f_i - fp_i)^2}{fp_i}, \quad (2.15)$$

где p_i – вероятность попадания в i -й интервал случайной величины при ее распределении по нормальному закону.

Численные значения вероятностей p_i определим с помощью формулы и таблицы функции Лапласа [91]:

$$p_i = \Phi(x_2) - \Phi(x_1) = F\left(\frac{x_{i+1} - \bar{x}}{\sigma}\right) - F\left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}\right), \quad (2.16)$$

где $\sigma = 0,948$, $\bar{x} = 10,1$ (см. таблицу 2.28).

Результаты выполненных расчетов представлены в таблице 2.29.

Таблица 2.29 – Расчет статистики Пирсона для рассматриваемого ряда

Группы	f_i	$x_1 = (x_i - x_{cp})/\sigma$	$x_2 = (x_{i+1} - x_{cp})/\sigma$	$\Phi(x_1)$	$\Phi(x_2)$	$p_i = \Phi(x_2) - \Phi(x_1)$	f^*_i	$f^*_{i(оми)}$	Слагаемые статистики Пирсона, K_i
7,2 - 7,9	2	-3,0993	-2,3632	-0,4993	-0,4913	0,0080	1,602	0,80	0,0989
7,9 - 8,6	7	-2,3632	-1,627	-0,4913	-0,4484	0,0429	8,58	4,30	0,291
8,6 - 9,3	25	-1,627	-0,8908	-0,4484	-0,3159	0,1325	26,5	13,29	0,0849
9,3 - 10	57	-0,8908	-0,1546	-0,3159	-0,0636	0,2523	50,46	25,31	0,8476
10 - 10,7	54	-0,1546	0,5816	-0,0636	0,2224	0,286	57,2	28,69	0,179
10,7 - 11,4	36	0,5816	1,3178	0,2224	0,4066	0,1842	36,84	18,48	0,0195
11,4 - 12,1	15	1,3178	2,054	0,4066	0,4803	0,0737	14,74	7,39	0,0046
12,1 - 12,8	4	2,054	2,7901	0,4803	0,4974	0,0171	3,42	1,72	0,0984
Σ	200							100	1,6235

Границу критической области $K_{kp} = \chi^2(k-1; \alpha)$ находим по таблицам распределения χ^2 [51, 92]: $K_{kp} = \chi^2(7; 0,05) = 14,06714$; $K_{набл} = 1,6235$. $K_{набл} < K_{kp}$, поэтому принимаем гипотезу о нормальном распределении длины частиц ячменя.

Построим совместно гистограмму экспериментальных относительных частот длины частиц ячменя и нормальную кривую распределения вероятностей частот этого показателя, рисунок 2.14.

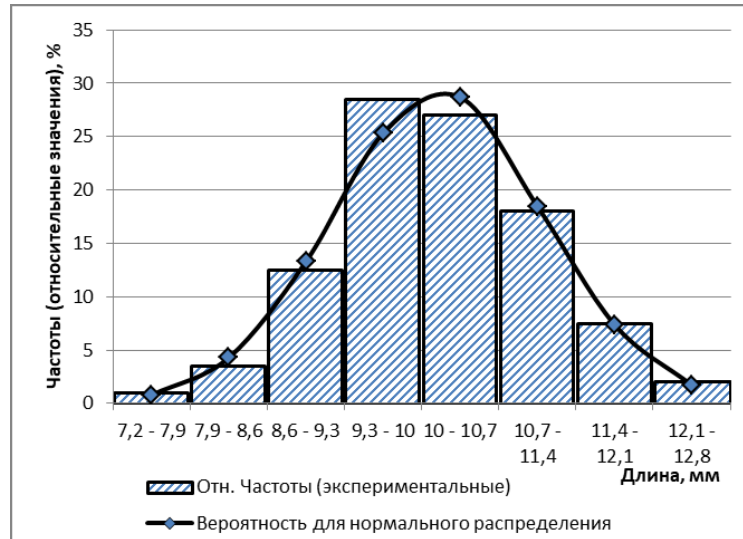


Рисунок 2.14 – Экспериментальное и теоретическое распределение длины частиц ячменя

2.1.3.2 Анализ распределения ширины частиц ячменя

Наименьшее значение ширины частиц ячменя в исследуемой выборке составило 3,0 мм. Наибольшее значение ширины – 4,6 мм.

Для построения интервального ряда принимаем ширину интервала, равную $h = 0,19$, тогда число интервалов составит:

$$n = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{h} = \frac{4,6 - 3}{0,19} = 8.$$

Для каждого интервала подсчитаем число частиц ячменя, ширина которых соответствует данному интервалу, и построим интервальный вариационный ряд, таблица 2.30.

Таблица 2.30 – Вариационный ряд распределения ширины частиц ячменя

Группы	3 - 3,19	3,19 - 3,38	3,38 - 3,57	3,57 - 3,76	3,76 - 3,95	3,95 - 4,14	4,14 - 4,33	4,33 - 4,6
Середина интервала, $x_{ц}$	3,1	3,29	3,48	3,67	3,86	4,05	4,24	4,47
Частота, f_i	5	18	31	36	50	38	18	4

Данные для расчета статистических показателей ряда приведены в таблице 2.31.

Таблица 2.31 – Промежуточные расчетные данные

Группы	Середина интервала	Кол-во, f_i	$x_i \cdot f_i$	Накопленная частота, S	$ x - x_{cp} \cdot f_i$	$(x - x_{cp})^2 \cdot f_i$	Относительная частота, f_i/f
3 - 3,19	3,1	5	15,475	5	3,396	2,306	0,025
3,19 - 3,38	3,29	18	59,13	23	8,804	4,306	0,09
3,38 - 3,57	3,48	31	107,725	54	9,272	2,773	0,155
3,57 - 3,76	3,67	36	131,94	90	3,928	0,429	0,18
3,76 - 3,95	3,86	50	192,75	140	4,045	0,327	0,25
3,95 - 4,14	4,05	38	153,71	178	10,294	2,789	0,19
4,14 - 4,33	4,24	18	76,23	196	8,296	3,824	0,09
4,33 - 4,6	4,47	4	17,86	200	2,764	1,909	0,02
Итого		200	754,82		50,798	18,663	1

На рисунке 2.15 представлена гистограмма относительных частот и полигон эмпирических частот распределения признака ширины частиц ячменя в рассматриваемой выборке.

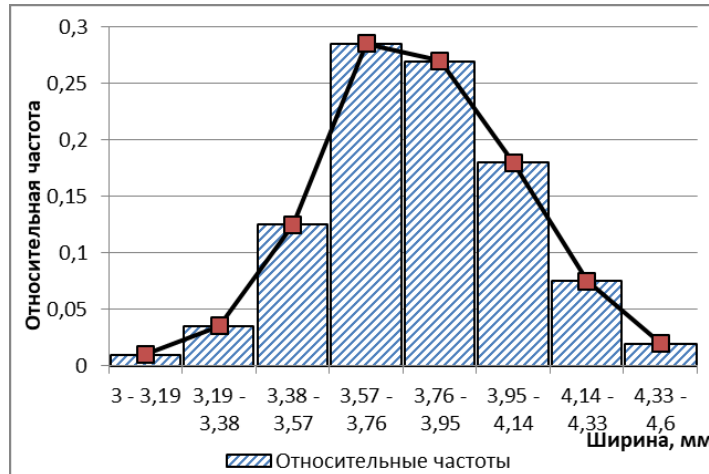


Рисунок 2.15 – Гистограмма относительных частот и полигон эмпирических частот распределения ширины частиц ячменя

Показатели оценки ряда распределения определены по формулам (2.2)-(2.8), (2.13), (2.14) и представлены в таблице 2.32.

Таблица 2.32 – Статистические характеристики вариационного ряда распределения ширины частиц вики

Наименование показателя	Усл. обозначение	Значение показателя
1	2	3
Средняя взвешенная	\bar{x}	3,8
Мода	Mo	3,9
Медиана	Me	3,8
Размах вариации	R	1,6
Среднее линейное отклонение	d	0,3
Дисперсия	D	0,0933
Несмещенная оценка дисперсии	S^2	0,0938

Продолжение таблицы 2.32

1	2	3
Среднее квадратическое отклонение	σ	0,305
Оценка среднеквадратического отклонения	s	0,306
Коэффициент вариации	v	8,09
Относительное линейное отклонение	K_d	7,95

С целью проверки гипотезы о нормальном распределении ширины частиц ячменя с помощью критерия согласия Пирсона (2.15), (2.16) выполнены и представлены в таблице 2.33 промежуточные расчеты.

Таблица 2.33 – Расчет статистики Пирсона для рассматриваемого ряда

Группы	f_i	$x_1 = (x_i - x_{cp})/\sigma$	$x_2 = (x_{i+1} - x_{cp})/\sigma$	$\Phi(x_1)$	$\Phi(x_2)$	$p_i = \Phi(x_2) - \Phi(x_1)$	f_i^*	$f_i^{*(отн)}, \%$	Слагаемые статистики Пирсона, K_i
3 - 3,19	5	-2,5278	-1,9073	-0,4945	-0,4719	0,0226	4,52	2,28	0,051
3,19 - 3,38	18	-1,9073	-1,2869	-0,4719	-0,4015	0,0704	14,08	7,10	1,0914
3,38 - 3,57	31	-1,2869	-0,6665	-0,4015	-0,2486	0,1529	30,58	15,43	0,0058
3,57 - 3,76	36	-0,6665	-0,04604	-0,2486	-0,0199	0,2287	45,74	23,08	2,0741
3,76 - 3,95	50	-0,04604	0,5744	-0,0199	0,219	0,2389	47,78	24,11	0,1031
3,95 - 4,14	38	0,5744	1,1948	0,219	0,3849	0,1659	33,18	16,74	0,7002
4,14 - 4,33	18	1,1948	1,8153	0,3849	0,4656	0,0807	16,14	8,14	0,2143
4,33 - 4,6	4	1,8153	2,6969	0,4656	0,4965	0,0309	6,18	3,12	0,769
	200							100	5,0089

Граница критической области $K_{кр} = \chi^2(7; 0,05) = 14,06714$; $K_{набл} = 5,0089$. $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому гипотезу о нормальном распределении ширины частиц ячменя принимаем.

Построим совместно гистограмму экспериментальных относительных частот ширины частиц ячменя и нормальную кривую распределения вероятностей частот этого показателя, рисунок 2.16.



Рисунок 2.16 – Экспериментальное и теоретическое распределение ширины частиц ячменя

2.1.3.3 Анализ распределения толщины частиц ячменя

Наименьшее значение толщины частиц ячменя в исследуемой выборке составило 2,4 мм. Наибольшее значение толщины – 4,0 мм.

Для построения интервального ряда принимаем ширину интервала, равную $h = 0,19$, тогда число интервалов составит:

$$n = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{h} = \frac{4 - 2,4}{0,19} \approx 8.$$

Для каждого интервала подсчитаем число частиц ячменя, толщина которых соответствует данному интервалу, и построим интервальный вариационный ряд, таблица 2.34. Необходимые данные для расчета статистических показателей ряда приведены в таблице 2.35.

Таблица 2.34 – Вариационный ряд распределения толщины частиц ячменя

Группы	2,4 - 2,59	2,59 - 2,78	2,78-2,97	2,97-3,16	3,16-3,35	3,35-3,54	3,54-3,73	3,73-4
Середина интервала, $x_{ц}$	2,5	2,69	2,88	3,07	3,26	3,45	3,64	3,87
Частота, f_i	5	19	30	50	43	27	16	10

Таблица 2.35 – Расчетные данные для определения статистических показателей

Группы	Середина интервала	Кол-во, f_i	$x_i f_i$	Накопленная частота, S	$ x - x_{cp} f_i$	$(x - x_{cp})^2 f_i$	Относительная частота, f_i/f
2,4 - 2,59	2,5	5	12,48	5	3,345	2,237	0,025
2,59 - 2,78	2,69	19	51,02	24	9,099	4,358	0,095
2,78 - 2,97	2,88	30	86,25	54	8,667	2,504	0,15
2,97 - 3,16	3,07	50	153,25	104	4,945	0,489	0,25
3,16 - 3,35	3,26	43	139,97	147	3,917	0,357	0,215
3,35 - 3,54	3,45	27	93,02	174	7,59	2,133	0,135
3,54 - 3,73	3,64	16	58,16	190	7,538	3,551	0,08
3,73 - 4	3,87	10	38,65	200	7,011	4,915	0,05
Итого		200	632,78		52,111	20,544	1

Гистограмма и полигон частот распределения толщины частиц ячменя представлена на рисунке 2.17.

Показатели оценки ряда распределения, определенные по формулам (2.2) - (2.8), (2.13), (2.14), представлены в таблице 2.36. Этапы расчетов для проверки гипотезы о нормальном распределении значения толщины зерновок ячменя в рассматриваемом интервальном ряду приведены в таблице 2.37.

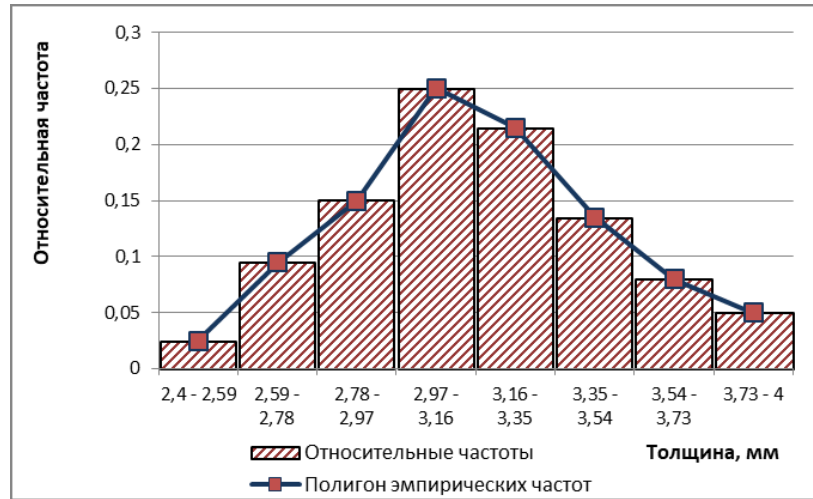


Рисунок 2.17 – Полигон эмпирических частот и гистограмма относительных частот распределения толщины частиц ячменя

Таблица 2.36 – Статистические характеристики вариационного ряда распределения толщины частиц вики

Наименование показателя	Усл. обозначение	Значение показателя
Средняя взвешенная	\bar{x}	3,2
Мода	Mo	3,1
Медиана	Me	3,1
Размах вариации	R	1,6
Среднее линейное отклонение	d	0,3
Дисперсия	D	0,103
Несмещенная оценка дисперсии	S^2	0,103
Среднее квадратическое отклонение	σ	0,321
Оценка среднеквадратического отклонения	s	0,321
Коэффициент вариации	v	10,13
Относительное линейное отклонение	K_d	9,48

Таблица 2.37 – Расчет статистики Пирсона для рассматриваемого ряда

Группы	f_i	$x_1 = (x_i - x_{cp})/s$	$x_2 = (x_{i+1} - x_{cp})/s$	$\Phi(x_1)$	$\Phi(x_2)$	$p_i = \Phi(x_2) - \Phi(x_1)$	f^*_i	$f^*_{i(отн)}$	Слагаемые статистики Пирсона, K_i
2,4 - 2,59	5	-2,3775	-1,7861	-0,4913	-0,4633	0,028	5,6	2,84	0,06429
2,59 - 2,78	19	-1,7861	-1,1948	-0,4633	-0,3849	0,0784	15,68	7,94	0,703
2,78 - 2,97	30	-1,1948	-0,6035	-0,3849	-0,2291	0,1558	31,16	15,79	0,04318
2,97 - 3,16	50	-0,6035	-0,01214	-0,2291	-0,008	0,2211	44,22	22,40	0,7555
3,16 - 3,35	43	-0,01214	0,5792	-0,008	0,219	0,227	45,4	23,00	0,1269
3,35 - 3,54	27	0,5792	1,1705	0,219	0,381	0,162	32,4	16,42	0,9
3,54 - 3,73	16	1,1705	1,7619	0,381	0,4616	0,0806	16,12	8,17	0,000893
3,73 - 4	10	1,7619	2,6022	0,4616	0,4956	0,034	6,8	3,45	1,5059
	200								4,0996

Граница критической области: $K_{кр} = \chi^2(7; 0,05) = 14,06714$; $K_{набл} = 4,0996$.

$K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу.

На рисунке 2.18 представлены совместно гистограмма экспериментальных относительных частот толщины частиц ячменя и нормальная кривая распределения вероятностей частот этого показателя.

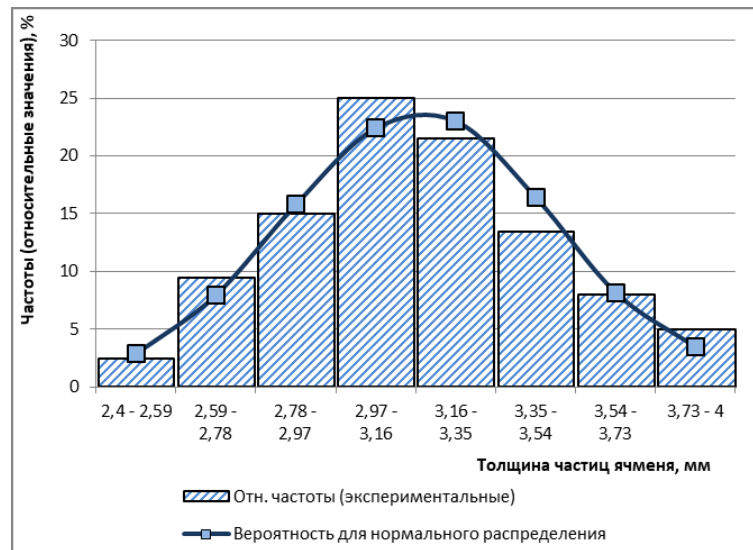


Рисунок 2.18 – Экспериментальное и теоретическое распределение толщины частиц ячменя

2.1.4 Соотношение размеров частиц основной культуры и примесей

При рассмотрении зерносмеси из представленных компонентов основной культурой является ячмень, а примесными компонентами – сорго и вика. Для установления возможности разделения компонентов зерносмеси и оценки вероятного качества процесса очистки необходимо построить совместно вариационные кривые одноименных размерных признаков для трех компонентов зерносмеси. Для этой цели будем использовать теоретические кривые нормального распределения, как наиболее точно отражающие свойства соответствующих генеральных совокупностей рассматриваемых объектов.

В таблице 2.38 представлены данные для построения теоретических вариационных кривых, полученные нами в п.п. 2.3.1 – 2.3.3.

На основании данных таблицы 2.38 построим совместные теоретические вариационные кривые длины, ширины и толщины для ячменя, сорго и вики, рисунки 2.19 – 2.21.

Таблица 2.38 – Относительные теоретические частоты для нормального распределения значений длины ($f_{dc}^*, f_{dv}^*, f_{dj}^*$), ширины ($f_{uc}^*, f_{uv}^*, f_{uj}^*$) и толщины ($f_{mc}^*, f_{mv}^*, f_{mj}^*$) частиц сорго, вики и ячменя соответственно

Сорго						Вика						Ячмень					
x_{dc}^* мм	f_{dc}^* %	x_{uc}^* мм	f_{uc}^* %	x_{mc}^* мм	f_{mc}^* %	x_{dv}^* мм	f_{dv}^* %	x_{uv}^* мм	f_{uv}^* %	x_{mv}^* мм	f_{mv}^* %	x_{dj}^* мм	f_{dj}^* %	x_{uj}^* мм	f_{uj}^* %	x_{mj}^* мм	f_{mj}^* %
3,6	2,20	3	2,29	2	1,72	4,4	1,00	4,4	1,66	3,8	1,62	7,55	0,80	3,1	2,28	2,5	2,84
3,7	4,08	3,1	7,61	2,1	8,15	4,5	1,75	4,5	3,10	3,9	3,31	8,25	4,30	3,29	7,10	2,69	7,94
3,8	6,70	3,2	16,67	2,2	21,60	4,7	4,43	4,7	7,90	4	5,90	8,95	13,29	3,48	15,43	2,88	15,79
3,9	9,73	3,3	24,63	2,3	31,17	4,8	6,26	4,8	10,82	4,1	9,28	9,65	25,31	3,67	23,08	3,07	22,40
4	12,49	3,4	24,16	2,4	24,48	4,9	8,28	4,9	13,53	4,2	12,54	10,35	28,69	3,86	24,11	3,26	23,00
4,1	14,17	3,5	15,74	2,5	10,46	5	10,07	5	15,25	4,3	14,78	11,05	18,48	4,05	16,74	3,45	16,42
4,2	14,27	3,6	6,92	2,6	2,43	5,1	11,39	5,2	14,39	4,4	15,18	11,75	7,39	4,24	8,14	3,64	8,17
4,3	12,69	3,7	2,0	—	—	5,2	11,98	5,3	11,99	4,5	13,50	12,45	1,72	4,47	3,12	3,87	3,45
4,4	9,99	—	—	—	—	5,3	11,65	5,4	9,12	4,6	10,47	—	—	—	—	—	—
4,5	6,95	—	—	—	—	5,4	10,47	5,5	6,21	4,7	7,09	—	—	—	—	—	—
4,6	4,35	—	—	—	—	5,5	8,77	5,6	3,88	4,8	4,19	—	—	—	—	—	—
4,7	2,38	—	—	—	—	5,6	6,84	5,7	2,16	4,9	2,15	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	5,8	3,28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	5,9	2,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	6	1,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	6,1	0,63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* – для интервальных вариационных рядов размеров ячменя в качестве x_i представлены середины интервалов

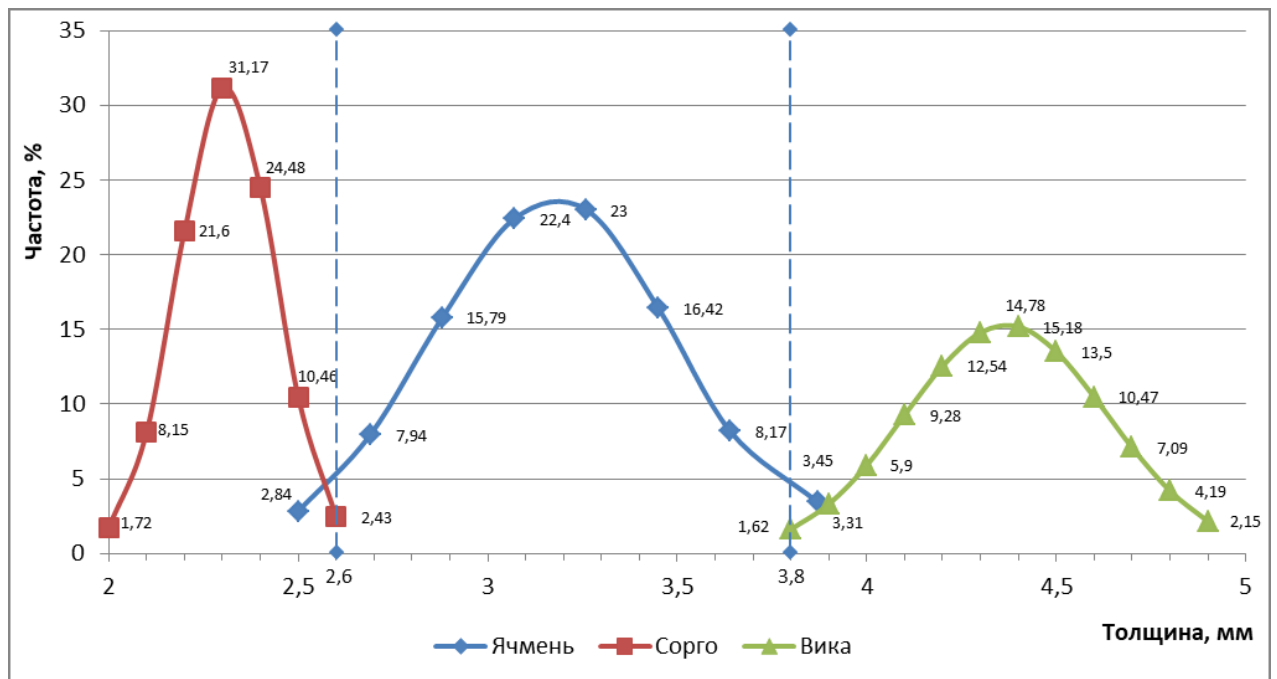


Рисунок 2.19 – Соотношение толщины частиц ячменя, сорго и вики

Из рисунка 2.19 видно, что нормальные кривые распределения толщины частиц рассматриваемых компонентов частично перекрываются. Это означает, что полностью разделить эти компоненты по признаку толщины не представляется возможным. Неизбежны потери основной культуры (ячмень), либо остаточное

содержание в очищенном зерне примесных компонентов.

По признаку толщины частиц компоненты зерносмесей разделяются решетками с продолговатыми отверстиями, определяющим размером которого является ширина отверстия. Рассмотрим возможные варианты выбора решет. Из рисунка 2.19 очевидно, что для полного удаления примесных компонентов необходимо пропустить зерносмесь через два решета с продолговатыми отверстиями шириной $b_1 = 3,8$ мм и $b_2 = 2,6$ мм (им соответствуют вертикальные пунктирные линии на графике). При этом необходимо оценить величину потерь в отходы зерна основной культуры.

Для определения потерь ячменя проходом под решето $b_2 = 2,6$ мм нужно определить уклонение этой величины от среднего значения толщины частиц ячменя в долях среднего квадратического отклонения и по таблице значений нормального интеграла вероятностей установить процент потерь [54, с. 613 – 618].

Среднее взвешенное значение толщины ячменя $\bar{x}_{мя} = 3,2$ мм, среднее квадратическое отклонение для ряда толщины ячменя $\sigma_{мя} = 0,321$ (таблица 3.35). Тогда уклонение от среднего значения:

$$\frac{\bar{x}_{мя} - b_2}{\sigma_{мя}} = \frac{3,2 - 2,6}{0,321} = 1,87. \quad (2.17)$$

При уклонении, равном $1,87\sigma_{мя}$, количество зерен ячменя, толщиной меньше 2,6 мм в процентном выражении (потери ячменя) составит [54]:

$$P_{я2} = \frac{5000 - 4693}{10000} \cdot 100 = 3,07 \%$$

Аналогично определим потери ячменя сходом с решета $b_1 = 3,8$ мм:

$$\frac{b_1 - \bar{x}_{мя}}{\sigma_{мя}} = \frac{3,8 - 3,2}{0,321} = 1,87; \quad (2.18)$$

$$P_{я1} = (5000 - 4693) / 100 = 3,07 \%$$

Суммарные потери ячменя после обработки на двух решетках составят

$$P_{я1} + P_{я2} = 3,07 + 3,07 = 6,14 \%$$

Оценим содержание примесных компонентов в очищенном зерне при под-

боре решет для исключения потерь основной культуры ($b_1 = 3,9$ мм и $b_2 = 2,5$ мм).

Для толщины сорго $\bar{x}_{mc} = 2,3$ мм, $\sigma_{mc} = 0,129$ мм (таблица 2.10).

$$\frac{b_2 - \bar{x}_{mc}}{\sigma_{mc}} = \frac{2,5 - 2,3}{0,129} = 1,55. \quad (2.19)$$

Тогда сход с решета $b_2 = 2,5$ мм частиц сорго в процентном выражении от их общего исходного содержания составит:

$$(5000 - 4394) / 100 = 6,06 \%$$

Другими словами, в чистое зерно попадает 6,06 % частиц сорго от их изначального содержания. Степень выделения частиц сорго составит $C_c = 100 - 6,06 = 93,94$ %. Например, при исходной засоренности на уровне 5 % в очищенном зерне их остаточное содержание составит около 0,3 %. Это достаточно высокий уровень очистки для продовольственного зерна.

Для толщины вики $\bar{x}_{mv} = 4,4$ мм, $\sigma_{mv} = 0,269$ мм (таблица 2.22).

$$\frac{\bar{x}_{mv} - b_1}{\sigma_{mv}} = \frac{4,4 - 3,9}{0,269} = 1,86. \quad (2.20)$$

Тогда проход под решето $b_1 = 3,9$ мм в процентном отношении от изначального содержания частиц вики составит:

$$(5000 - 4686) / 100 = 3,14 \%$$

Для 5%-го уровня исходного содержания вики в зерносмеси ее остаточное содержание в очищенном зерне составит 0,16%, что допустимо для продовольственного зерна.

На рисунке 2.20 представлены нормальные кривые распределения ширины частиц ячменя, сорго и вики. Разделить компоненты зерносмеси по ширине частиц можно с помощью решет с круглыми отверстиями.

Из рисунка 2.20 видно, что кривые ячменя и сорго имеют существенное перекрытие, что свидетельствует о невозможности качественного разделения этих сред по ширине. Перекрытие кривых ячменя и вики незначительное, что говорит о возможности их разделения с высоким качеством.

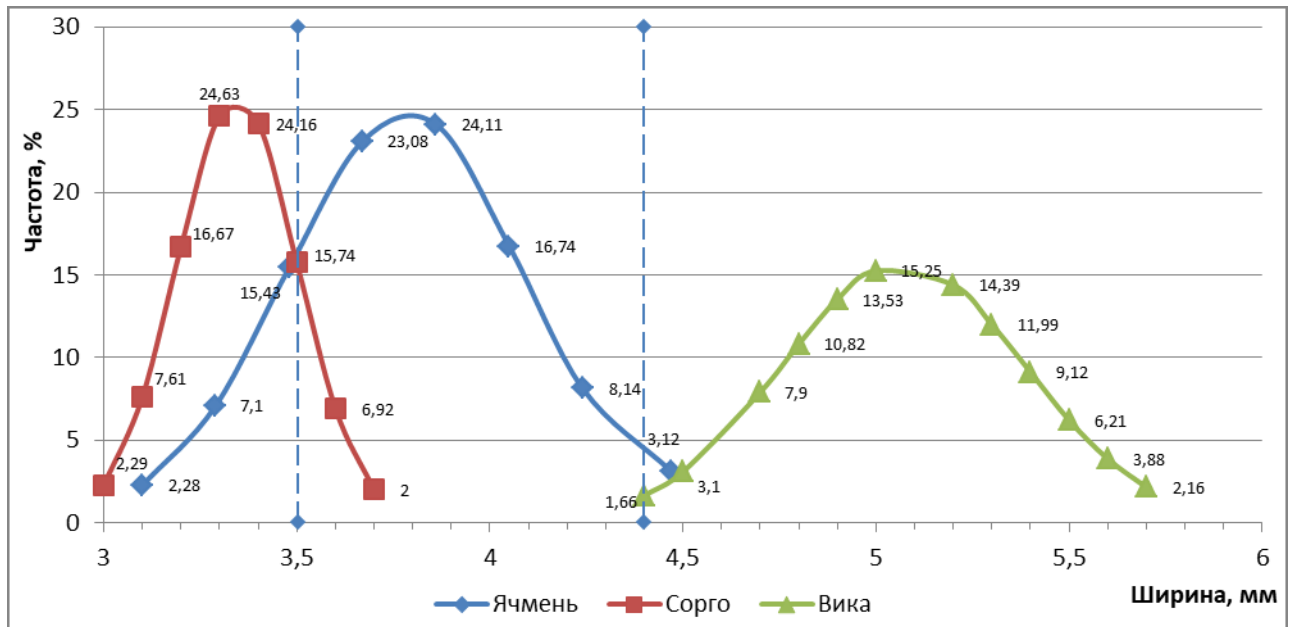


Рисунок 2.20 – Соотношение ширины частиц ячменя, сорго и вики

Оценим потери ячменя при его очистке от вики с помощью решета с круглыми отверстиями диаметром $d_1 = 4,4$ мм. Остаточное содержание вики при этом равно 0. Для ширины частиц ячменя $\bar{x}_{ия} = 3,8$ мм, $\sigma_{ия} = 0,305$ (таблица 2.31).

$$\frac{d_1 - \bar{x}_{ия}}{\sigma_{ия}} = \frac{4,4 - 3,8}{0,305} = 1,97. \quad (2.21)$$

Потери ячменя:

$$П_я = (5000 - 4756) / 100 = 2,44 \text{ \%}.$$

При пропуске зерносмеси через решето с диаметром отверстий $d_1 = 4,5$ мм потерь ячменя не будет, но останется часть семян вики. Для ширины вики $\bar{x}_{ив} = 5,1$ мм, $\sigma_{ив} = 0,317$ (таблица 2.18).

$$\frac{\bar{x}_{ив} - d_1}{\sigma_{ив}} = \frac{5,1 - 4,5}{0,317} = 1,89. \quad (2.22)$$

Тогда проход частиц вики под решето $d_1 = 4,5$ мм (в очищенное зерно) в процентах от изначального содержания составит:

$$(5000 - 4706) / 100 = 2,94.$$

Оценим качество разделения по ширине ячменя и сорго. Для этого рассчитаем потери ячменя и остаточное содержание сорго при их разделении решетками

с диаметром отверстий $d_1 = 3,4$ мм, $d_2 = 3,5$ мм, $d_3 = 3,6$ мм, $d_4 = 3,7$ мм. Для ширины сорго $\bar{x}_{ис} = 3,3$ мм, $\sigma_{ис} = 0,158$ мм.

Результаты расчетов приведены в таблице 2.39.

Таблица 2.39 – Качество разделения ячменя и сорго по ширине

Диаметр отв. решета d_i	$\frac{\bar{x}_{ия} - d_i}{\sigma_{ия}}$	Табличное значение нормального интеграла	Потери ячменя $P_{я}$, %	$\frac{\bar{x}_{ис} - d_i}{\sigma_{ис}}$	Табличное значение нормального интеграла	Ост. содержание сорго (% от исх.)	Степень выделения сорго C_c , %
3,4	1,31	4049	9,51	0,64	2389	2,61	73,9
3,5	0,98	3365	16,3	1,27	3380	10,2	89,8
3,6	0,66	2454	25,5	1,90	4713	2,87	97,13
3,7	0,33	1293	37,1	2,53	4943	0,57	99,43

Из таблицы 2.39 видно, что даже при невысокой степени выделения примесного компонента $C_c = 73,9$ % потери основной культуры высоки $P_{я} = 9,51$ %. При уровне полноты выделения сорго $C_c = 97,13 - 99,43$ % потери ячменя достигают 25,5 – 37,1 %, что свидетельствует о нецелесообразности разделения ячменя и сорго по признаку ширины частиц.

На рисунке 2.21 представлены нормальные кривые распределения длины частиц ячменя, сорго и вики.

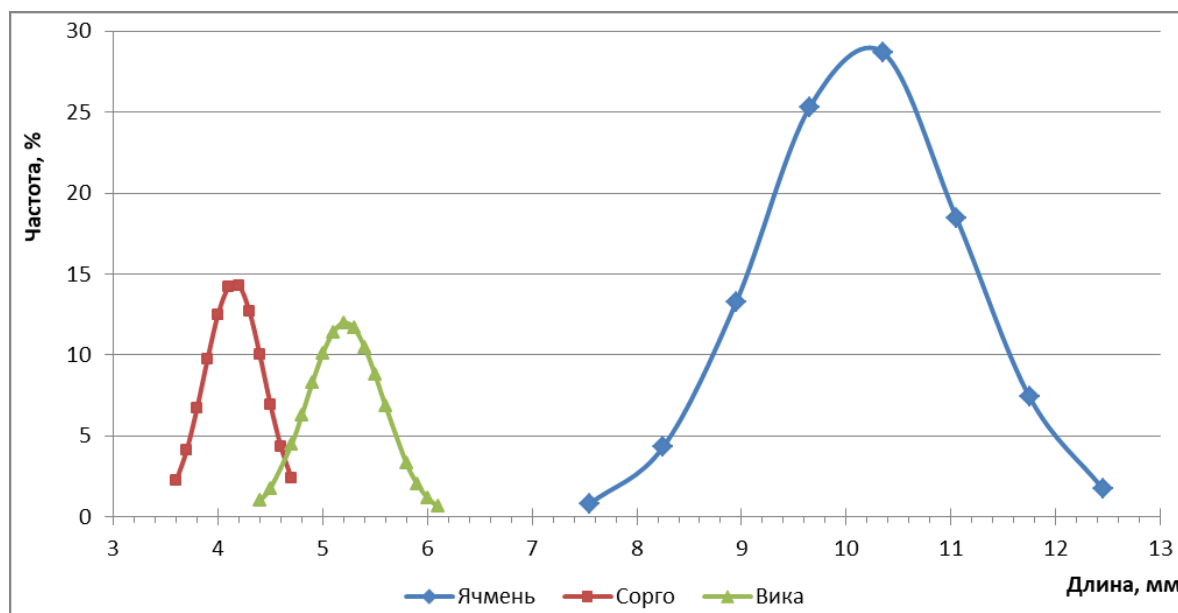


Рисунок 2.21 – Соотношение длины частиц ячменя, сорго и вики

Из рисунка 2.21 видно, что отделить ячмень полностью от сорго и вики можно по признаку длины частиц с помощью триера. При этом в диапазоне длины от 6,2 до 7,5 мм разделение возможно без потерь основной культуры и с пол-

ным выделением примесных компонентов. Этому диапазону соответствуют триеры с типовыми диаметрами ячеек, равными 6,3 мм и 7,1 мм [61, с. 348]. При их использовании можно добиться наилучших результатов по очистке ячменя от сорго и вики.

В типовых зерноочистительных агрегатах наиболее распространены кукольские триерные цилиндры с диаметром ячеек, равным 4,5 мм и 5,0 мм. Из рисунка 2.21 видно, что триером с ячейками $d_{я} = 5,0$ мм можно полностью очистить ячмень от сорго, но нельзя отделить вику. Триером с $d_{я} = 4,5$ мм можно отделить 85,3 % частиц сорго от ячменя. Кроме того, можно частично разделить между собой сорго и вику, однако это не представляет практического интереса ввиду их полного разделения решетками с круглыми или продолговатыми отверстиями.

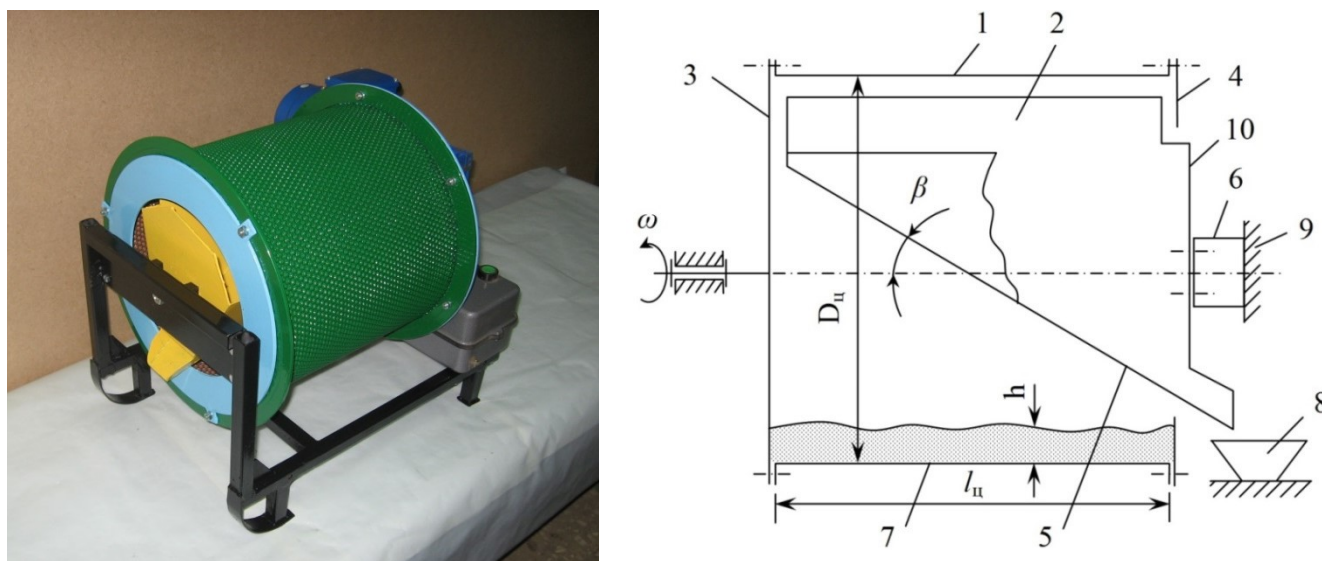
2.2 Обоснование режимов работы и параметров прибора для разделения зерносмесей по длине частиц

Существующие стенды [74, 75, 110] для исследований процессов триерного разделения зерносмесей, созданные в ФГБНУ ВНИИТиН, представляют собой сложное дорогостоящее оборудование, рабочий процесс которых трудоемок и требует использования значительных масс зерносмесей.

С целью упрощения конструкции и сокращения трудоемкости экспериментальных исследований в ФГБНУ ВНИИТиН при участии автора диссертации разработан компактный прибор для разделения проб зерносмесей и исследований триерных процессов [72].

При обосновании параметров прибора нами выбраны величины диаметра цилиндра $D_{ц} = 0,3$ м и длины цилиндра $l_{ц} = 0,3$ м, при которых обеспечивается величина угла наклона днища лотка $\beta = 30^\circ$, что вполне достаточно для непрерывного отвода потока примесных частиц, поступающих в лоток с некоторой начальной кинетической энергией. Непрерывная интервальная оценка позволит определить динамику выделения примесного компонента.

Общий вид и схема предлагаемого прибора представлены на рисунке 2.22.



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

Рисунок 2.22 – Прибор для исследований процессов триерного выделения коротких примесей

Прибор работает следующим образом. В ячеистый цилиндр 1 загружают зерносмесь 7 массой m_n , включают приводной диск 3. Примесные частицы захватываются ячейками и подаются в лоток 2, присоединенный торцевой стенкой 10 к кронштейну 6 рамы 9, и скатываются по наклонному днищу 5 лотка 2 в емкость 8. Через равные интервалы времени, контролируемые с помощью секундомера, сменяются емкости 8.

По окончании процесса привод отключают, снимают блокирующее кольцо 4 и выгружают зерновки основной культуры.

Для обеспечения сопоставимых условий захвата и выброса примесных частиц в лоток 2 при изменении размеров ячеистого цилиндра 1 необходимо выполнить условие кинематического подобия процесса [54, 64]:

$$K_p = \omega^2 R/g = const, \quad (2.23)$$

K_p – коэффициент кинематического режима;

ω – угловая скорость ячеистого цилиндра, рад/с;

R – радиус цилиндра, м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Ячеистый цилиндр с $R = 0,3$ м обеспечивает эффективное выделение примесного компонента при $\omega = 4,2 \text{ с}^{-1}$ (40 об/мин), когда $K_p = 0,73$. Аналогичные условия протекания процесса, когда $R = 0,15$ м, согласно уравнению (2.23), обеспечивается при $\omega = 5,86 \text{ с}^{-1}$ (56 об/мин).

Высота сегмента может быть определена по уравнению:

$$h = m_n / \alpha R_{\text{ц}} l_{\text{ц}} \rho K_{pc}, \quad (2.24)$$

где ρ – насыпная плотность зерносмеси, кг/м^3 .

При значениях массы проб $m_n = 1; 1,5; 2$ кг и характерных для пшеницы величинах $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$ и коэффициенте разуплотнения $K_{pc} = 0,78$, значения h соответственно будут: $h_1 = 24,2$ мм; $h_2 = 36,3$ мм; $h_3 = 48,4$ мм. Поэтому блокирующее кольцо с внутренним радиусом $r_k = 0,09$ м, когда $R_{\text{ц}} - r_k > h_3$, будет надежно предотвращать самопроизвольное истечение зерносмеси из цилиндра.

Для оценки динамики процесса необходимо определить число циркулирующих слоев в сегменте, а также число частиц основной культуры и примесного компонента в контактирующем слое при различных значениях m_n , h , и $Z_{\text{и}}$. В качестве примесного компонента приняты зерновки проса с массой тысячи зерновок $m_{1000\text{пр}} = 0,007$ кг. Диапазон исходной засоренности принят $Z_{\text{и}} = 1; 2$ и 3% , так как согласно [121] существующие триерные блоки не обеспечивает очистку пшеницы до остаточной засоренности $Z_0 = 0,5\%$ при исходной засоренности $Z_{\text{и}} > 3\%$.

Тогда число слоев в сегментах будет $n_{\text{сл}} = h/b$ (b – средний поперечный размер зерновок основной культуры – $3,07$ мм):

$$\begin{cases} m_{\text{П1}} = 1 \text{ кг}; h_1 = 24,2 \text{ мм}; n_{\text{сл1}} = 7,9 \text{ шт}; \\ m_{\text{П2}} = 1,5 \text{ кг}; h_2 = 36,3 \text{ мм}; n_{\text{сл2}} = 11,8 \text{ шт}; \\ m_{\text{П3}} = 2 \text{ кг}; h_3 = 48,4 \text{ мм}; n_{\text{сл3}} = 15,8 \text{ шт}. \end{cases} \quad (2.25)$$

Число зерновок основной культуры в контактирующих слоях будет:

$$n_{\text{сл}} = S_c \cdot n_{3\text{ПШ}} = \alpha \cdot R_{\text{ц}} \cdot l_{\text{ц}} \cdot n_{3\text{ПШ}} = 3168 \text{ шт}, \quad (2.26)$$

где S_c – площадь контактирующего слоя, м^2 ;

$n_{3\text{ПШ}}$ – число зерновок основной культуры, приходящихся на 1 м^2 ($n_{3\text{ПШ}} = 44840 \text{ шт/м}^2$ [121]), шт/м^2 .

Масса контактирующего слоя:

$$m_{сл} = n_{сл} \cdot m_{1000_{пш}} / 1000 = 126,7 \text{ г}, \quad (2.27)$$

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

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

$$\begin{cases} Z_{И1} = 1\%; m_{пр1} = 1,27 \text{ г}; n_{пр1} = 181 \text{ шт}; \\ Z_{И2} = 2\%; m_{пр2} = 2,54 \text{ г}; n_{пр2} = 362 \text{ шт}; \\ Z_{И3} = 3\%; m_{пр3} = 3,81 \text{ г}; n_{пр3} = 543 \text{ шт}. \end{cases} \quad (2.28)$$

Для оценки динамики выделения примесных частиц необходимо сопоставлять величину $n_{пр_{\max}} = 543$ шт. с числом ячеек, взаимодействующих с контактирующим слоем в первом цикле выделения ($n_{яц}$). Если $n_{яц} < n_{пр_{\max}}$, то кривая интенсивности выделения примесных частиц будет содержать горизонтальный участок на протяжении нескольких циклов – до выравнивания $n_{пр_i}$ с $n_{яц}$. Если $n_{яц} \geq n_{пр_{\max}}$, то кривая интенсивности выделения примесных частиц будет непрерывно убывающей с 1-го цикла.

Число $n_{яц}$ определяется по уравнению:

$$n_{яц} = S_{ц} \cdot n_{цн} = \pi D_{ц} l_{ц} n_{цн} = 6840 \text{ шт}, \quad (2.29)$$

где $n_{цн}$ – плотность размещения ячеек на цилиндре, шт./м².

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

Расчеты взаимосвязей текущей остаточной засоренности с числом циклов выделения ($N_{ц}$) и временем использования прибора (t_p) проводили по разработанному нами алгоритму и уравнению [121]:

$$Z_{i+1} = Z_{И} \left(1 - \sum_1^{i+1} n_{пр_i} / P \right), \quad (2.30)$$

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

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

P – исходное число частиц в сегменте, шт.

В качестве примера выполним расчеты интенсивности выделения примесных частиц для исходных условий – $m_n = 1$ кг; $Z_{II} = 3\%$; $P = n_{np_3} \cdot n_{cl} = 4290$ шт. Результаты расчетов представлены в таблице 2.40.

В таблице 2.40 представлены расчеты динамики выделения примесного компонента из зерносмеси за 40 циклов. Это количество циклов сопоставимо с условиями работы стандартных триерных блоков при рабочей длине ячеистых цилиндров 2,25 м и осевом смещении условного сегмента на 53 - 63 мм за цикл (за один оборот ячеистого цилиндра) [121].

Таблица 2.40 – Динамика выделения коротких примесей из зерносмесей

Кратность выделения из сегмента, (N_u)	Число слоев $n_{ск} = 7,9$ Исходная засоренность зерносмеси $Z_u = 3\%$ Число примесных частиц в сегменте $P = 4290$			
	n_{np_i} , шт	Z_i , шт	P_i , шт	$\sum_1^i n_{np_i}$
1	2	3	4	5
1	543	2,62	3747	543
2	471	2,29	3273	1017
3	414	2,0	2859	1431
4	362	1,75	2497	1793
5	316	1,53	2181	2109
6	276	1,33	1905	2385
7	241	1,16	1664	2626
8	211	1,02	1453	2837
9	184	0,89	1269	3021
10	161	0,78	1108	3182
11	140	0,68	968	3322
12	123	0,59	845	3445
13	107	0,52	738	3552
14	93	0,45	645	3645
15	82	0,39	563	3727
16	71	0,34	492	3798
17	62	0,30	430	3860
18	54	0,26	376	3914
19	48	0,23	328	3962
20	42	0,20	286	4004
21	36	0,175	250	4040
22	32	0,15	218	4072
23	28	0,13	190	4100
24	24	0,12	166	4124
25	21	0,10	145	4145
26	18	0,009	127	4163

Продолжение таблицы 2.40

1	2	3	4	5
27	16	0,078	111	4179
28	14	0,068	97	4193
29	12	0,059	85	4205
30	11	0,052	74	4216
31	9	0,045	65	4225
32	8	0,040	57	4233
33	7	0,035	50	4240
34	6	0,031	44	4246
35	6	0,027	38	4252
36	5	0,023	33	4257
37	4	0,020	29	4261
38	4	0,018	25	4265
39	3	0,015	22	4268
40	3	0,013	19	4271

Графически теоретическая динамика выделения коротких примесей представлена на рисунке 2,23.

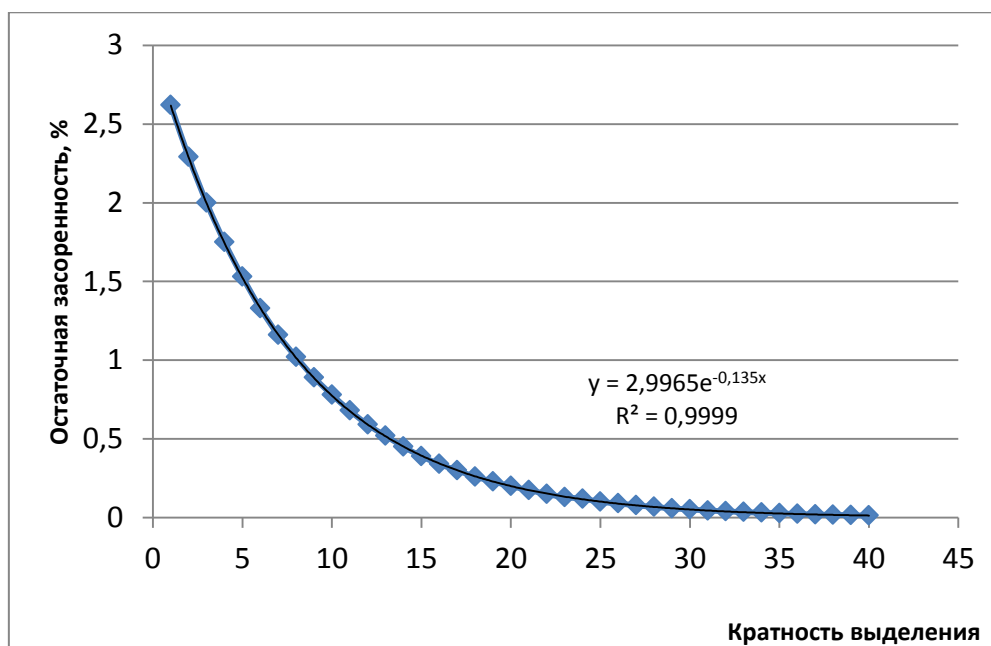


Рисунок 2.23 – Теоретическая динамика выделения коротких примесей

Обоснованные габариты ячеистого цилиндра ($D_{ц} = 0,3$ м, $l_{ц} = 0,3$) и угол наклона лотка $\beta = 30^{\circ}$ обеспечивают работу прибора с пробами массой 1 - 2 кг, когда высота сегмента составляет 0,024 - 0,048 м. Внутренний диаметр блокирующего кольца, равный 0,18 м предотвращает самопроизвольное истечение зерносмеси из ячеистого цилиндра. Установленная теоретическая динамика выделения короткой примеси является непрерывно убывающей.

2.3 Обоснование параметров станда циклического действия для исследований ячеистых поверхностей

В существующей теории триеров [54, 64] в процессе триерного разделения зерносмесей рассматривается условный сегмент зерносмеси, который перемещается в осевом направлении с понижением содержания выделяемого компонента. Реализация модели процесса триерного разделения зерносмесей с экстраполяцией получаемых результатов на произвольную длину ячеистых поверхностей, возможна с помощью станда с циклической моделирующей загрузкой зерносмеси в ячеистый цилиндр при непрерывном отводе из него выделяемого компонента [71], разработанного в ФГБНУ ВНИИТиН при участии автора диссертации.

Применение станда циклического действия в экспериментальных исследованиях обеспечит расширение диапазонов исследуемых факторов и сокращение затрат на исследования. Для этого необходимо обосновать параметры и потребляемую мощность привода.

Конструкция станда поясняется рисунками 2.24 и 2.25.



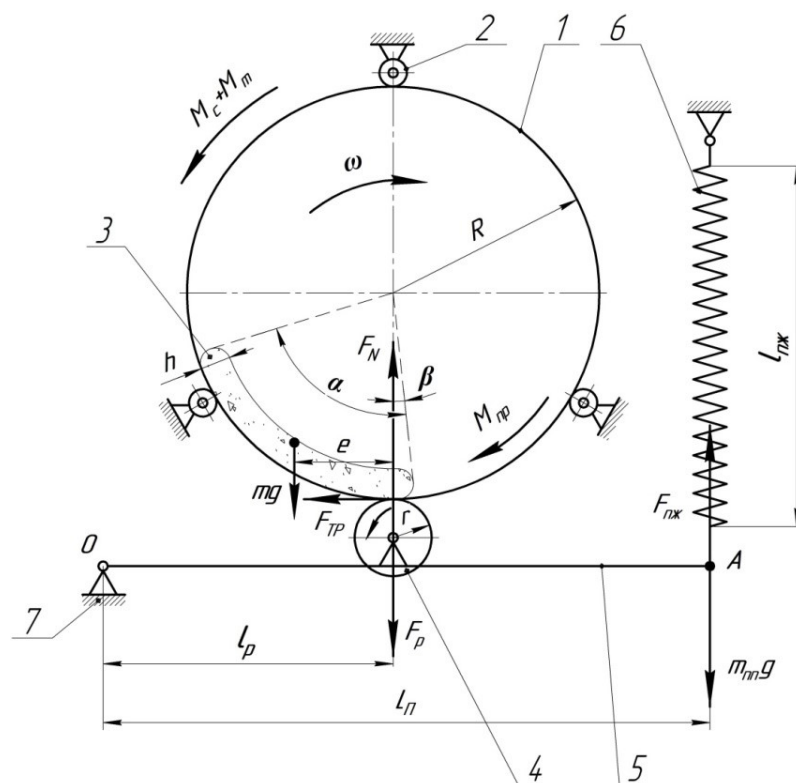
а)



б)

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

Рисунок 2.24 – Общий вид станда



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

Рисунок 2.25 – Расчетная схема для определения мощности привода ячеистого цилиндра

Ячеистый цилиндр 1 радиусом R размещен в опорных роликах 2. Внутри ячеистого цилиндра 1 находится сегмент 3 исследуемой зерносмеси с углом охвата α , массой m и смещением относительно вертикальной оси на угол β .

Величину смещения (e) центра тяжести сегмента зерносмеси относительно вертикальной можно определить по формуле:

$$e = (R - h) \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \beta\right). \quad (2.31)$$

Высота слоя (h) сегмента зерносмеси зависит от величины ее подачи (W) внутрь ячеистого цилиндра и рассчитывается согласно теории триеров [54, 64].

Для рассматриваемого стенда условия загрузки моделируются расчетной величиной массы (m) зерносмеси, загружаемой в ячеистый цилиндр стенда. При выделении коротких примесей $m \approx const$, так как доля примесного компонента незначительна – 1 - 3 %. Число циклов выделения ($n_{ц}$) инвариантно относительно ширины и числа условных сегментов (длины ячеистого цилиндра стенда), так как

остаточная засоренность и степень выделения примесного компонента из зерносмеси измеряются в относительных величинах – в %.

При работе станда приводной момент $M_{пр}$ уравнивается моментом сопротивления M_c вращению ячеистого цилиндра на холостом ходу и моментом сопротивления $M_{тр}$ от сил трения сегмента о внутреннюю поверхность ячеистого цилиндра. Однако определить величину $M_{тр}$ расчетным или экспериментальным путем затруднительно из-за циркуляции слоев в сегменте и вариативном контакте зерновок основной культуры с частицами примесного компонента, находящимися в ячейках.

Между тем $M_{тр}$ является внешним воздействием на сегмент 3 зерносмеси. Результатом этого воздействия является смещение центра тяжести сегмента 3 на величину e . Смещенная масса сегмента 3 создает момент сопротивления, эквивалентный $M_{тр}$. Поэтому:

$$M_{mp} = M_m = mg[(R - h)\sin(\alpha/2 - \beta)]. \quad (2.32)$$

С учетом уравнений (2.31) и (2.32) можно записать:

$$M_{np} = M_c + mg[(R - h)\sin(\alpha/2 - \beta)]. \quad (2.33)$$

Величину M_c возможно определить только экспериментально, так как она нестабильна из-за погрешностей формы ячеистого цилиндра (наличие стыка и др.) и меняющихся условий его контакта с опорными роликами.

Для определения величины M_c на ячеистом цилиндре 1 закрепляли один конец нити, наматывали на него несколько ее витков, а второй конец (свободный) крепили на крюке электронного динамометра. Затем, натягивая нить через электронный динамометр, измеряли касательное усилие (F_k) поворота с интервалом в 45° . Измерение F_k проводили для двух вариантов: с присоединенным приводом, когда фрикционный ролик 4 контактирует с ячеистым цилиндром 1; с отсоединенным приводом. Результаты измерений и расчетов представлены в таблицах 2.41.

Из таблицы 2.41 видно, что при угле поворота ячеистого цилиндра 1 на 180° наблюдается «выброс» измеряемых величин.

Таблица 2.41 – Вариация M_{c_1} с приводом и M_{c_2} без привода

Угол поворота, град.	0	45	90	135	180	225	270	315	360
Касательное усилие (F_k), кгс	3,43	2,86	3,40	3,6	7,8	3,8	3,4	2,7	3,43
Момент сопротивления (M_{c_1}), Н·м	10,3	8,6	10,2	10,8	23,4	11,4	10,2	8,1	10,3
Касательное усилие (F_k), кгс	2,2	2,0	3,1	3,7	4,0	2,6	3,2	2,2	2,2
Момент сопротивления (M_{c_2}), Н·м	6,6	6,0	9,3	11,1	12,0	7,8	9,6	6,6	6,6

Это объясняется тем, что измерения при повороте ячеистого цилиндра на 180° совпало с прохождением стыкового шва стандартного ячеистого цилиндра через опорный ролик. Учитывая достаточную инерционность вращающихся масс, для расчета мощности привода можно использовать средние значения моментов сопротивления $\bar{M}_{c_1} = 11,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $\bar{M}_{c_2} = 8,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Величину m можно определить по формуле:

$$m = S_c l_{ц} \rho K_{ц}, \quad (2.34)$$

где S_c – площадь сегмента, м^2 ;

$L_{ц}$ – длина ячеистого цилиндра, м;

ρ – насыпная плотность зерносмеси, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$K_{ц}$ – коэффициент, учитывающий снижение плотности сегмента при циркуляции слоев (для пшеницы $K_{ц} = 0,78$) [121].

Площадь сегмента будет:

$$S_c = \frac{\alpha}{2\pi} \pi [R^2 - (R - h)^2]. \quad (2.35)$$

С учетом уравнений (2.34) и (2.35) получим:

$$m = \alpha L_{ц} \rho K_{ц} [R^2 - (R - h)^2] / 2. \quad (2.36)$$

При $\omega = 4,2 \text{ с}^{-1}$ величина $\alpha = 1,57$ рад, а при загрузке близкой к максимально возможной при выделении коротких примесей из зерносмесей $h = 0,05$ м. Насыпная плотность пшеницы $\rho = 750 \text{ кг}/\text{м}^3$, $l_{ц} = 0,6$ м. С учетом принятых значений $m = 7,6$ кг.

Величина M_m будет определяться по формуле:

$$M_m = mge = mg(R - h)\sin(\alpha/2 - \beta) = 13 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.37)$$

Суммарный момент сопротивления вращению ячеистого цилиндра для загрузки, близкой к максимальной будет:

$$M_{\Sigma} = \bar{M}_{c_1} + M_m = 11,5 + 13 = 24,5 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.38)$$

Суммарный момент сопротивления вращению ячеистого цилиндра преодолевается моментом ($M_{\text{тр}}$), создаваемого силой трения ($F_{\text{тр}}$) фрикционного ролика 4. Для его определения составим уравнение равновесия моментов, действующих на платформу 5, относительно точки 0:

$$F_p l_p = (F_{\text{нж}} - m_{\text{м}} g) L_n, \quad (2.39)$$

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

l – расстояние от точки 0 до фрикционного ролика, м;

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

$m_{\text{м}}$ – приведенная к точке А масса привода, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

L_n – длина платформы.

Выбранная для поджатия фрикционного ролика 4 пружина обладает предварительным напряжением и убывающей жесткостью с ростом ее растяжения (Δl). Для установления расчетных значений жесткости пружины (c_p) ее нагружали растягивающими усилиями в диапазоне 30 - 117 Н с тем, чтобы охватить весь диапазон регулирования силы $F_{\text{пж}}$, предусмотренный в конструкции стенда.

Результаты динамометрирования представлены на рисунке 2.26.

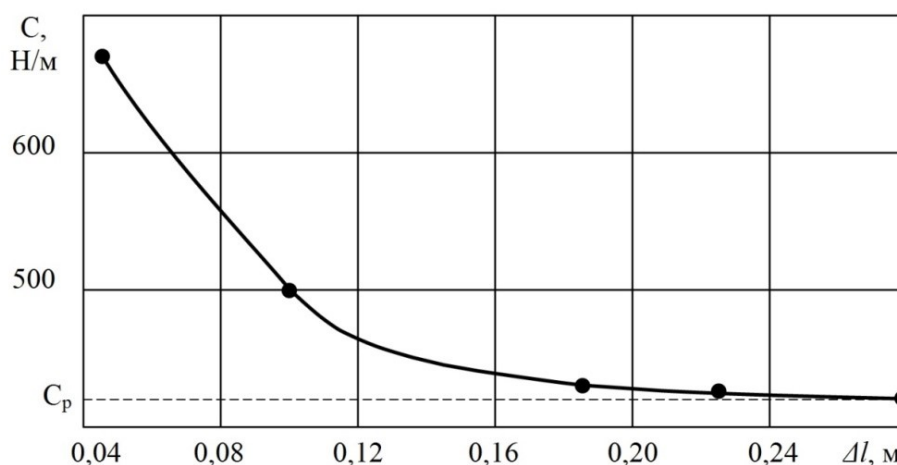


Рисунок 2.26 – Взаимосвязь жесткости (c) предварительно напряженной пружины с величиной ее деформации (Δl)

Из рисунка 2.26 видно, что при $\Delta l = 0,255$ м величина $c = 420$ Н/м. Принимая во внимание $l_p = 0,29$ м; $L_n = 0,7$ м; $m_{nn} = 5,4$ кг, получим:

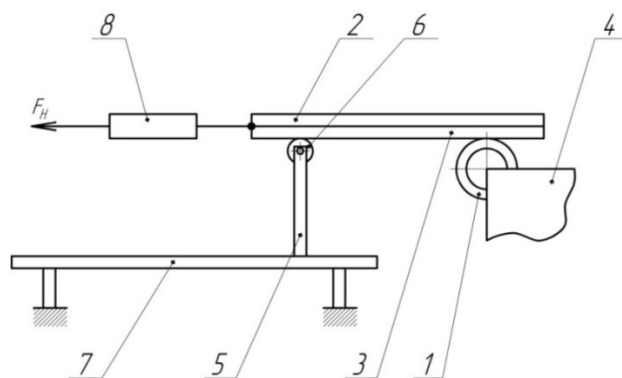
$$F_p = F_N = (\Delta l c - m_{nn} g) L_n / l_p = 130,8 \text{ Н.} \quad (2.40)$$

Величина момента трения будет:

$$M_{mp} = F_N f_{mp}, \quad (2.41)$$

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

Для определения f_{mp} разработан прибор, представленный на рисунках 2.27 и 2.28.,



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

Рисунок 2.27 – Прибора для определения коэффициента силы трения покоя фрикционного ролика

С его использованием установлена величина $f_{mp} = 0,75$ во всем диапазоне прижимных усилий (F_n) с максимальным отклонением показаний электронного динамометра в 2,7 %.

Следовательно: $M_{mp} = 130,8 \cdot 0,75 = 98,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$. То есть величина M_{mp} в 4 раза превосходит M_Σ , что позволяет преодолевать его пиковые значения (см. таблицу 2.40) и обеспечивать заданные режимы работы стенда без буксования.

Потребляемая мощность составит:

$$N_n = M_\Sigma \omega = 24,5 \times 4,2 = 103 \text{ Вт.} \quad (2.42)$$

Установленная мощность привода в 380 Вт обеспечивает надежную работу стенда и расширение его возможностей по загрузке, она в 3,7 раза превышает по-

требную величину. Циклическая загрузка ячеистого цилиндра зерносмесью $m = 7,6$ кг моделирует условия работы реального триерного цилиндра при максимальных нагрузках. Блокирующее кольцо с разницей внешнего и внутреннего диаметров в 0,07 м будет надежно удерживать сегмент зерносмеси высотой 0,05 м от самопроизвольного истечения. Стенд обеспечивает оценку качества процесса с экстраполяцией результатов на произвольную длину ячеистой поверхности.

Выводы по главе:

1. Анализ полигонов распределения толщины зерновок ячменя, сорго и вики позволяет выбрать решета ($b_1 = 3,8$ мм и $b_2 = 2,6$ мм) для полного удаления примесных компонентов сходом (семена вики) и проходом (семена сорго). При этом потери основной культуры составят 6,14%. При подборе решет для исключения технологических потерь ($b_1 = 3,9$ мм и $b_2 = 2,5$ мм) содержание примесей в очищенном зерне ячменя составит: 6,06% от исходного содержания сорго; 3,14% от исходного содержания вики.

2. Полигоны распределения ширины зерновок ячменя, вики и сорго указывают на низкое качество процесса при выделении из зерносмеси семян сорго по этому признаку. Технологические потери составят 9,51% даже при невысокой степени выделения семян сорго ($C_s = 73,9\%$), а при $C_s = 97,11 - 99,43\%$ потери составят 25,5 - 37,1%.

3. Оценка полигонов распределения длины зерновок ячменя, сорго и вики позволяют определить диапазон выбора диаметров ячеек триерного цилиндра из условий полного выделения примесей и исключения технологических потерь. В этом диапазоне (6,2 - 7,5) мм имеются типовые диаметры ячеек – 6,3 и 7,1 мм. Однако, технологические потери от случайного захвата ячейками кукольного цилиндра зерновок ячменя предотвратить нельзя – их следует оценить экспериментально.

3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа работ

Программа экспериментальных исследований предусматривает следующие этапы:

- подготовить компоненты запланированных к исследованиям зерносмесей в количестве, достаточном для проведения экспериментальных исследований;
- исследовать физико-механические свойства изучаемых зерновых компонентов с помощью существующих приборов и методик, а также разработанного нами прибора для определения угла естественного откоса сыпучих материалов;
- разработать частную методику экспериментальных исследований процесса триерной очистки ячменя от коротких примесей;
- подготовить к работе экспериментальное оборудование для исследований процесса очистки ячменя от коротких примесей с помощью ячеистых поверхностей;
- провести экспериментальные исследования процесса выделения коротких примесей из ячменя с помощью ячеистых поверхностей.

3.2 Методика исследований физико-механических свойств компонентов зерносмесей

Для исследований закономерностей процессов триерной очистки ячменя от коротких примесей нами был определен перечень примесных компонентов, частицы которых сопоставимы поперечными размерами с зерновками ячменя, что делает затруднительным их отделение с помощью решетных машин, но отличающиеся длиной, что предполагает их отделение с помощью ячеистых поверхностей триеров. В качестве примесей были использованы семена сорго белого, вики, гречишки вьюнковой, проса и колотые зерновки ячменя.

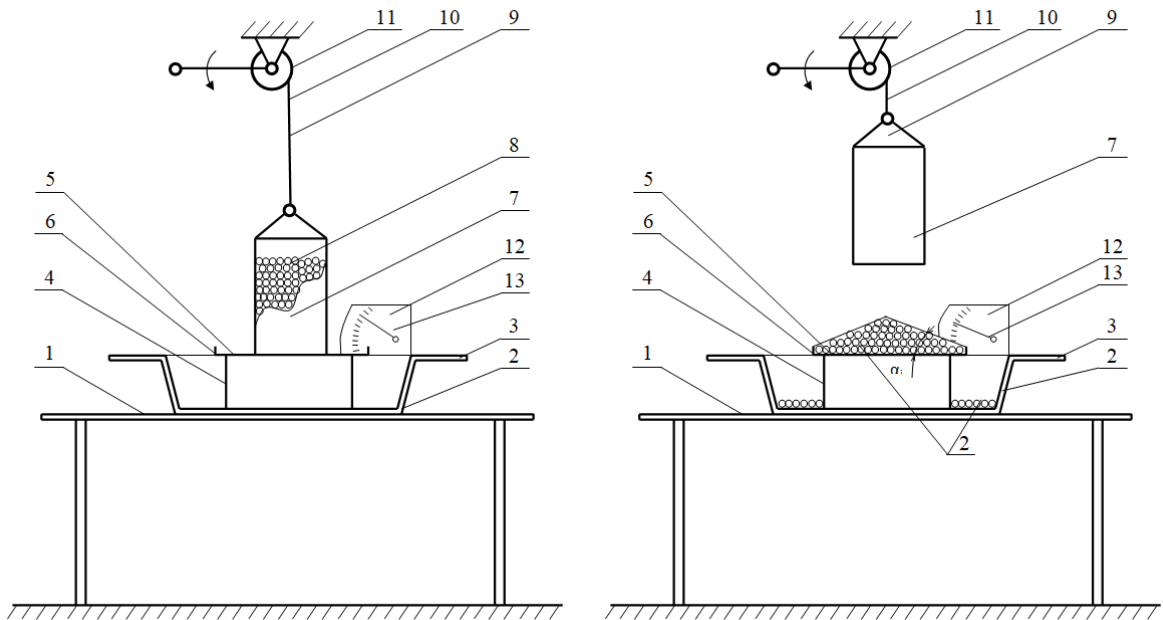
В исследованиях применялись двухкомпонентные зерносмеси, включающие в качестве основной культуры ячмень и один из примесных компонентов. Исходная засоренность навесок задавалась на уровнях 1; 2 и 3%, что соответствует реальной засоренности зерна, поступающего после первичной очистки на воздушно-решетных машинах на триерную очистку в условиях зерноочистительных технологий.

Для обеспечения чистоты эксперимента в части условий воспроизводимости опытов необходимо установить основные физико-механические свойства исследуемых сред. Влажность, фракционный состав, засоренность зерносмесей, насыпная плотность определялись согласно стандартным методам определения [8, 29, 32]. Параметры трения частиц исследуемых зерновых материалов по различным поверхностям определяли с помощью приборов для определения коэффициента силы трения покоя [28, 29, 32 68-70], разработанных ранее в ФГБНУ ВНИИТиН.

В виду выявленных нами существенных недостатков существующих приборов и методов определения углов естественного откоса сыпучих материалов, исследованию этого свойства компонентов мы уделили особое внимание.

Нами разработан новый прибор для определения угла естественного откоса сыпучих материалов, который исключает неопределенность условий формирования зернового конуса исследуемого материала и его размерных характеристик, а

также погрешности, связанные со свойствами материала опорной поверхности, а также на конструкцию разработанного прибора получен патент РФ на изобретение. Конструктивно-технологическая схема прибора и процесс измерения угла представлены на рисунках 3.1 и 3.2.



1 – горизонтальная опорная плоскость; 2 – чаша; 3 – горизонтальный обод; 4 – подставка; 5 – диск; 6 – буртик; 7 – полый цилиндр; 8 – сыпучий материал; 9 – поводок; 10 – нить; 11 – механизм подъема; 12 – угломер с контрольной стрелкой 13

Рисунок 3.1 – Прибор для измерения угла естественного откоса сыпучих материалов



Рисунок 3.2 – Процесс измерения угла естественного откоса

Прибор работает следующим образом. В исходном положении на горизонтальной опорной плоскости 1 установлена чаша 2 с горизонтальным ободом 3, а на диск 5 с буртиком 6, закрепленный на подставке 4, устанавливают полый цилиндр 7. Затем полый цилиндр заполняют исследуемым сыпучим материалом 8. После этого механизмом подъема 11 посредством нити 10 и поводка 9 медленно поднимают полый цилиндр. Высыпавшийся материал формирует монолит конусной формы, а его избыточная часть скатывается по конусной поверхности в чашу 2. Далее на угломере 12, устанавливают контрольную стрелку 13 параллельно образующим конуса, находящимся под углами α_i к горизонту. Перемещая угломер по горизонтальному ободу с угловым шагом γ выполняют n измерений ($n = 360^\circ/\gamma$) естественного откоса. По величинам выполненных замеров рассчитывают среднее значение угла естественного откоса сыпучего материала ($\bar{\alpha}$).

После этого сыпучий материал с диска высыпавают в чашу и вместе с избыточной частью сыпучего материала пересыпают в резервную емкость, устанавливают все составные части прибора в исходное положение и повторяют опыт.

Размещение в новом приборе диска на подставке, установленной в чаше, исключает невозвратимые потери исследуемых сыпучих материалов при их истечении из полого цилиндра. Избыточная часть материалов, осыпаясь по образующим конусного монолита, определяет их естественный угол наклона к горизонту. Выполнение подставки с одинаковым размещением по высоте с горизонтальным ободом упрощает контроль образующих конуса. Пошаговые замеры α_i в количестве $n = 360^\circ/\gamma$ в каждом опыте обеспечивают повышение точности измерений

К одной из главных причин неточности результатов замеров угла естественного откоса относится материал опорной плоскости и его качественное состояние. Поэтому нами было запланировано оценить вариативность замеров свойств одних и тех же сыпучих материалов, конусные монолиты которых формируются на плоскостях из разных материалов с существенно различающимися свойствами поверхности.

Для сопоставления результатов разных методов определения угла естественного откоса нами использован (кроме нашего прибора) цифровой угломер в

виде мобильного приложения, определяющий угловые значения по фотоизображению. Пример определения угла естественного откоса колотого ячменя с его помощью представлен на рисунке 3.3.

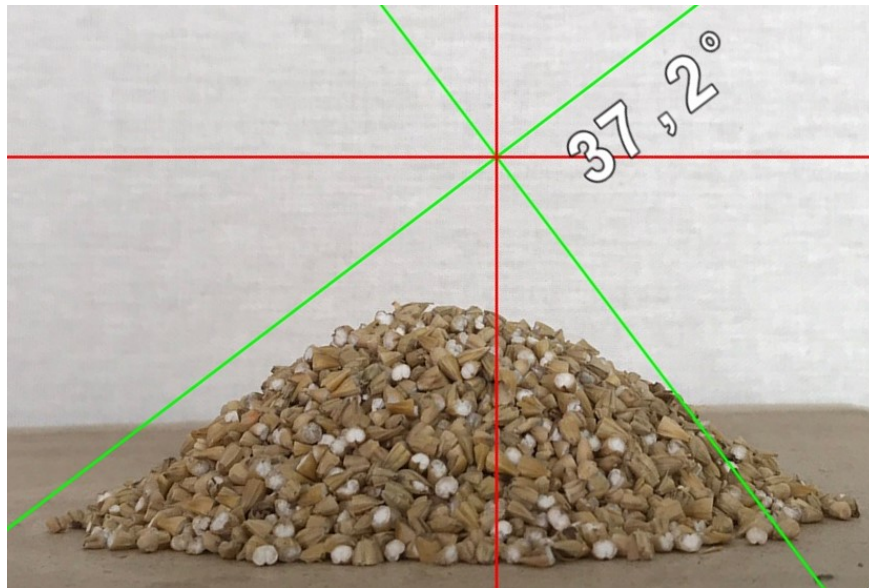


Рисунок 3.3 – Определение угла естественного откоса цифровым угломером

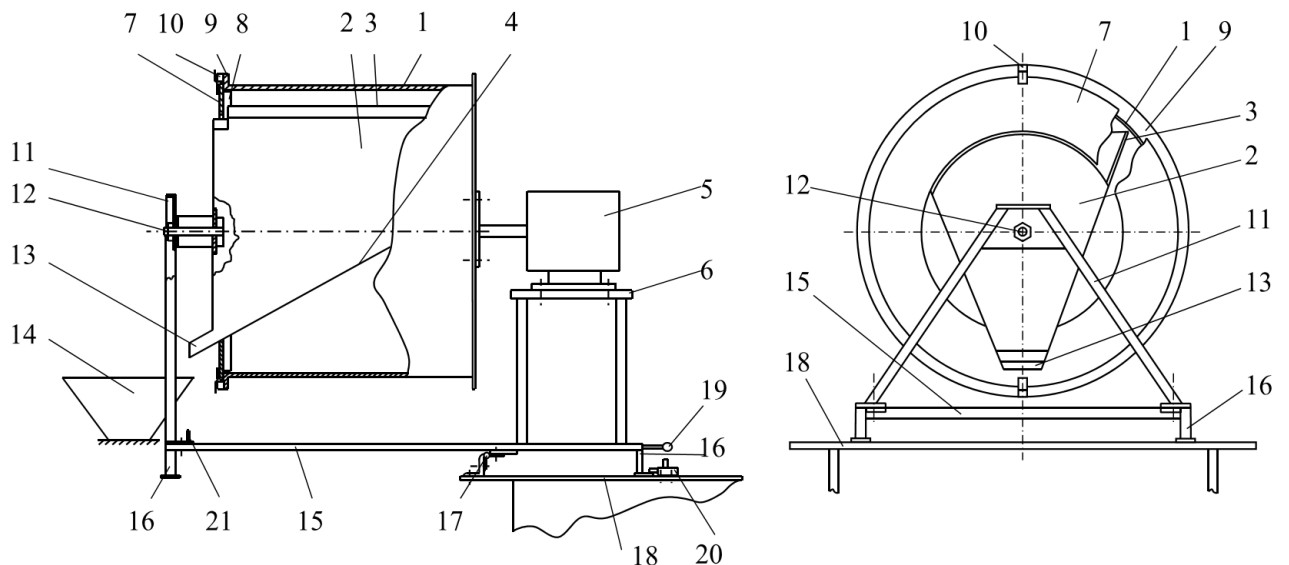
Кроме того, измерение угла естественного откоса выполнялось по методике, предложенной авторами [8, 30], когда определялись высота и диаметр основания конуса, сформированного из исследуемого сыпучего материала и по выражению $\alpha = \arctg h/r$ определялась величина исследуемого угла.

3.3 Методика исследований процессов выделения примесей из ячменя ячеистыми поверхностями

Планирование экспериментальных исследований выделения коротких примесных компонентов из ячменя выполнено в соответствии с общеизвестными методиками [19, 39, 63] на основе классического однофакторного эксперимента.

Поисковые опыты процесса триерной очистки с помощью станда циклического действия с размещением ячеистого цилиндра на опорных роликах, выявили существенные ограничения его применения, которые связаны с недостаточной стабильностью работы станда и биения цилиндра из-за особенности его конструкции. В связи с этим основная часть исследований закономерностей процесса

триерной очистки ячменя от коротких примесей выполнена с помощью прибора для исследований процессов триерной очистки [73, 112, 109, 115], конструкция которого представлена на рисунке 3.4, общий вид – на рисунке 3.5.



1 – кукольный ячеистый цилиндр, 2 – лоток, 3 – рабочая кромка лотка, 4 – днище лотка, 5 – электропривод, опорная площадка, 7 – блокирующее кольцо, 8 – цилиндрическая обечайка, 9 – фланец, 10 – фиксатор, 11 – стойка, 12 – винт, 13 – выгрузная горловина, 14 – приемная емкость, 15 – рама, 16 – опора, 17 – шарнир, 18 – платформа, 19 – ручка, 20 – шпингалет, 21 – штифт

Рисунок 3.4 – Конструктивно-технологическая схема прибора для исследования процессов триерной очистки



Рисунок 3.5 – Прибор для исследований процессов триерной очистки

В качестве исследований факторов, влияющих на качественные показатели процесса, были приняты масса навески (m_n), частота вращения (n) ячеистого цилиндра прибора, угловое положение (γ_n) верхней кромки передней стенки выводного лотка, исходное содержание сорной примеси в зерносмеси (Z_n) перед началом опыта. Диапазоны и уровни варьирования исследуемых факторов представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Исследуемые факторы, диапазоны и интервалы их варьирования

Наименование факторов	Условное обозначение	Ед. изм.	Диапазон варьирования	Интервал варьирования
Частота вращения цилиндра	n	мин ⁻¹	40-55	5
Угловое положение выводного лотка	γ_n	град	35-65	10
Засоренность зерносмеси	Z_n	%	1-3	1
Масса навески	m_n	кг	0,75-1,25	0,25

Эксперимент проводился в следующей последовательности. Перед началом опыта устанавливались заданные настроечные и режимные параметры работы прибора согласно плану эксперимента, приложение Б. После этого в ячеистый цилиндр загружаются отдельно компоненты зерносмеси: основная культура (ячмень) и один из примесных компонентов. Для эффективного перемешивания зерносмеси внутри цилиндра кратковременно включается электропривод на низких значениях скорости вращения для предотвращения возможности выпадения коротких частиц в приемный лоток. Для обеспечения равных по времени интервалов контроля параметров исследуемого процесса были подготовлены аудиофайлы со звуковой сигнализацией через 5, 7 и 10 секунд, что определяет продолжительность соответствующих интервалов времени замеров. Во время воспроизведения одного из указанных аудиофайлов (в момент начала отсчета интервала) включается электропривод и в соответствии со звуковыми сигналами, сменяются приемные емкости с короткими частицами. По окончании опыта из проб выделялись частицы основной культуры и примеси, компоненты взвешивались на электронных весах ВК-600 с точностью до 0,01 г. При малом ко-

личестве частиц их масса определялась с помощью показателя массы 1000 семян соответствующей культуры. Полученные результаты заносились в форму регистрации опытных данных (таблица 3.2), возвращали выделенные частицы в ячеистый цилиндр, изменялись условия опыта и эксперимент повторялся в той же последовательности.

Таблица 3.2 – Форма регистрации экспериментальных данных

Дата _____		Основная культура _____										Примесь _____				
№ оп.	Условия опыта	Масса выделенных компонентов за интервалы замеров, г														
$m_n =$ $Z_u =$ $n =$ $\gamma_n =$		Масса короткой примеси, гр.														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
		Число выделенных частиц основной культуры / масса частиц основной культуры														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

При изменении вида зерносмеси или ее исходной засоренности ячеистый цилиндр очищается, а зерносмесь готовится заново.

При обработке полученных экспериментальных данных определялись остаточная засоренность (Z_o) зерносмеси внутри ячеистого цилиндра и степень выделения (C) примесного компонента после каждого интервала времени замеров и по истечении всего времени опыта:

$$Z_{oi} = \frac{Z_u \cdot m_n / 100 - \sum_{i=1}^n m_{ni}}{m_n} \times 100\% \quad (3.1)$$

где Z_u – исходное содержание сорной примеси в зерносмеси, заданное условиями опыта, %;

m_n – масса навески зерносмеси в цилиндре до начала опыта, г

m_{ni} – масса примесного компонента, выделенная в i -й интервал времени замеров.

Степень выделения примеси в процентах определяли по формуле:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n m_{ni} \cdot 10^4}{3_u \cdot m_n}. \quad (3.2)$$

По рассчитанным значениям степени выделения примесей и остаточной засоренности зерносмеси устанавливаются закономерности качественных показателей триерной очистки ячменя от коротких примесей в зависимости от влияния исследуемых факторов.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Исследования угла естественного откоса

К одной из главных причин необъективной оценки угла естественного откоса существующими приборами относится материал опорной плоскости и его качественное состояние. Поэтому в этой части исследований преследовалась промежуточная цель – найти материал, который обладает инвариантностью относительно свойств исследуемых сыпучих материалов с минимальными отклонениями повторных замеров. Предположительно такой материал должен обладать запасом сопротивления перемещению по его поверхности частиц исследуемых сыпучих материалов. Другая рабочая гипотеза состояла в следующем: сопротивление перемещению частиц по поверхности искомого материала должно быть упругим, что будет поглощать погрешность замеров от вариативности динамики насыпания конусного монолита из исследуемого сыпучего материала.

Результаты исследований угла естественного откоса компонентов зерносеми на различных поверхностях в обобщенном виде представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты исследований угла естественного откоса сыпучих материалов

№ п/п	Вид опорной поверхности	Наименование сыпучих материалов				
		Вика	Сорго	Ячмень цел.	Ячмень колот.	Пшеница цел.
1	2	3	4	5	6	7
1	ДВП – гладкая сторона	27,4 (26,4) (20,9)	34,9 (33,7) (30,0)	26,4 (26,1) (26,1)	37,3 (37,2) (30,5)	35,4 (35,7) (28,5)
2	ДВП – шероховатая сторона	29,7 (29,0) (21,6)	35,2 (34,9) (31,0)	31,2 (32,3) (24,7)	38,5 (38,7) (31,8)	36,7 (36,6) (29,5)
3	Стекло органическое	24,2 23,1 21,1	34,2 (34,5) (23,4)	32,8 (32,8) 24,2	31,2 (30,8) (23,8)	32,7 (32,6) (26,1)
4	Стекло минеральное (оконное)	23,7 (21,5) (15,2)	36,5 (38,0) (19,4)	27,0 (27,2) (24,9)	16,7 16,8 17,0	28,9 (28,7) (15,9)
5	Лист из нержавеющей стали	23,3 (23,4) (20,2)	33,0 (33,0) (26,0)	26,1 (25,7) (25,7)	32,2 (32,2) (24,3)	31,6 (31,5) (25,9)

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7
6	Лист стальной, крашенный	24,5 (23,3) (21,7)	31,4 (31,3) (25,1)	32,0 (32,0) (25,4)	35 (35,1) (27,9)	34,9 (34,6) (27,4)
7	Тарельчатый диск полиэтиленовый	30,4 (30,7) (29,1)	33,2 (33,4) (31,7)	32,8 (32,0) (30,1)	36,0 (36,0) (35,1)	32,8 (33,1) (32,1)
8	Утеплитель – гладкая сторона	27,4 (26,9) (25,4)	32,5 (32,4) (30,1)	29,6 (29,6) (27,3)	34,8 (34,7) (30,9)	31,4 (31,3) (29,1)
9	Пенопласт	24,3 (23,6) (22,9)	33,4 (33,6) (29,7)	29,3 (29,1) (26,1)	36,6 (36,8) (31,4)	30,4 (30,1) (27,7)
10	Резина	26,0 (25,4) (21,1)	36,0 (36,3) (29,5)	31,2 (30,5) (26,2)	35,9 (35,4) (29,4)	34,9 (34,9) (29,6)

Результаты измерений угла естественного откоса (α_r) с опорной поверхностью в виде тарельчатого диска следует принять за базу сравнения, наличие буртика исключает вариативность замеров от: вида и качественного состояния опорной поверхности; формы частиц исследуемых сыпучих материалов.

Наиболее близкие значения углов естественного откоса к базе сравнения получены на опорных поверхностях из ДВП (шероховатая сторона) и стекла органического. Нужно отметить, что эти поверхности резко отличаются между собой по микрорельефу. Очевидно, что кроме качества поверхности по микрорельефу на величину α влияют другие факторы – возможно электростатические свойства поверхностей.

В пользу этого аргумента свидетельствует значительная разница углов α одноименных материалов на органическом и минеральном стеклах. По целым зерновкам ячменя она составляет $5,8^\circ$, а по колотым зерновкам ячменя – $14,5^\circ$. Разница огромная, если учесть, что качество поверхности этих материалов обеспечивается практически идентичными технологиями.

Кроме того, по четырем примесным компонентам (вика, сорго, колотые зерновки ячменя, пшеница) получены сопоставимые оценки углов α на принципиально разных по микрорельефу поверхностях – ДВП гладкая и ДВП шероховатая.

Средняя (по четырем компонентам) величина $\bar{\alpha}_{\text{гл}}$ на гладкой поверхности меньше $\bar{\alpha}_{\text{шр}}$, полученной на шероховатой поверхности ДВП, всего на 3,8%.

Для примесного компонента из семян вики величина угла α_1 ; на всех опорных поверхностях меньше базы сравнения $\alpha_{\text{т}}$. Это обусловлено низким сопротивлением перекачиванию семян вики по исследуемым опорным поверхностям. Их поверхность очень гладкая, а форма – эллипсоидная с незначительной разницей осевых размеров.

Семена сорго более шероховатые, поэтому величина α_{2i} на 2/3-тях опорных поверхностях превышает базу сравнения – $\alpha_{\text{т}}$. Исключение составляют стальные листы и гладкий утеплитель.

Цельные зерновки ячменя также обладают низким сопротивлением их перекачиванию по опорным поверхностям. Поэтому $\alpha_{3i} < \alpha_{\text{т}}$, но среднее значение снижения углов естественного откоса ($\Delta\bar{\alpha}_{3i}$) относительно базы сравнения ($\alpha_{\text{т}}$) несколько ниже, чем у семян вики (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Сравнительная оценка углов естественного откоса i -го примесного компонента на j -ой опорной поверхности (α_{ij}) относительно $\alpha_{\text{т}}$

№ п/п	Вид опорной поверхности	Наименование сыпучих материалов				
		Вика	Сорго	Ячмень (цельные зерновки)	Ячмень (колотые зерновки)	Пшеница
1	ДВП – гладкая сторона	-3	+1,7	-6,4	+1,3	+2,6
2	ДВП – шероховатая сторона	-0,7	+2,0	-1,6	+2,5	+3,9
3	Стекло органическое	-6,2	+1,0	0	-4,8	-0,1
4	Стекло минеральное (оконное)	-6,7	+3,3	-5,8	-19,3	-3,9
5	Лист из нержавеющей стали	-7,1	-0,2	-6,7	-3,8	-1,2
6	Лист стальной, крашенный	-5,9	-1,8	-0,8	-1,0	+2,1
7	Тарельчатый диск полиэтиленовый	0	0	0	0	0
8	Утеплитель – гладкая сторона	-3	-0,7	-3,2	-1,2	-1,4
9	Пенопласт	-6,1	+0,2	-3,5	+0,6	-2,4
10	Резина	-4,4	+2,8	-1,6	-0,1	+2,1

$$\Delta\bar{\alpha}_{1_i} = \sum_1^9 \Delta\alpha_{1_i}/9 = -43,1/9 = -4,79 \text{ град}; \quad (4.1)$$

$$\Delta\bar{\alpha}_{3_i} = \sum_1^9 \Delta\alpha_{3_i}/9 = -29,6/9 = -3,29 \text{ град}; \quad (4.2)$$

Максимальная величина $\alpha_{4_{max}}$ получена на колотых зерновках ячменя и опорной поверхности – ДВП шероховатая сторона ($\alpha_{4_{max}} = 38,5$ град.), а минимальное значение получено для того же компонента примеси на опорной поверхности из стекла минерального – $\alpha_{4_{min}} = 16,7$ град.

Очевидно, что максимальный диапазон значений α_4 объясняется значительной вариацией форм и размеров примесных частиц из колотых зерновок ячменя.

Из таблицы 4.2 следует, что поверхностные свойства зерновок ячменя и пшеницы существенно различаются, так как:

$$\Delta\bar{\alpha}_{5_i} = \sum_1^9 \Delta\alpha_{5_i}/9 = +\frac{1,7}{9} \approx +0,2 \text{ град}. \quad (4.3)$$

Величина $\Delta\bar{\alpha}_{5_i}$ положительна, а по абсолютному значению в 16 раз меньше, чем $\Delta\bar{\alpha}_{3_i}$.

4.2 Исследования процесса выделения коротких примесей из ячменя

4.2.1 Динамика и качество выделения колотых зерновок ячменя из зерносмеси

4.2.1.1 Динамика выделения

Свойства колотых зерновок совпадают со свойствами частиц основной культуры за исключением их длины ($\bar{l} = 5,1$ мм). Этот вариант зерносмеси является уникальным – интенсивность выделения примесного компонента не зависит от его сегрегации в циркулирующих слоях сегмента, так как ее нет – нет «осаждения» и нет «всплытия», рисунок 4.1.

Динамика интенсивности выделения колотых зерновок ячменя, представленная на рисунке 4.1, близка к теоретической – равномерно убывающей, когда

закономерность получена из условий: примесные частицы в циркулирующих слоях распределяются равномерно; содержание примесных частиц в циркулирующем сегменте уменьшается с убывающей интенсивностью; находящиеся в контактирующем слое примесные частицы выделяются за 1 цикл полностью по причине многократного превышения сепарирующих воздействий в кукольном цилиндре относительно реального количества примесных частиц в контактирующем слое.

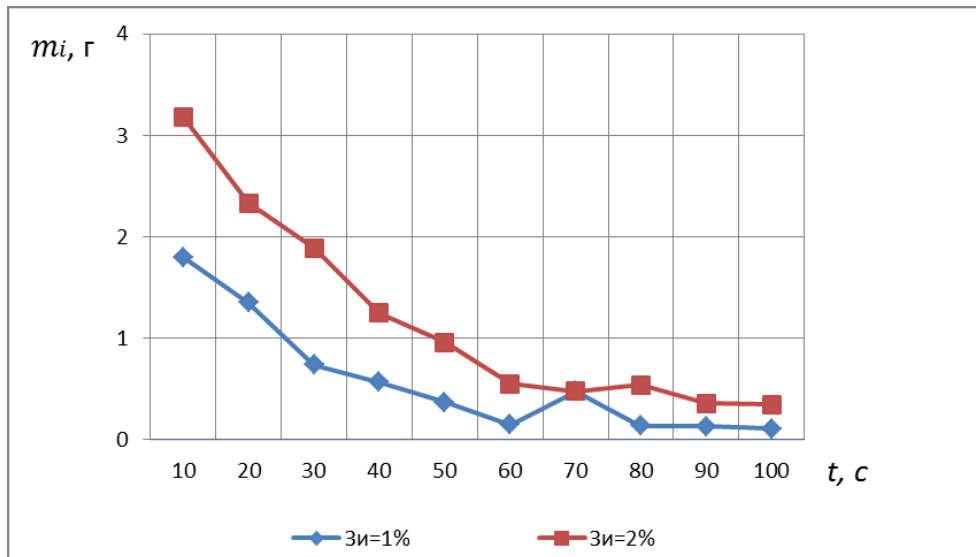


Рисунок 4.1 – Динамика выделения частиц колотого ячменя из зерносмеси при $n=40$ об/мин и $\gamma_n=35^\circ$

Для сформулированных условий аналитической оценки динамики выделения примесных частиц из зерносмеси справедливо уравнение:

$$Z_i = Z_{и} \left(1 - \sum_{1}^{i=k} n_{чпi} / P \right), \quad (4.4)$$

где Z_i – засоренность сегмента после i -го цикла выделения примеси, %;

$Z_{и}$ исходная засоренность зерносмеси, %;

k – число циклов выделения, шт;

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

P – исходное число примесных частиц в сегменте, шт.

По аналогии с уравнением (4.1) для процесса выделения примесных частиц с интервальной по времени оценкой в i -ом интервале выделенных масс можно записать:

$$Z_i = Z_{и} \left(1 - \sum_1^{j=k} m_j / M \right), \quad (4.5)$$

где m_j – масса примесей, выделенных из сегмента в j -ом временном интервале, г;
 M – исходная масса примеси в сегменте, г.

Анализ динамики выделения колотых зерновок ячменя по формуле (4.5) позволил установить, что остаточная засоренность зерносмеси даже по истечении времени в 100 с, которое в 1,8 раза превышает продолжительность процесса в стандартном кукольном цилиндре, составляет 0,42%. Это выше допустимых значений даже при $Z_{и}=1\%$. На стандартной длине ячеистого цилиндра остаточная засоренность еще выше ($Z_0=0,504\%$) при степени выделения $C_{вст}=49,6\%$.

Очистка зерносмеси с колотыми зерновками ячменя с $Z_{и}=2\%$ обеспечивает сопоставимые значения степени выделения примеси по времени процесса в стандартном кукольном цилиндре – $C_{вст}=48\%$, в конце периода $t=100$ с, степень выделения $C_{в} \approx 58\%$ в обоих вариантах исходной засоренности – в первом $C_{в}=58,4\%$, а во втором $C_{в}=57,9\%$. Однако, остаточная засоренность зерносмеси при $Z_{и}=2\%$ составляет 1,04%, что приблизительно в 2 раза выше, чем в первом случае – при $Z_{и}=1\%$.

В этом состоит принципиальное отличие зерносмесей с колотыми частицами основной культуры от зерносмесей с легковыделяемыми примесями (семенами горчицы, проса, сорго, вики). В первых отсутствует эффект динамической сегрегации и процесс выделения примесей затягивается, а во вторых – исходная концентрация примесных компонентов ($Z_{и}$) определяет потенциал динамической сегрегации и продолжительность их выделения, которая практически не зависит от величины $Z_{и}$.

Оценка динамики процесса выделения колотых зерновок ячменя из зерносмеси за периоды времени (55 и 100 с) подтвердила сопоставимость значений $C_{вст}$ и $C_{в}$ независимо от $Z_{и}$. Однако из рисунка 4.1 можно заметить, что на начальных интервалах времени замеры соотношения абсолютных значений выделенных масс примесей < 2 . Это объясняется преобладанием эффекта «выедания» примесных

частиц из ячеек на указанных промежутках времени протекания процесса п/м $Z_{и}=2\%$ в сравнении с условиями, когда $Z_{и}=1\%$.

Взаимосвязь динамики выделения колотых зерновок ячменя из основной культуры со скоростным режимом работы представлена на рисунке 4.2. Из рисунка 4.2 видно, что прирост массы выделенного примесного компонента из зерносмеси за первый интервал времени $t=10$ с с увеличением n от 40 до 55 об/мин составил 241%. В последующих интервалах времени протекания процесса соотношение выделяемых масс.

Значительная разница m_i в первом интервале при максимальном увеличении скоростного режима работы объясняется ростом полноты охвата факела выброса примесных частиц кромками выводного лотка. Однако, даже при $n=55$ об/мин и $\gamma_{н}=35^\circ$ за $t=100$ с примесные частицы выделяются из зерносмеси только на 89%. Объясняется это тем, что средняя длина примесных частиц ($l=5,1$ мм) превышает размер ячеек. При этом увеличивается вероятность раннего выпадения частиц из ячеек и расширения угла охвата факела их выброса. Эффект инерционного удержания частиц с ростом n не позволяет компенсировать расширение факела выброса из-за их линейных размеров.

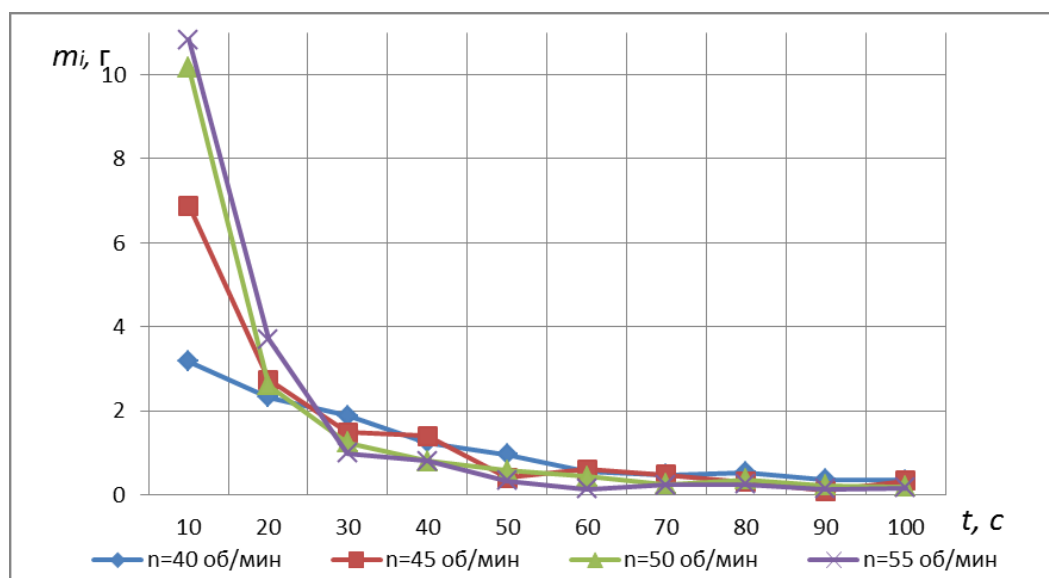


Рисунок 4.2 – Взаимосвязь динамики выделения колотых зерновок ячменя из основной культуры со скоростью (n) вращения ячеистого барабана при $\gamma_{н}=35^\circ$; $m_{н}=1000$ г; $Z_{и}=2\%$

Еще более контрастная динамика выделения колотых зерновок ячменя из зерносмеси получена при увеличении γ_n до 55° , рисунок 4.3.

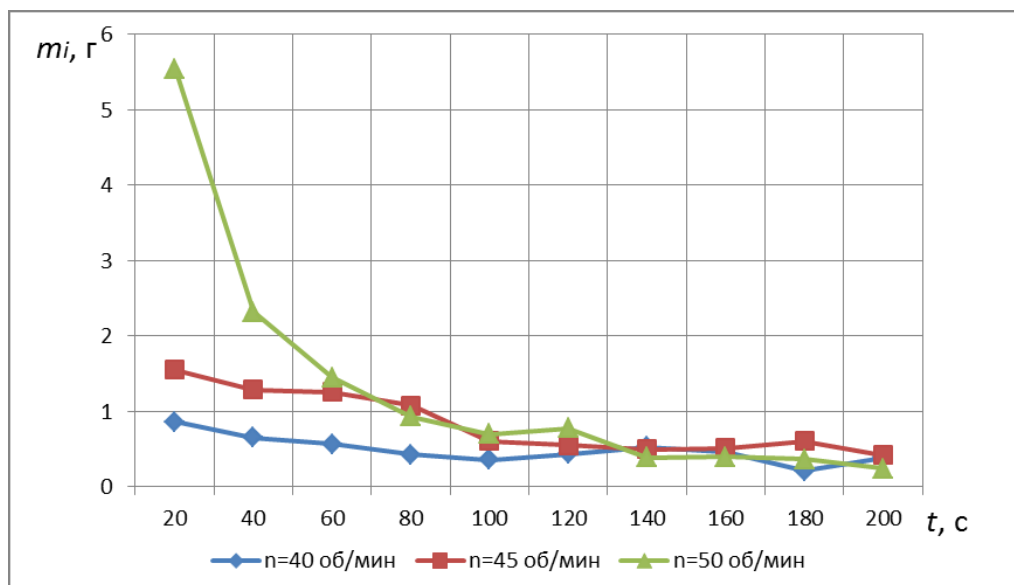


Рисунок 4.3 – Взаимосвязь динамики выделения колотых зерновок ячменя из основной культуры со скоростью (n) вращения ячеистого барабана при $\gamma_n=55^\circ$; $m_n=1000$ г; $Z_n=2\%$

Увеличение скоростного режима лишь до 50 об/мин приводит к росту массы выделенных примесей в первом интервале времени $t=30$ с в 6,44 раза (от 0,86 до 5,54 г). При $\gamma_n=55^\circ$ и $n=40$ об/мин выводной лоток захватывает верхнюю часть факела выброса частиц ячменя – незначительную по углу охвата.

Очевидно, что скоростной режим работы $n=40$ об/мин при $\gamma_n=55^\circ$ недостаточен. Поэтому на стандартной длине ячеистого цилиндра выделяется только 7,1% массы примеси. За период времени $t=180$ с, что эквивалентно протеканию процесса в ячеистом цилиндре длиной 7,2 м, выделяется 24,6% примесей. С ростом n до 50 об/мин степень выделения примесей повышается незначительно. На стандартной длине ($l=2,2$ м) ячеистого цилиндра она составила 20,4% при $Z_{0\text{ст}}=1,593\%$, что не удовлетворяет требованиям к качеству процесса.

Нужно отметить, что стендовому скоростному режиму работы $n=40$ об/мин соответствуют режим работы натурального ячеистого цилиндра $n_n=28,3$ об/мин и коэффициент кинематического режима $k_1=0,268$. Это нижняя граница скоростного режима работы натурального триера. Однако и при $n=50$ об/мин ($n_n=35,4$ об/мин; $k_3=0,419$) необходимая степень выделения колотых зерновок ячменя не достигается.

ся. Дальнейшее увеличение частоты вращения приводит к росту технологических потерь.

4.2.1.2 Взаимосвязь технологических потерь со скоростным режимом работы и положением выводного лотка

В опытах с навеской $m_n=1000$ г, $n=40$ об/мин и исходной засоренностью $Z_n=1\%$ технологические потери убывали с ростом γ_n от 35 до 55° от 9-ти зерновок основной культуры до 2-х, что не превышает $0,046\%$. Результаты экспериментальной оценки технологических потерь (I) при выделении из зерносмеси коло-тых зерновок ячменя при $Z_n=2\%$ представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Взаимосвязь технологических потерь (I) с n и γ_n при $Z_n=2\%$ и $m_n=1000$ г

№ п/п	Угол подъема лотка (γ_n), град.	Частота вращения цилиндра (n), об/мин	Потери зерновок на $l_{ст}$, шт	Потери за 20 интервалов, шт	Величина интервала времени замеров, с	Продолжительность опыта, с
1	2	3	4	5	6	7
1	35	40	15	26	5	100
2	45	40	13	25	10	200
3	55	40	8	71	15	300
4	35	45	14	27	5	100
5	45	45	7	41	10	200
6	55	45	16	56	15	300
7	35	50	30	44	5	100
8	45	50	33	86	10	200
9	55	50	9	91	15	300
10	35	55	75	122	5	100
11	45	55	24	80	10	200
12	55	55	11	49	15	300

Из таблицы 4.3 видно, что с увеличением исходной засоренности до $Z_n=2\%$ при $\gamma_n=35^\circ$ и $n=40$ об/мин технологические потери возросли на 67% . С ростом γ_n до 55° они снижаются на стандартной длине ячеистой поверхности $l_{ст}=2,2$ м до 8 зерновок основной культуры. С увеличением продолжительности опыта до $t=300$ с, что эквивалентно длине ячеистой поверхности $l_{эКВ}=12$ м, технологические поте-

при нелинейно возросли до 71 зерновки основной культуры. В долевого соотношении они составляют:

$$\begin{aligned} \Pi &= (m_{1000} \cdot n_{з\text{я}}/1000) / m_{\text{н}} \cdot 100\% = (51,3 \cdot 71/1000)/1000 \cdot 100 = \\ &= 0,364\%, \end{aligned} \quad (4.6)$$

где Π – технологические потери, %;

m_{1000} – масса 1000 зерновок ячменя (51,3 г), г;

$n_{з\text{я}}$ – число выделенных зерновок ячменя, шт.;

$m_{\text{н}}$ – масса зерносмеси в цилиндре станда.

Полученный результат (Π) нужно соотносить с основным показателем технологического процесса – остаточной засоренностью (Z_o). Не смотря на продолжительность процесса $t=300$ с и величину $l_{\text{экв}}=12$ м, требования по остаточной засоренности зерна при $n=40$ об/мин и $\gamma_n=55^\circ$ не обеспечены – выделено $C_B=24,6\%$ (4,91 г), а осталось 15,09 г $\rightarrow Z_o=1,509\%$ при $Z_n=2\%$. Откуда следует: технологические потери при обеспечении требований к $[Z_o]$ с заданными выше n и γ_n и продолжительность процесса будут еще большими; для обеспечения $[Z_o]$ необходимо уменьшить γ_n до 35° , а скоростной режим работы выбирать по компромиссному значению интегрального показателя качества (K).

$$K = B_{\Pi} \Pi + B_{Z_o} Z_o \rightarrow \min, \quad (4.7)$$

где B_{Π} – весомость показателя технологических потерь;

B_{Z_o} – весомость показателя остаточной засоренности зерна.

Скоростной режим работы триера существенно влияет на технологические потери. Так с ростом n от 40 до 55 об/мин технологические потери при $\gamma_n=35^\circ$, увеличились в 5 раз – $n_{з\text{я}}=75$ шт. вместо 15 шт. Возможности сокращения Π на высоких скоростных режимах работы (n) связаны с увеличением γ_n .

Например, с увеличением γ_n с 35 до 45° при $n=55$ об/мин технологические потери на стандартной длине ячеистого цилиндра падают в 3 раза, а с увеличением γ_n до 55° – в 7 раз. Однако, при этом резко снижается степень выделения коло-тых зерновок ячменя из-за их неустойчивого размещения в ячеях кукольного цилиндра.

4.2.1.3 Взаимосвязь степени выделения и остаточной засоренности зерносмеси с режимами работы и настроечными параметрами

Из таблицы 4.3 видно, что характер изменения $C_{вст}$ при $\gamma_n=35^\circ$ и 45° является идентичным. Величина $C_{вст}$ с ростом скоростного режима (n) возрастает с убывающей интенсивностью. При увеличении γ_n от 35° до 55° величина $C_{вст}$ колотых зерновок ячменя с $Z_{и}=2\%$ резко снижается: при $n = 40$ об/мин – в 4,9 раз; $n=50$ об/мин – в 3,8 раз.

Относительно небольшая разница $C_{вст}$ (28%) в верхней части диапазона скоростного режима работы триера объясняется ростом влияния на процесс эффекта инерционного удержания примесных частиц в ячейх. Этот физический эффект в большей степени себя проявляет, когда примесные частицы имеют сопоставимые или большие габариты в сравнении с размерами ячеей – средняя длина колотых зерновок ячменя ($\bar{l} = 5,1$ мм) превышает их.

Частота вращения $n=40$ об/мин ($K_1=0,268$) недостаточна для обеспечения уровня требований к остаточной засоренности зерна при $\gamma_n=35^\circ$ невысокой исходной засоренности зерносмеси колотыми зерновками ячменя $Z_{и}=1\%$ – она составляет 0,5%. Увеличение длины ячеистой поверхности до 4м также не позволит обеспечить приемлемый уровень остаточной засоренности – $Z_o= 0,416\%$.

С увеличением γ_n степень выделения колотых зерновок ячменя резко падает, рисунок 4.4.

При $\gamma_n=65^\circ$ и $n=40$ об/мин величина $C_{вст}$ не превышает 3,1%. Даже увеличение рабочей длины ячеистого цилиндра до 16 м.п. не обеспечит требуемый уровень качества процесса – $Z_o=0,774\%$. С увеличением скоростного режима работы до $n=45$ об/мин ($K_2=0,34$) можно обеспечить качество процесса по остаточной засоренности только при $\gamma_n=35^\circ$ и длине ячеистого цилиндра в 4 м ($Z_o=0,343\%$), таблица 4.4 и рисунок 4.5.

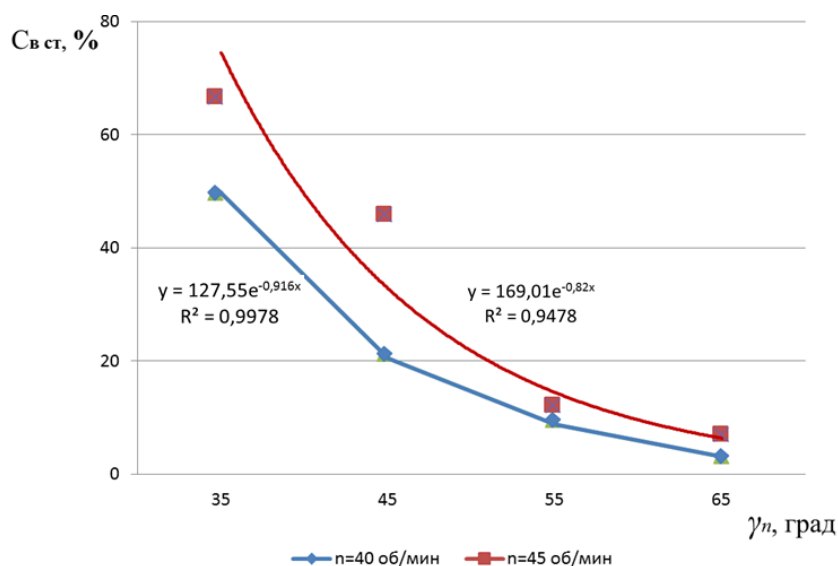


Рисунок 4.4 – Взаимосвязь степени выделения ($C_{в.ст.}$) колотых зерновок ячменя из основной культуры с углом подъема кромки выводного лотка (γ_n) при различных n и $Z_{и}=1\%$

Таблица 4.4 – Взаимосвязь степени выделения колотых частиц ячменя из основной культуры (ячменя) с n и γ_n

№ п/п	Скорость вращения ячеистого цилиндра, об/мин, (n)	Угол подъема кромки, град, (γ_n)	Степень выделения на $l=2,2$ м, %, ($C_{в.ст.}$)	Степень выделения на $l_{э.кв.}$, ($C_{э.кв.}$)	Степень выделения на длине $l_{э.кв.}-l_{ост.}$, %, ($C_{(-)}$)	$l_{э.кв.}$	Остаточная засоренность после $l_{ст.}$, %, ($Z_{ост.}$)
при $m_H=1000$ г и $Z_{и}=1\%$							
1	40 (28,3)* $K_1=0,268^{**}$	35	49,6	58,4	8,8	4	0,5
		45	20,5	39,8	19,3	8	0,785
		55	8,8	23,6	14,8	12	0,912
		65	3,1	18,5	15,4	16	0,97
2	45 (31,8)* $K_2=0,34$	35	65,7	73,9	8,2	4	0,343
		45	45,0	64,2	19,2	8	0,55
		55	11,2	28,3	17,1	12	0,888
		65	6,8	22,6	15,8	16	0,932
при $m_H=1000$ г и $Z_{и}=2\%$							
3	40 (28,3)* $K_1=0,268$	35	48,0	57,9	9,9	4	1,04
		45	15,0	34,4	19,4	8	1,69
		55	7,1	24,6	17,5	12	1,858
4	45 (31,8)* $K_2=0,34$	35	65,4	73,5	8,1	4	0,692
		45	38,8	61,5	22,7	8	1,225
		55	13,4	41,6	28,2	12	1,733
5	50 (35,4)* $K_3=0,419$	35	78,3	84,3	6,0	4	0,434
		45	58,9	79,8	19,9	8	0,812
		55	20,4	65,6	45,2	2	1,593
6	55 (38,9)* $K_4=0,508$	35	84,7	89,0	4,3	4	0,305
		45	79,4	90,0	10,6	8	0,413
		55	66,2	84,0	17,8	12	0,676

* скорость цилиндра с $R=0,3$ м; ** K_i – коэффициент кинематического режима

Увеличение исходной засоренности зерносмеси до 2% снижает степень выделения примесных частиц и остаточную засоренность зерносмеси в сравнении с засоренностью в 1% при сопоставимых режимах работы и настроечных параметрах. Причем степень выделения примеси из зерносмеси ячеистой поверхностью стандартной длины снижается незначительно – 3 - 14%, а остаточная засоренность – в 2 раза и более.

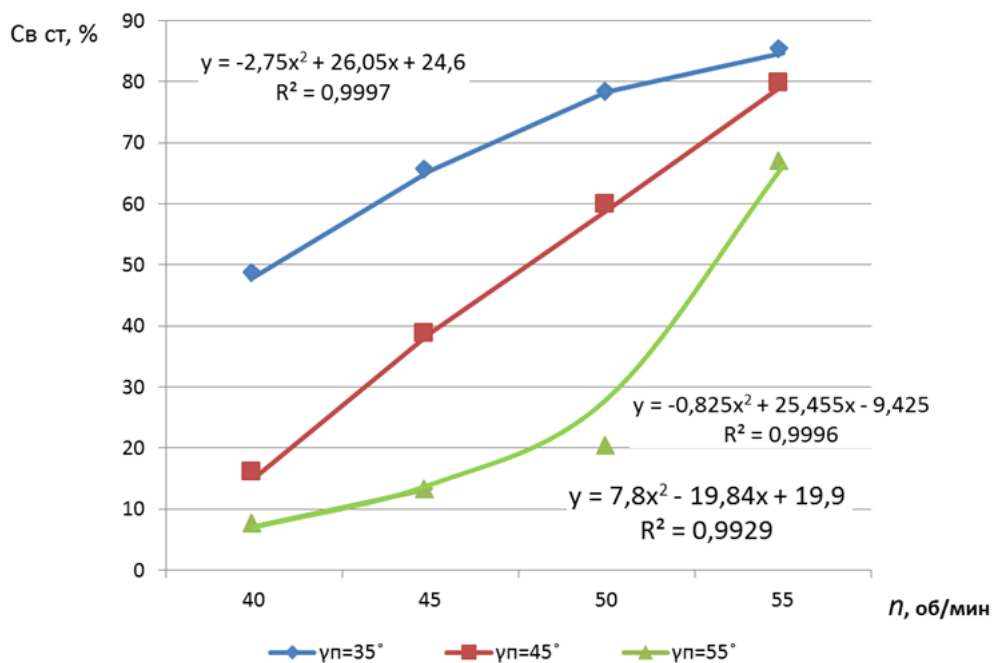


Рисунок 4.5 – Степень выделения колотых зерновок ячменя при различных γ_n и $Z_{и}=2\%$

Приемлемый уровень остаточной засоренности может быть обеспечен при $n = n_{max}=55$ об/мин и $\gamma_n = \gamma_{n \min}=35^\circ$. Эти условия работы станда обеспечивают $C_{вст}=84,7\%$ и $Z_o=0,305\%$ при $Z_{и}=2\%$, что не соответствует высокому уровню качества триерной очистки.

4.2.2 Динамика и качество выделения семян гречишки выюнквой из зерносмеси

В этой серии опытов сохранялась величина навески на одном уровне $m_n = 1000$ г и исходной засоренности $Z_{и}=2\%$. Скоростной режим работы (n) менялся на четырех уровнях в диапазоне $n = 40 - 55$ об/мин, а угловое положение выводного лотка изменялся на трех уровнях в диапазоне $35 - 55^\circ$.

Выделение гречишки вьюнковой из ячменя носит лавинообразный характер из-за эффекта ее динамической сегрегации в циркулирующих слоях сегмента. Основная масса примеси выделяется на начальных интервалах времени замеров, рисунок 4.6. Поэтому семена гречишки вьюнковой можно отнести к легковыделяемым примесным компонентам.

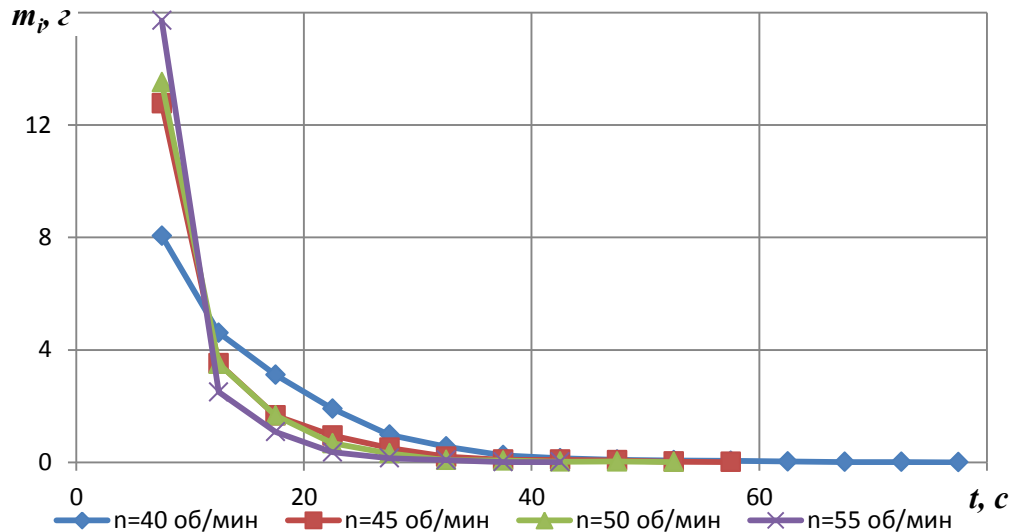


Рисунок 4.6 – Зависимость интенсивности выделения гречишки вьюнковой (m_i) от времени (t) при различных скоростных режимах (n), ($Z_{и}=2\%$; $\gamma_n=35^\circ$)

При $\gamma_n=35^\circ$ продолжительность процесса выделения примеси сокращается с ростом скоростного режима работы (n). Уже при $n=45$ об/мин максимальную степень выделения примеси обеспечивает стандартная длина ($l=2,2$ м) ячеистой поверхности. С увеличением n до 55 об/мин, что соответствует величине коэффициента кинематического режимам $K=0,508$, продолжительность выделения примеси сокращается на 27,3%.

При $\gamma_n=45^\circ$ и $n=40$ об/мин стандартная длина ячеистой поверхности обеспечивает выделение лишь 98,5% примеси. Хотя уровень остаточной засоренности зерносмеси при этом является приемлемым и составляет $Z_{ост}=0,03\%$. Увеличение n до 45 об/мин повышает степень выделения примеси до 99,1%, а при $n=55$ об/мин $S_{вст}=100\%$ даже при частичном использовании длины стандартного триерного цилиндра (73% – 1,6 м).

С точки зрения снижения технологических потерь необходимо увеличивать γ_n , но при этом снижается степень выделения примеси на сопоставимой длине ячеистого цилиндра. Так при $n = 40$ об/мин $\gamma_n = 55^\circ$ степень выделения примеси снижается до $C_{вст} = 71,3\%$, а продолжительность процесса увеличивается почти в 2 раза. Вместе с тем при больших величинах γ_n снижаются технологические потери (Π) (рисунок 4.7) и увеличивается продолжительность процесса.

Из рисунка 4.7 видно, что захват и выброс зерновок основной культуры ячеями представляет собой случайный процесс. Большая часть факела выброса попадает в выводной лоток при $\gamma_n = 35^\circ$. В этом положении верхней кромки выводного лотка с ростом n в диапазоне 40 - 55 об/мин технологические потери возрастают в 4,6 раза. При $\gamma_n = 45$ и 55° соответствующий прирост технологических потерь с ростом скоростного режима работы ниже – в 5 и 1,25 раза. Это связано с тем, что верхняя граница факела выброса примесных частиц с ростом скоростного режима работы прирастает менее интенсивно. Вместе с тем абсолютные значения потерь находятся в допустимых пределах.

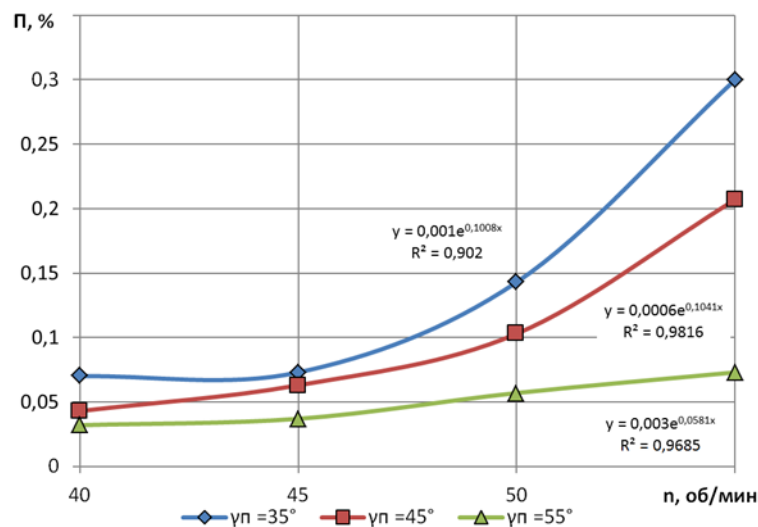


Рисунок 4.7 – Зависимость технологических потерь (Π) от скоростного режима (n) при выделении гречишки вьюнковой из ячменя ($Z_{и} = 2\%$; $m_n = 1000$ г)

Из выполненного анализа можно заметить, что смена условий протекания процесса приводит к неоднозначным соотношениям выделяемых масс примеси по длине цилиндра. Например, из рисунка 4.6 видно, что в первом интервале замеров при $\gamma_n = 35^\circ$ и максимальном скоростном режиме ($n = 55$ об/мин) величина m_i в

1,95 раз больше, чем m_i при минимальной частоте вращения ($n = 40$ об/мин). Во втором интервале замеров соотношение m_i меняется на противоположное и составляет 0,54.

Из изложенного выше следует, что сравнение динамики необходимо производить по первым интервалам замеров, так как результаты в последующих интервалах зависят от остаточного содержания примесного компонента в зерносмеси. В приведенном выше сопоставлении, в частности, во втором интервале времени замеров в отводящий лоток подается больший по угловому размеру факел примесных частиц, но причина снижения m_i состоит в другом – плотность факела резко падает после первого интервала времени реализации процесса.

Результаты сравнения динамики процессов по первым интервалам времени измерений представлены на рисунке 4.8.

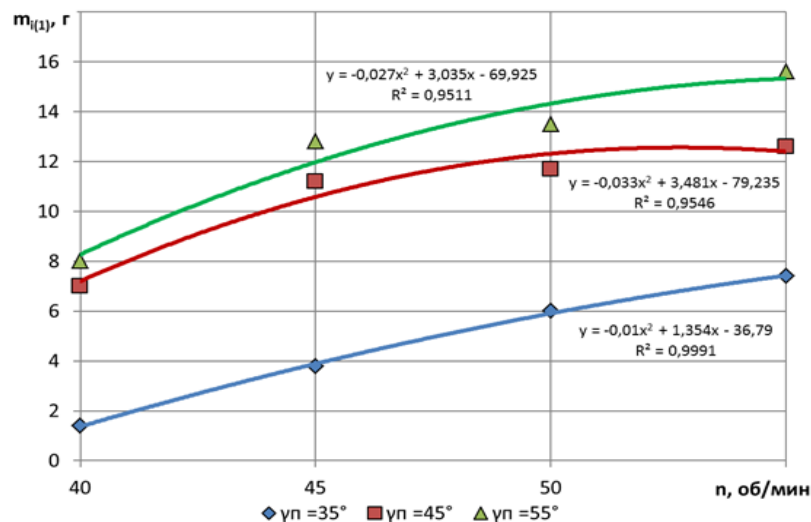


Рисунок 4.8 – Зависимость интенсивности выделения гречишки вьюнковой в первом интервале времени замеров ($t_u=5$ с) от n и γ_n при $m_n=1000$ г, $Z_{и}=2\%$

При минимальном скоростном режиме работы зависимость масс выделенных частиц примесного компонента от величины γ_n самая большая. С увеличением γ_n от 35 до 55° величина $m_{i(1)}$ падает в 5,76 раз. Это объясняется тем, что при $n = 40$ об/мин лишь малая часть факела выброса частиц преодолевает стенку выводного лотка, расположенную под углом $\gamma_n = 55^\circ$ к горизонту.

При этом продолжительность процесса резко увеличивается. За 200 с, когда эквивалентная длина ячеистой поверхности составляет 8 м (в 3,6 раз больше дли-

ны стандартного кукольного цилиндра), выделяется $C_b = 97,5\%$ примеси из зерносмеси с исходной засоренностью 2%. На стандартной длине выделяется только 71,3% примеси, а остаточная засоренность $Z_{ост} = 0,574\%$, что превышает допустимый уровень.

С ростом скоростного режима работы до 55 об/мин величина $m_{i(1)}$ меняется в более узком диапазоне – в 2,15 раз. При $\gamma_n = \gamma_{n \min} = 35^\circ$ величина $m_{i(1)} = m_{i(1)\max} = 15,72$ г.

То есть, выводной лоток в этом режиме охватывает максимальный по угловому размеру факел выброса примесных частиц. Степень выделения примесей на стандартной длине достигает 99,55%, что при $Z_{и} = 2\%$ обеспечивает уровень остаточной засоренности $Z_{ост} = 0,009\%$.

4.2.3 Динамика и качество выделения семян вики из зерносмеси

В предыдущих разделах подробно представлены результаты физико-механических и гранулометрических свойств семян вики: масса 1000 зерновок – $m_{1000} = 58$ г, угол естественного откоса $\alpha = 30,4^\circ$, диапазон длин зерновок – $l = 4,4 \dots 6,1$ мм; диапазон ширины зерновок – $v = 4,4 - 5,7$ мм; диапазон толщины зерновок $h = 3,8 - 4,9$ мм. Средневзвешенные значения – $l = 5,2$ мм; $v = 5,1$ мм; $h = 4,4$ мм.

Были выделены зерновки вики с линейными размерами $< 4,5$ мм с помощью стандартного решетного классификатора. При этом сохранялись условия для оценки процесса триерного выделения из зерносмеси примеси со специфичными свойствами: эллипсоидная форма; гладкая поверхность; линейные размеры, сопоставимые с размерами ячеек кукольного цилиндра.

Динамика выделения семян вики из ячменя на минимальном $\gamma_n = 35^\circ$ и различных скоростных режимах работы показана на рисунке 4.9.

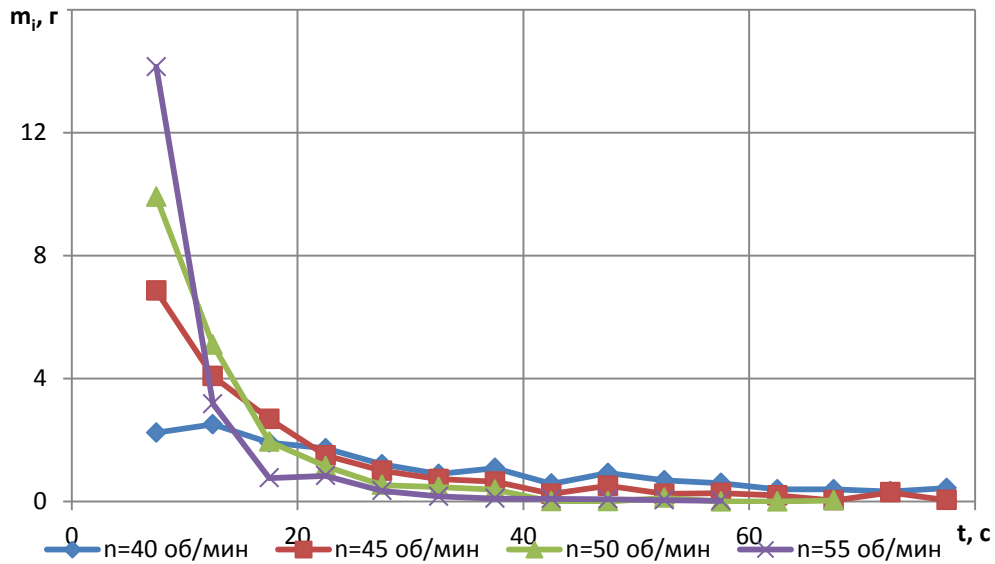


Рисунок 4.9 – Выделение семян вики из при $\gamma_n = 35^\circ$; $m_n = 1000$ г; $Z_{и} = 2\%$; $t_u = 5$ с

Из рисунка 4.9 видно, что характер протекания процесса с этим примесным компонентом в указанном выше факторном пространстве является идентичным с другими примесями.

С ростом n увеличивается $m_{i(1)}$ в 6,3 раза. В последующих интервалах интенсивность выделения выравнивается. Отличительной особенностью являются условия ($n = 40$ об/мин, $\gamma_n = 35^\circ$), когда интенсивность выделения примеси не снижается во втором интервале (даже возрастает), а в последующих интервалах убывает плавно в сравнении с более скоростными режимами.

При минимальной частоте вращения ($n = 40$ об/мин) даже при $\gamma_n = 35^\circ$ стандартная длина ячеистой поверхности ($l = 2,2$ м) не обеспечивает достаточную степень выделения примесного компонента – $C_{вст} = 72\%$. При такой интенсивности процесса и исходной засоренности зерносмеси $Z_{и} = 2\%$ остаточная засоренность составляет $Z_{ост} = 0,56\%$ – неприемлемо высокий уровень.

Скоростной режим $> n = 40$ об/мин при $\gamma_n = 35^\circ$ обеспечивает высокий уровень качества процесса по показателям $C_{вст}$ и $Z_{ост}$. Однако с увеличением γ_n эти показатели резко падают. Результаты исследований процесса выделения зерновок вики из зерносмеси в зависимости от n и γ_n представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Взаимосвязь показателей качества процесса выделения зерновок вики из ячменя ($C_{вст}$ и $Z_{ост}$) с режимными и настроечными параметрами (n и γ_n) при $m_n = 1000$ г и $Z_{и} = 2\%$

№ п/п	Величина угла γ_n , град	Показатели качества процесса, %	Скоростной режим работы n , об/мин			
			40	45	50	55
1	35	$C_{вст}$	72	94,3	98,3	99,0
		$Z_{ост}$	0,56	0,114	0,035	0,02
2	45	$C_{вст}$	8,3	46,6	91,3	99,4
		$Z_{ост}$	1,83	1,069	0,174	0,012
3	55	$C_{вст}$	1,05	8,3	19,1	75
		$Z_{ост}$	1,79	1,834	1,618	0,5

Из таблицы 4.5 видно, что при $\gamma_n = 35^\circ$ на трех скоростных режимах обеспечивается требуемый уровень качества процесса ($n = 45, 50$ и 55 об/мин). Во втором варианте (при $\gamma_n = 45^\circ$) – только на двух скоростных режимах работы (при $n = 50$ и 55 об/мин), а в третьем варианте (при $\gamma_n = 55^\circ$) ни один скоростной режим работ не обеспечивает требуемый уровень качества процесса.

Это объясняется тем, что размерные характеристики семян вики исключают их устойчивое размещение в ячейх кукольного цилиндра, достаточное для увеличения угла выброса. Кроме того, выступающие объемы семян вики из ячеей (за внутреннюю поверхность ячеистого цилиндра) усиливают эффект их динамического «выедания» контактирующим слоем основной культуры. Поэтому большая часть факела выброса семян вики (80,9 - 99%) на скоростных режимах работы $n = 40 - 50$ об/мин находится ниже кромки выводного лотка с углом $\gamma_n = 55^\circ$.

Контраст динамики выделения семян вики из зерносмеси в очевидной форме может быть представлен результатами в первых интервалах замеров ($t_u = 5$ с), рисунок 4.10.

В визуальной форме распределение выделенных масс семян вики из ячменя за первые пять интервалов времени ($t_u = 5$ с) представлено на рисунке 4.11.

Выброс в выводной лоток зерновок основной культуры также является следствием случайного захвата зерновок и их неустойчивого размещения в ячейх.

Взаимосвязи технологических потерь на стандартной длине ячеистой поверхности ($P_{ст}$) с n и γ_n представлены в таблице 4.6.

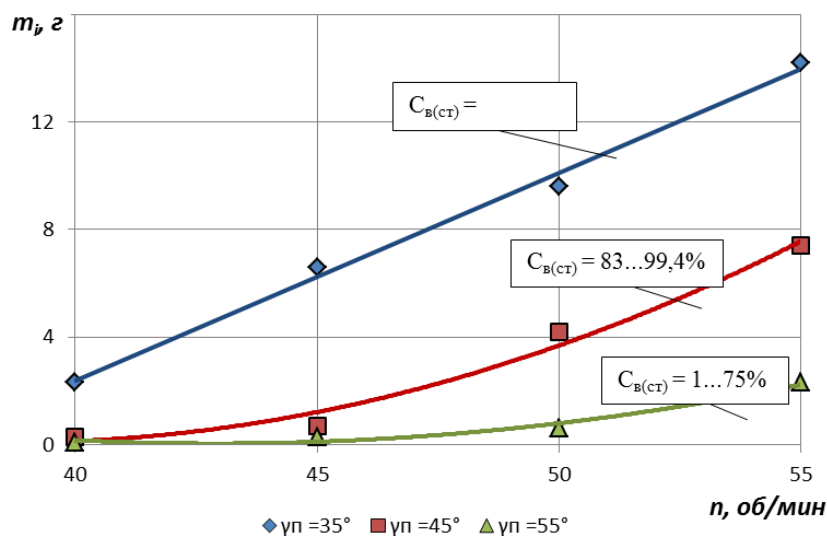


Рисунок 4.10 – Зависимость интенсивности выделения семян вики из ячменя в 1-ом интервале времени замеров ($t_u = 5$ с) от n при различных γ_n ($m_n = 1000$ г; $Z_n = 2\%$)

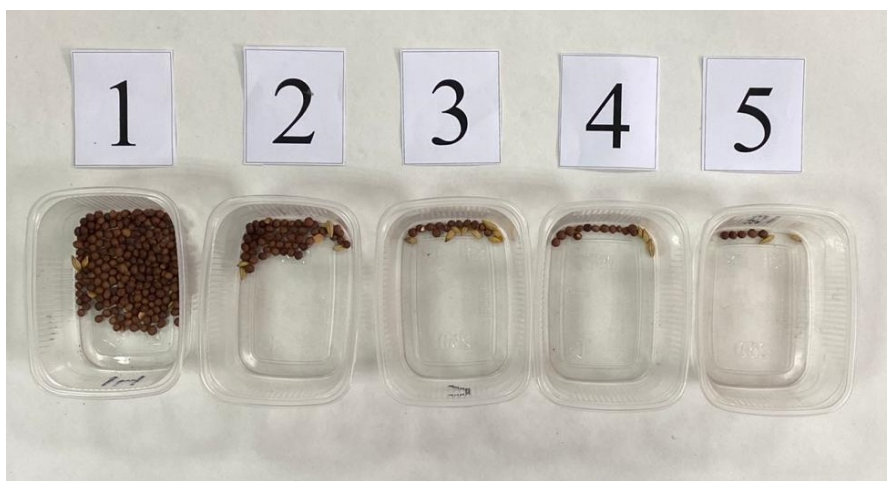


Рисунок 4.11 – Распределение выделенных масс семян вики (m_i) из ячменя в первых 5-ти интервалах времени ($t_u = 5$ с) при $n = 55$ об/мин и $\gamma_n = 35^\circ$ ($Z_n = 2\%$, $m_n = 1000$ г)

Таблица 4.6 – Взаимосвязь технологических потерь ($P_{ст}$) при выделении семян вики из ячменя со скоростным режимом (n) и угловым положением лотка (γ_n) в условиях: $m_n = 1000$ г; $Z_n = 2\%$

№ п/п	Величина угла γ_n , град	Показатели технологических потерь на $l_{ст}$	Скоростной режим работы (n), об/мин			
			40	45	50	55
1	2	3	4	5	6	7
1	35	$P_{ст}$, шт	14	17	23	59
		$P_{ст}$, %	0,072	0,087	0,118	0,303

Продолжение таблицы 4.6

1	2	3	4	5	6	7
2	45	$P_{ст}$, шт	12	11	30	60
		$P_{ст}$, %	0,062	0,056	0,154	0,308
3	55	$P_{ст}$, шт	8	15	12	21
		$P_{ст}$, %	0,041	0,077	0,062	0,108

Наибольший рост технологических потерь (пятикратный) получен при $\gamma_n = 45^\circ$, что противоречит логике протекания процесса и подтверждает случайный характер захвата ячеями зерновок основной культуры и их выброса в выводной лоток. Величина технологических потерь при $\gamma_n = 55^\circ$ подтверждает общую логику протекания процесса – она вдвое ниже.

4.2.4 Динамика и качество выделения семян сорго из зерносмеси

Сорго имеет наибольшую насыпную плотность ($\rho = 816 \text{ кг/м}^3$) среди исследуемых компонентов зерносмесей. Сорго имеет овальную форму и компактные габариты – 4,2x3,3x2,3 м. Эти свойства семян сорго в сочетании с высокой насыпной плотностью определяют их легковыделяемость из зерносмесей и склонность к положительной (вектором к ячеистой поверхности) динамической сегрегации в циркулирующих слоях сегмента.

Программой экспериментальных исследований процессов выделения семян сорго из ячменя предусматривалось – выявить влияние на динамику и качество процессов четырех основных факторов, таблица 4.7.

Таблица 4.7 – Диапазоны и интервалы варьирования факторов

№ п/п	Наименование факторов	Условное обозначение	Размерность	Диапазон варьирования	Интервал варьирования
1	Навеска зерносмеси	m_n	г	750-1250	250
2	Исходная засоренность	z_n	%	1-3	1
3	Скорость вращения ячеистого барабана	n	об/мин	40-55	5
4	Угол подъема кромки выводного лотка	γ_n	град	35-65	10

В качестве критериев оценки динамики и качества выделения сорго из ячменя использовались: массы (m_i) выделенной примеси по интервалам времени замеров (t_i); продолжительность выделения примеси ($t_{\text{выд}}$); эквивалентная длина (l_3) ячеистой поверхности для выделения примесного компонента до заданного уровня; степень выделения примеси на стандартной длине ячеистой поверхности ($l_{\text{ст}} = 2,2$ м); остаточная засоренность при проходе зерносмеси через стандартную длину ячеистой поверхности; технологические потери ($\Pi_{\text{ст}}$) на стандартной длине ячеистой поверхности.

Экспериментальные исследования выполняли с использованием прибора для исследований триерных процессов, позволяющего реализовать временную модель триерной технологии и получить объективные закономерности протекания процессов разделения зерносмесей.

4.2.4.1 Выделение семян сорго в зависимости от исходной засоренности и загрузки

В этом подразделе рассматривается процесс при минимальных режимном (n) и настроечном (γ_n) параметрах. Закономерности выделения примесного компонента в этих условиях представлены на рисунках 4.12 – 4.14.

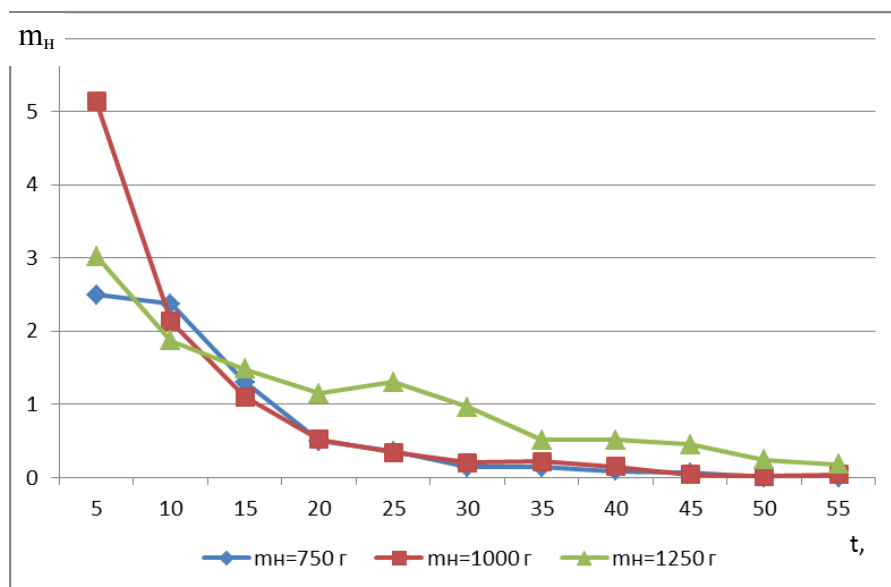


Рисунок 4.12 – Выделение сорго в зависимости от толщины слоя при засоренности 1%, $n = 40$ об/мин, $\gamma_n = 35^\circ$

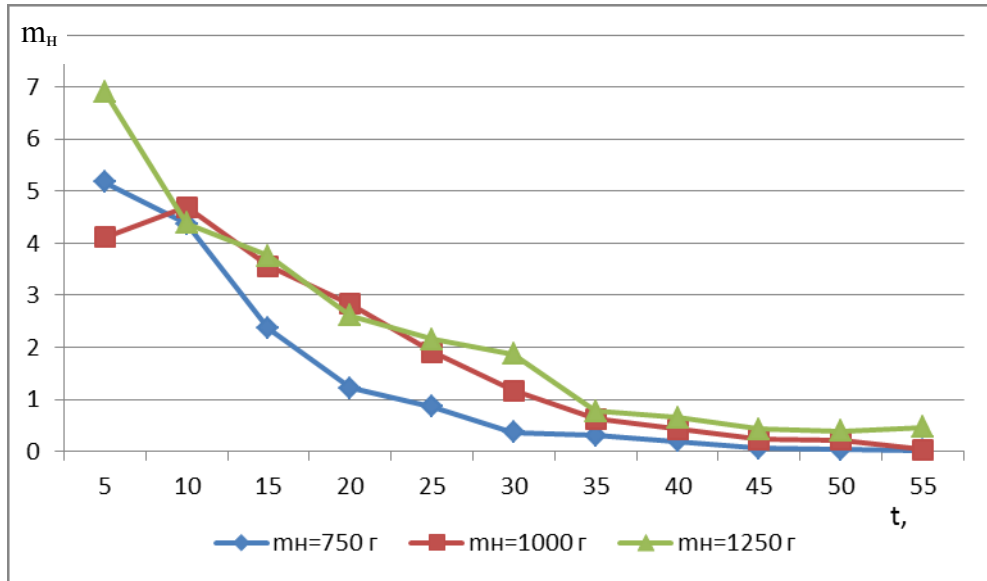


Рисунок 4.13 – Динамика выделения сорго в зависимости от толщины слоя при засоренности 2%, $n = 40$ об/мин, $\gamma_n = 35^\circ$

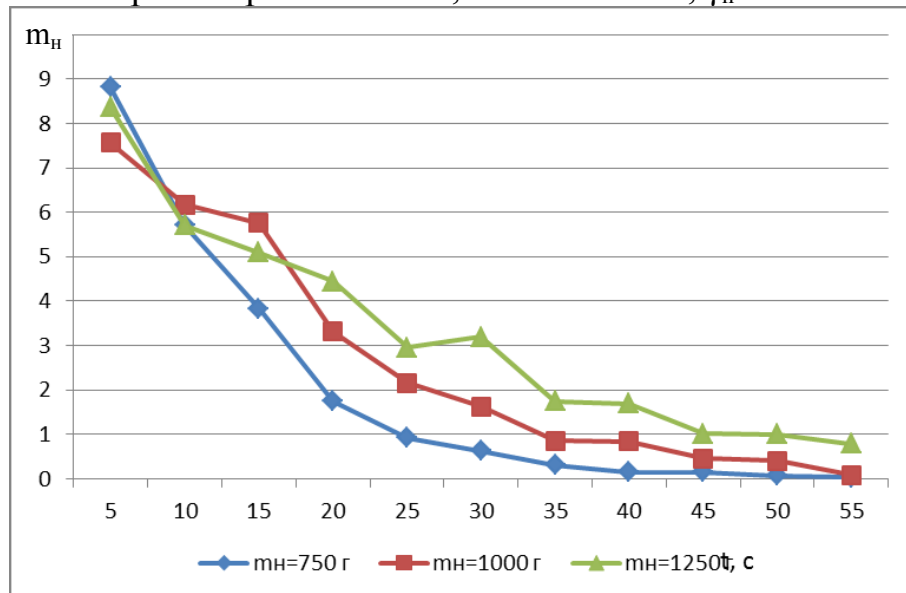


Рисунок 4.14 – Динамика выделения сорго в зависимости от толщины слоя при засоренности 3%, $n = 40$ об/мин, $\gamma_n = 35^\circ$

Общими для всех закономерностей, представленных на рисунках 4.12 – 4.14, являются два обстоятельства:

- интенсивность выделения сорго из ячменя в первых двух интервалах времени измерений ($t_{и} = 5$ с) носит случайный характер взаимосвязи с рассматриваемыми факторами;
- в последующих интервалах времени замеров интенсивность выделения примеси пропорциональна абсолютному ее содержанию в навеске зерносмеси m_i .

Первое обстоятельство объясняется недостаточной воспроизводимостью сопоставимых условий опыта и случайным характером протекания процесса динамической сегрегации сорго в циркулирующих слоях сегмента зерносмеси в начальный период. Так из навески $m_n = 1000$ г (рисунок 4.12) в первом интервале времени замеров выделилось в 2 раза больше, чем из навески $m_n = 1250$ г, а в последующих интервалах соотношение выделяемых масс примеси меняется на противоположное.

Второе обстоятельство объясняется тем, что физико-механические свойства примесного компонента обеспечивают высокий уровень его положительной (движение к ячеистой поверхности) динамической сегрегации в циркулирующих слоях ячменя. Ранее нами было подтверждено, что концентрация легковыделяемой примеси в зерносмеси определяет потенциал динамической сегрегации. Особенно четко эта закономерность проявляется при $Z_n = 3\%$ (рисунок 4.14) – с 3-го по 11-ый интервал интенсивность выделения примеси не зависит от толщины сегмента.

Однако продолжительность процесса увеличивается с ростом абсолютного количества примеси в навеске зерносмеси. Эта закономерность иногда нарушается из-за высокой точности оценки выделенных масс примеси (m_i) в совокупности со случайно запоздало выпавшими частицами, таблица 4.8. Отмеченные сбои наблюдались во 2-ом и 8-ом опытах.

Из таблицы 4.8 видно, что продолжительность процесса (t_b) при наибольшей навеске ($m_n = 1250$ г) соизмерима или даже равна продолжительности выделения примеси при меньшей навеске ($m_n = 1000$ г). Это объясняется чисто техническими причинами. Продолжительность этой серии опытов ограничивали временем в 100с. Однако из столбца 5 таблицы 4.8 видна меньшая степень выделения примеси стандартной длиной ячеистой поверхности ($C_{вст}$) при $m_n = 1250$ г, указывающая на большую продолжительность полного выделения примеси при больших навесках.

Таблица 4.8 – Взаимосвязь динамики и качества выделения семян сорго из ячменя с m_n и Z_n при $n = 40$ об/мин и $\gamma_n = 35^\circ$

№ п/п	Условия опытов		Показатели динамики и качества процесса				
	m_n , г	Z_n , %	t_B , с	$C_{вст}$, %	$Z_{ост}$, %	$P_{ст}$, шт	$P_{ст}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	750	1	75	98,8	0,012	45	0,308
2	1000	1	75	99,0	0,01	26	0,133
3	1250	1	100	92,9	0,071	21	0,086
4	750	2	60	99,87	0,0027	9	0,062
5	1000	2	70	99,05	0,019	7	0,036
6	1250	2	95	97,6	0,049	20	0,082
7	750	3	70	99,4	0,014	12	0,082
8	1000	3	100	97,5	0,075	14	0,072
9	1250	3	100	95,9	0,122	21	0,086

Остаточная засоренность зерносмеси обеспечивается на приемлемом уровне стандартной длиной ячеистой поверхности на минимальном скоростном режиме ($n = 40$ об/мин) при $\gamma_n = 35^\circ$ и всех значениях m_n и Z_n .

Технологические потери в опытах изменялись случайным образом. При $Z_n = 1\%$ они снижались с увеличением m_n . В последующих опытах при $Z_n = 2$ и 3% отличалась обратная тенденция. Однако, во всех опытах уровень технологических потерь не высок – он не превышает $0,31\%$.

4.2.4.2 Выделение семян сорго из ячменя в зависимости от частоты вращения цилиндра и углового положения выводного лотка

Увеличение n с 40 об/мин до 45 об/мин позволяет в $1,9$ раз увеличить выделенную массу семян сорго из ячменя в первом интервале времени замеров при прочих равных условиях (см. рисунок 4.12 – зависимость для $\gamma_n = 35^\circ$, $m_n = 750$ г и $Z_n = 1\%$). Однако дальнейшее увеличение скоростного режима работы от 45 об/мин (на 22%) привело к росту выделенной примеси в 1-ом интервале времени замеров лишь на 11% . Это объясняется тем, что при минимальном подъеме верхней кромки передней стенки выводного лотка ($\gamma_n = 35^\circ$) скоростной режим в $n = 45$ об/мин обеспечивает подачу большей части факела выброса выделенных частиц в выводной лоток, таблица 4.9.

Таблица 4.9 – Взаимосвязь динамики и качества выделения семян сорго из ячменя с n и γ_n при $m_n = 750$ г $Z_n = 1\%$

№ п/п	Условия опытов		Показатели динамики и качества процесса				
	n , об/мин	γ_n , град	t_b , с	$C_{вст}$, %	$Z_{ост}$, %	$P_{ст}$, шт	$P_{ст}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	40	35	75	98,8	0,012	45	0,308
2	40	45	75	71,9	0,281	38	0,26
3	40	55	150	22,0	0,78	32	0,22
4	40	65	150	21,1	0,789	25	0,171
5	45	35	35	100	0	26	0,178
6	45	45	55	100	0	15	0,103
7	45	55	105	58	0,42	10	0,068
8	45	65	200	32,5	0,675	6	0,041
9	50	35	35	100	0	46	0,315
10	50	45	35	100	0	17	0,116
11	50	55	91	91,2	0,088	24	0,164
12	50	65	190	83,2	0,168	22	0,150
13	55	35	35	100	0	68	0,465
14	55	45	30	100	0	38	0,260
15	55	55	30	100	0	27	0,185
16	55	65	65	91,1	0,089	30	0,205

Из таблицы 4.9 видно, что при $n = 45$ об/мин и минимальном γ_n примесь выделяется полностью за 35 с, что эквивалентно 63,6% рабочей длины стандартного ячеистого цилиндра. С увеличением γ_n до 45°, также обеспечивается 100%-ное выделение примеси на скоростном режиме $n = 45$ об/мин, но при этом задействована вся рабочая длина стандартного ячеистого цилиндра. При $\gamma_n = 55^\circ$ степень выделения примеси до 58% на стандартной длине ячеистой поверхности. Еще более неприемлемым для скоростного режима работы $n = 45$ об/мин настройка выводного лотка до $\gamma_n = 65^\circ$. При этом $C_{вст} = 32,5\%$, а $Z_{ост} = 0,675\%$.

Повышение скоростного режима работы (50 и 55 об/мин) обеспечивают 100% выделение примеси: первый – при $\gamma_n = 35 - 45^\circ$; второй – при $\gamma_n = 35 - 55^\circ$.

В анализируемой серии опытов технологические потери закономерно снижаются с ростом γ_n на всех скоростных режимах работы: $n = 40$ об/мин → с 0,308 до 0,171%; $n = 45$ об/мин → с 0,178 до 0,041%; $n = 50$ об/мин → с 0,315 до 0,150%; $n = 55$ об/мин → с 0,465 до 0,205%.

Следует обратить внимание на то, что при минимальном γ_n повышенная величина технологических потерь объясняется неустойчивым размещением зерно-

вок основной культуры в ячейх кукольного цилиндра и их ранним выпадением, позволяющим преодолеть кромку лотка, поднятую на угол 35° . Еще большие технологические потери на скоростных режимах работ $n = 50 - 55$ об/мин объясняются эффектом инерционного удержания даже неустойчиво размещенных в ячейх зерновок основной культуры, обеспечивающего приращение их выброса в отводной лоток.

С увеличением навески зерносмеси в ячеистом цилиндре до $m_n = 1000$ г и концентрации примеси до $Z_n = 2\%$ в сравнении с условиями ($m_n = 750$ г, $Z_n = 1\%$) существенно меняются динамика и качество процесса выделения семян сорго из ячменя, таблица 4.10. При больших навеске и концентрации примеси ее выделение оказывалось более продолжительным.

Таблица 4.10 – Взаимосвязь динамики и качества выделения семян сорго из ячменя с n и γ_n при $m_n = 1000$ г $Z_n = 2\%$

№ п/п	Условия опытов		Показатели динамики и качества процесса				
	n , об/мин	γ_n , град	t_b , с	$C_{вст}$, %	$Z_{ост}$, %	$P_{ст}$, шт	$P_{ст}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	40	35	70	99,05	0,019	7	0,036
2	40	45	200	63,5	0,731	13	0,067
3	40	55	300	31,7	1,367	–	–
4	40	65	400	23,95	1,521	4	0,021
5	45	35	50	100	0	26	0,133
6	45	45	150	96,75	0,065	11	0,056
7	45	55	300	41,8	1,164	8	0,041
8	45	65	400	33,7	1,327	4	0,021
9	50	35	35	100	0	48	0,246
10	50	45	55	100	0	49	0,251
11	50	55	165	91,1	0,178	18	0,092
12	50	65	400	45,7	1,087	5	0,026
13	55	35	50	100	0	90	0,462
14	55	45	55	100	0	32	0,164
15	55	55	105	99,6	0,006	15	0,077
16	55	65	260	92,3	0,154	14	0,072

Выделение примеси в условиях условиями ($m_n = 750$ г, $Z_n = 1\%$) до $C_v = 100\%$ продолжалось 55 с на режиме $n = 45$ об/мин и настройке выводного лотка $\gamma_n = 45^\circ$. На тех же режиме и настройке при $m_n = 1000$ г $Z_n = 2\%$ продолжительность выделения примесного компонента составила 150 с. Причем за этот продолжительный

период времени (в 2,7 раза больший) достигнута степень выделения примеси лишь на уровне $C_b = 96,8\%$.

При максимальном повороте кромки выводного лотка ($\gamma_n = 65^\circ$) на режиме работы $n = 45$ об/мин динамика процесса по продолжительности и степени выделения также существенно отличается. При $m_n = 750$ г и $Z_n = 1\%$ продолжительность выделения семян сорго из ячменя до степени выделения $C_b = 87,5\%$ составила 200 с, а в случае $m_n = 1000$ г и $Z_n = 2\%$ – 400 с при меньшей степени выделения, равной 85,8%.

На режиме работы $n = 50$ об/мин и настройке выводного лотка $\gamma_n = 45^\circ$ продолжительность процесса оказалась в 1,6 раза меньше при $m_n = 750$ г и $Z_n = 1\%$ в сравнении с условиями, когда $m_n = 1000$ г и $Z_n = 2\%$.

Увеличение продолжительности процесса отмечено на более скоростном режиме работы $n = 55$ об/мин в сравнении с $n = 50$ об/мин при одинаковых положениях выводного лотка – $\gamma_n = 35^\circ$. Очевидно, что на более скоростном режиме происходит случайный переброс выделенных примесных частиц через заднюю кромку выводного лотка, что и является причиной увеличения продолжительности процесса.

По результатам исследований, представленным в таблице 4.10 видно, что для кукольного цилиндра стандартной длины оптимальная динамика процесса обеспечивается на скоростных режимах работы в диапазоне коэффициента кинематического режима $K = 0,419 - 0,508$, что соответствует диапазону скоростей натурального ячеистого цилиндра диаметром 0,6 м – $n = 35,4 - 38,9$ об/мин (на стенде этот диапазон – $n = 50 - 55$ об/мин). Диапазон настройки выводного лотка при этом составляет $\gamma_n = 35 - 45^\circ$.

Относительно технологических потерь установлено, что с уменьшением числа циркулирующих слоев (с уменьшением m_n) они возрастают. Абсолютное число потерь при $m_n = 750$ г в 16-ти опытах составило 424 зерновки основной культуры, а при $m_n = 1000$ г – 344 зерновки, что в 1,23 раза больше. Причем во втором случае 344 зерновки выделены в отводной лоток за суммарную продолжи-

тельность 16-ти опытов в 2995 с, а в первом случае – 424 зерновки основной культуры выведены в отводной лоток за 1356 с, что 2,2 раза меньше.

Сопоставление результатов опытов показывает, что величина технологических потерь является случайной. Так в опытах 10 и 11 (см. таблицу 4.9) величины потерь зерновок основной культуры имеют обратную связь с величиной γ_n относительно ожидаемой. Большему значению γ_n в 11-ом опыте соответствовали большие потери зерновок (24 шт.), чем в 10-ом опыте при меньшем γ_n (17 шт.). И в 12-ом опыте потерь больше даже при максимальном значении γ_n .

На рисунке 4.15 показана динамика выделения семян сорго из ячменя при оптимальных режимах работы прибора ($n = 55$ об/мин, $\gamma_n = 45^\circ$) в зависимости от величины исходной засоренности зерносмеси ($Z_{и}$). Выделенные навески в опытах приведены к равному интервалу времени замеров ($t_{и} = 10$ с).

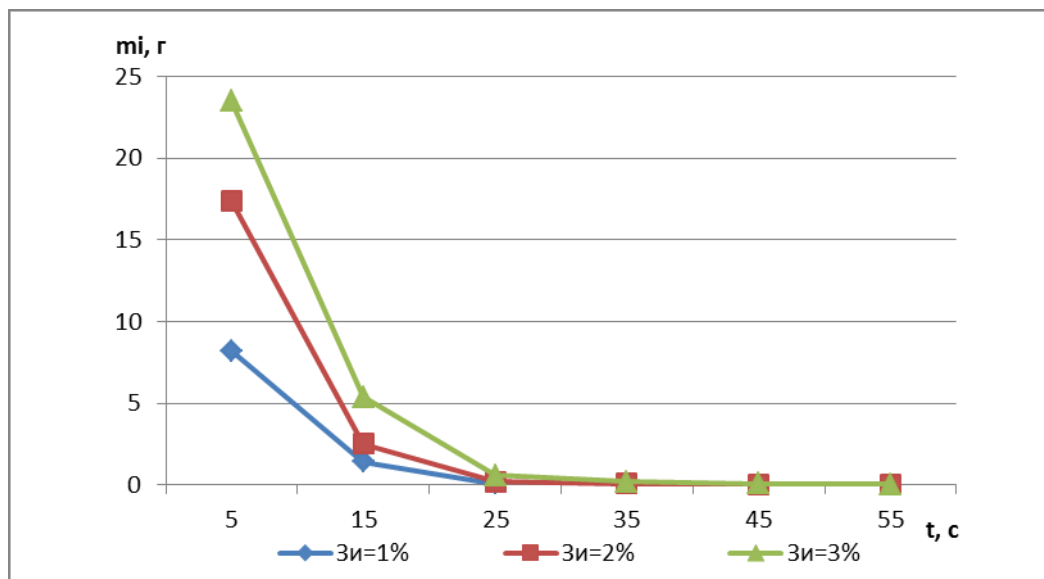


Рисунок 4.15– Динамика выделения сорго из ячменя при $n = 55$ об/мин, $m_n = 1000$ г и $\gamma_n = 45^\circ$ в зависимости от $t_{и}$.

Из рисунка 4.15 видно, что интенсивность выделения примесных частиц пропорциональна величине исходной засоренности ($Z_{и}$). В первом интервале числовому ряду исходных концентраций примеси (1 – 2 – 3) соответствует числовой ряд соотношений выделенных масс примеси (1 – 2,1 – 2,9). Во втором интервале времени замеров ($t_{и} = 10$ с) соответствующий числовой ряд соотношений выделенных масс примеси выглядит так: 1 – 1,55 – 3,6.

Для второго интервала характерны большие отклонения от соответствия указанным выше числовым пропорциям, но суммарно (по всем интервалам) эти пропорции сохраняются так как величины t_b отличаются незначительно. Они изменяются в диапазоне 40 - 60 с. В этом диапазоне t_b также сохраняется пропорциональность продолжительности 100%-го выделения примесного компонента и исходной засоренности зерносмеси.

С ростом навески до $m_n = 1250$ г при тех же скоростном режиме ($n = 55$ об/мин) и настройкой выводного лотка ($\gamma_n = 45^\circ$) продолжительность выделения увеличивается до $t_b = 70$ с, хотя за $t_b = 55$ с, соответствующее продолжительности движения сегмента зерносмеси на всю длину стандартного кукольного цилиндра выделяется 99,7% примеси при $Z_n = 2\%$. Визуально динамика выделения семян сорго из ячменя в указанных выше условиях представлена на рисунке 4.16.



Рисунок 4.16 – Динамика выделения семян сорго из ячменя при: $m_n = 1250$ г; $Z_n = 2\%$; $n = 55$ об/мин; $\gamma_n = 45^\circ$

Из рисунка 4.16 видно и это экспериментально подтверждено, что в первых двух интервалах времени измерений по $t_n = 10$ с выделяется 94,4% примеси. Интенсивная динамика процесса в его начале объясняется ярко выраженным для этого вида примеси эффектом динамической сегрегации ее частиц в циркулирующих слоях зерносмеси, а увеличение t_b до 70 с – ростом вероятности случайных столкновений примесных частиц между собой в факеле их выброса, с зерновками основной культуры, со стенкой и кромками выводного лотка, которые «размывают» сепарирующие контакты с ячеями по времени. Подтверждением этим объяс-

нениям служит тот факт, что в последних контрольных интервалах времени процесса выделено по одной частице примеси.

Именно по этим причинам мы посчитали протекание процессов выделения примесей из ячменя, представленных на рисунке 4.15, с незначительной разницей по времени, хотя границы диапазона ($t_b = 40 - 60$ с) отличаются в 1,5 раза. Если отбросить интервалы замеров с одной выделенной частицей примеси, то получим подтверждение сопоставимости t_b .

Ранее (см. рисунок 4.15) было показано, что динамика выделения примесных частиц достаточно тесно коррелирована с исходной концентрацией примеси в зерносмеси. Однако, с ростом исходной концентрации семян сорго в зерносмеси с ячменем возрастает и продолжительность выделения примеси (t_b) до сопоставимой полноты реализации процесса (C_b).

При реализации программы исследований было установлено сильное влияние на эти показатели основных факторов – частоты вращения ячеистого цилиндра (n) и углового положения выводного лотка (γ_n) относительно горизонтальной плоскости. Поэтому на основе поисковых опытов уточнялись интервалы времени измерений (t_n) для существенно меняющихся сочетаний n и γ_n с целью обеспечения максимальной полноты выделения примеси (m_i) из навески, что облегчает анализ и сопоставление результатов исследований. Хотя разнообразие t_n усложняет расчет оценочных показателей процесса.

Необходимость такого подхода подтверждается широким диапазоном продолжительности выделения примеси (t_b) из зерносмеси при различных режимных и настроечных параметрах. Например, при $n = 50 - 55$ об/мин и $\gamma_n = 35 - 45^\circ$ продолжительность процесса составляет 30 - 55 с в зависимости от m_n и Z_n , а при $n = 40$ об/мин и $\gamma_n = 65^\circ$ процесс выделения продолжается 400 с.

Поэтому для первого случая достаточно обоснованным интервалом измерений является $t_n = 5$ с, когда при $t_b = t_{b \min}$ определяемую закономерность можно представить по 6-8-ми точками, что вполне достаточно. Снижение интервала измерений ($t_n < 5$ с) увеличивает погрешность замеров интервалов времени опытов. Для второго случая принимались во внимание другие соображения, исходящие из

реальности выполнения программы исследований по трудоемкости работ. При $t_b > 150 \dots 200$ целесообразно использовать $t_{и} = 15 - 20$ с. Этократно сократит затраты труда и будет достаточным для отображения закономерностей процесса по числу экспериментальных точек.

Для сравнения результатов исследований процесса выделения семян сорго из ячменя при исходных концентрациях примеси $Z_{и} = 2\%$ и $Z_{и} = 3\%$ выполнена систематизация по форме таблицы 4.11 с учетом обоснованной вариации интервалов времени замеров.

Таблица 4.11 – Сопоставление полноты выделения (C_b) семян сорго из ячменя и продолжительности процесса в варианте $Z_{и} = 2\%$ и $Z_{и} = 3\%$

№ п/п	Показатели условий опытов и результатов, ед. изм.	Номера опытов					
		1	2	3	4	5	6
1	Режим работы (n), об/мин	40	40	40	40	45	45
2	Угол γ_n , град	35	45	55	65	35	45
3	Степень выделения примеси (C_b) при $Z_{и} = 2\%$, %	100	96,5	74,8	79,2	100	96,8
4	Продолжительность (t_b) при $Z_{и} = 2\%$, с	70	200	300	400	50	150
5	C_b при $Z_{и} = 3\%$, %	100	95,4	64,9	47,1	100	100
6	t_b при $Z_{и} = 3\%$, с	100	200	300	400	60	130

Продолжение таблицы 4.11

№ п/п	Номера опытов									
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	45	45	50	50	50	50	55	55	55	55
2	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65
3	92,5	85,8	100	100	99,4	95,7	100	100	100	99,8
4	300	400	35	55	165	400	50	55	105	260
5	88,9	84,5	100	100	99,5	94,0	100	100	100	99,6
6	300	400	60	60	225	400	50	60	105	260

Из таблицы 4.11 видно, что при сопоставимой степени выделения примеси из зерносмеси (C_b) продолжительность процесса выше при ее концентрации $Z_{и} = 3\%$ в сравнении с опытами, когда $Z_{и} = 2\%$. Или при сопоставимой продолжительности процесса выделения примеси (t_b) из зерносмеси степень ее выделения (C_b) при концентрации $Z_{и} = 3\%$ ниже, чем в опытах с $Z_{и} = 2\%$.

Так в опытах под №№ 1, 5, 9, 10, 13, 14, 15 совпадают величины C_b для $Z_{и} = 2\%$ и для $Z_{и} = 3\%$, она составляет 100%. Из 7-ми сопоставляемых результатов

опытов при разной величине $Z_{и}$ и идентичных n и γ_n в 5-ти случаях t_b с большей концентрацией выше, чем t_b с меньшей, а в двух случаях они равны. Последние два случая не нарушают отмеченной выше логики процесса – иногда единичные примесные частицы, выделяемые в конце опыта, «размывают» границы t_b .

В опытах под №№ 2, 3, 4, 7, 8, 16 совпадают величины t_b для $Z_{и} = 2\%$ и для $Z_{и} = 3\%$, но степень выделения примеси в варианте зерносмеси, когда $Z_{и} = 3\%$, ниже, чем в варианте с $Z_{и} = 2\%$. В 11-ом опыте C_b в обоих вариантах практически одинаковая (99,4% и 99,5%), но в опыте с большей концентрацией примеси t_b в 1,36 раза выше, чем t_b в опыте с меньшей концентрацией.

В таблице 4.12 представлены динамика выделения семян сорго из ячменя и качество процесса по остаточной засоренности в расчете на стандартную длину ($l = 2,2$ м) кукольного цилиндра.

Таблица 4.12 – Взаимосвязь динамики и качества процесса выделения сорго из ячменя на стандартной длине ячеистого цилиндра с n и γ_n при $m_n = 1000$ г и $Z_{и} = 3\%$

№ п/п	Величина угла γ_n , град	Технологические потери	Скоростной режим работы n , об/мин			
			40	45	50	55
1	35	$C_{вст}$	97,5	99,9	99,93	100
		$Z_{ост}$	0,075	0,007	0,002	0
2	45	$C_{вст}$	63,7	98,3	99,93	99,97
		$Z_{ост}$	1,089	0,05	0,002	0,001
3	55	$C_{вст}$	20,6	39,6	94,5	99,8
		$Z_{ост}$	2,382	1,812	0,165	0,006
4	65	$C_{вст}$	15,7	31,3	34,8	91,6
		$Z_{ост}$	2,53	2,06	1,957	0,252

Из таблицы 4.12 видно, что стандартная длина кукольного цилиндра при $\gamma_n = 35^\circ$ обеспечивает приемлемый уровень остаточной засоренности $Z_{ост}$ на всех скоростных режимах работ – $n = 40-55$ об/мин. При $\gamma_n = 45^\circ$ скоростной режим работы $n = 40$ об/мин становится недостаточным по степени выделения примеси из зерносмеси и ее остаточной засоренности.

При росте γ_n до 55° уже 2 скоростных режима становятся недостаточными $n = 40$ и 45 об/мин. Степень выделения примеси из зерносмеси на этих режимах падает в 2,5 и 5 раз, а остаточная засоренность превышает допустимый уровень в

4,5-6 раз. Предельный угол $\gamma_n = 65^\circ$ позволяет осуществлять процесс только на максимальном скоростном режиме $n = 55$ об/мин, снижая $C_{вст}$ до 91,6% и увеличивая $Z_{ост}$ до 0,252%.

Взаимосвязь технологических потерь в процессе выделения семян сорго из ячменя с n и γ_n при $m_n = 1000$ г и $Z_n = 3\%$ представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Взаимосвязь динамики и качества процесса выделения сорго из ячменя на стандартной длине ячеистого цилиндра с n и γ_n при $m_n = 1000$ г и $Z_n = 3\%$

№ п/п	Величина угла γ_n , град	Показатели технологических потерь на $l_{ст}$	Скоростной режим работы (n), об/мин			
			40	45	50	55
1	35	$P_{ст}$, шт	14	23	53	79
		$P_{ст}$, %	0,072	0,118	0,272	0,405
1	2	3	4	5	6	7
2	45	$P_{ст}$, шт	4	23	47	380
		$P_{ст}$, %	0,02	0,118	0,241	0,195
3	55	$P_{ст}$, шт	2	10	33	20
		$P_{ст}$, %	0,01	0,051	0,169	0,103
4	65	$P_{ст}$, шт	2	6	18	15
		$P_{ст}$, %	0,01	0,03	0,092	0,077

Из таблицы 4.13 следует, что максимальные технологические потери характерны для $\gamma_n = \gamma_{n \min}$ и $n = n_{\max}$. В целом уровень технологических потерь на всех режимных и настроечных параметрах следует считать приемлемым, если сравнивать с уровнем потерь в реальном производстве, где отсутствуют эффективные средства управления технологией.

4.2.5 Рациональные технологические режимы и параметры процесса триерной очистки ячменя от коротких примесей

Обоснование режимов и параметров процесса выполнено на основе: теоретических исследований, когда впервые была получена расчетная закономерность динамики выделения коротких примесей кукольным триером; результатов широких экспериментальных исследований процессов выделения коротких примесей

из ячменя, выполненных с использованием принципиально новой модели физического процесса с интервально-временным контролем результативных показателей.

Установлено, что рациональный диапазон скоростного режима работы натурального цилиндра с $R = 0,3$ м составляет 35,4...38,9 об/мин. Высокая степень выделения примесных компонентов (на уровне $C_{вст} = 99 - 100\%$) стандартным ячеистым цилиндром ($l = 2,25$ м) обеспечивается при установке выводного лотка под углом $\gamma_n = 35 - 45^\circ$. Подтверждено, что $\gamma_n = \gamma_{n \min} = 35^\circ$ соответствуют максимальные технологические потери, но они не превышают допустимый уровень $[П] < 0,3\%$.

Продолжительность процесса выделения семян вики, сорго, проса, гречишки вьюнковой мало зависит от исходной засоренности зерносмеси в пределах $Z_{и} = 1 - 3\%$ из-за эффекта динамической сегрегации примесных компонентов в циркулирующих слоях сегмента – концентрация ($Z_{и}$) определяет потенциал динамической сегрегации. Зерновая примесь не имеет контраста физико-механических свойств с основной культурой и не подвергается динамической сегрегации, поэтому требует большей длины ячеистой поверхности, таблица 4.14.

Таблица 4.14 – Обоснованные технологические режимы и параметры процесса триерной очистки ячменя от коротких примесей

№ п/п	Наименование режимов и параметров	Размерность	Значение
1	2	3	4
1	Скоростной режим по стенду с $R_{ц} = 0,15$ м	об/мин	50...55
2	Скоростной режим по коэффициенту кинематического режима	–	0,42...0,508
3	Скоростной режим натурального цилиндра с $R = 0,3$ м	об/мин	35,4...38,9
4	Угол подъема кромки выводного лотка	град.	35...45
5	Допустимые технологические потери	%	< 0,3
6	Степень выделения семян сорго, проса, вики, гречишки вьюнковой стандартным цилиндром ($l = 2,2$ м)	%	99...100
7	Уровень остаточной засоренности	%	< 0,2
8	Технологическая длина ячеистой поверхности для выделения зерновой примеси	м	> 4

Выводы по главе:

1. - результаты оценок величин α всех примесных компонентов существенно зависят от вида и качества опорной поверхности;

- наличие буртика по периферии опорной поверхности нивелирует свойства частиц исследуемых сыпучих материалов, определяющих сопротивление перекачиванию по опорной поверхности, и их качество. Поэтому его наличие может быть принято в качестве необходимого конструктивного элемента для эталонного прибора;

- большинство исследуемых опорных поверхностей (7 и 9 – за исключением нержавеющей стальной листа и гладкого утеплителя) разнонаправленно влияют на величину $\Delta\alpha_{ij}$;

- для создания эталонного прибора необходимы регламентация динамики формирования конусного монолита из исследуемого сыпучего материала, определенность конструктивного исполнения и размеров, определенность по исследуемым материалам.

2. Зерновая примесь из колотых зерновок ячменя не подвергается динамической сегрегации в циркулирующих слоях сегмента из-за близости физико-механических свойств с основной культурой. Интенсивность выделения примесного компонента существенно зависит от его исходной концентрации в зерносмеси и этот эффект сохраняется на всей длине рабочей поверхности. Разница в интенсивности выделения примеси в зависимости от скоростного режима работы проявляется только на начальных интервалах времени, а затем выравнивается. Это объясняется неустойчивым размещением колотых зерновок ячменя в ячейках. Степень выделения примеси не превышает 50% на стандартной длине ячеистой поверхности ($l = 2,2$ м). При $l = 4$ м и скоростном режиме работы $n = 55$ об/мин $C_v = 89...90\%$.

3. Технологические потери возрастают с увеличением скоростного режима работы (n) и снижаются с увеличением угла подъема кромки выводного лотка: с

ростом n от 40 до 55 об/мин при $\gamma_n = 35^\circ$ потери увеличились в 5 раз; с увеличением γ_n до 55° при $n = 55$ об/мин технологические потери снизились в 7 раз.

4. Интенсивность выделения семян гречишки вьюнковой из ячменя носит лавинообразный характер в первых циклах времени измерений. При росте n до 55 об/мин обеспечивается 100%-ное выделение примеси на длине ячеистой поверхности в 1,6 м – 73% длины стандартного цилиндра. С ростом n до 55 об/мин степень выделения примеси падает до $C_{вст} = 71,3\%$. Технологические потери с ростом скоростного режима в исследуемом диапазоне возрастают в 4,6 раза при $\gamma_n = 35^\circ$.

5. Динамика выделения семян вики из ячменя имеет идентичный с другими примесными компонентами в начальный период протекания процесса. С ростом n от 40 до 55 об/мин масса выделенных частиц в 1-ом интервале времени замеров выросла в 6,3 раза. В последующих интервалах интенсивность выделения выравнивается. При этом $C_{вст}$ возрастает с 72 до 99,4%.

6. Продолжительность выделения (t_b) проса с ростом ее концентрации от 1 до 3% увеличивается лишь в 1,2 раза. При $n = 55$ об/мин и $\gamma_n = 45^\circ$ она (t_b) не превышает 30 с, что эквивалентно 1,2 м длины ячеистой поверхности – 54,4% l . Этот компонент является наиболее легко выделяемым – $C_{вст} = 100\%$ даже при $\gamma_n = 55^\circ$ и $n = 55$ об/мин. Технологические потери не превышают 0,292%.

7. Продолжительность выделения сорго (t_b) до сопоставимого уровня $C_{вст}$ увеличивается с ростом навески зерносмеси (m_n) в ячеистом цилиндре от 750 до 1250 г в 1,33 - 1,43 раза при всех уровнях исходной концентрации примеси в зерносмеси. Уже при $n = 45$ об/мин и $\gamma_n = 35^\circ$ полное выделение примеси (1%) достигается через 35 с (63,6% l). Увеличение m_n и исходной засоренности до $Z_n = 2\%$ обеспечивает ту же продолжительность процесса при $n = 50$ об/мин, а при $Z_n = 3\%$ полное выделение примеси достигается за 50 с (91% l) только при $n = 55$ об/мин.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оценки экономической эффективности применения результатов нашей работы, заключающихся в обоснованных рациональных технологических режимов и параметров процесса триерной очистки ячменя, рассмотрим эффективность работы триерного блока СТ-12 производства ООО «Воронежсельмаш» в обычных условиях эксплуатации в условиях сельхозпредприятия и с учетом наших рекомендаций по его настройке и регулировке. Технические характеристики рассматриваемого триерного блока [88] приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Технические характеристики триерного блока СТ-12

Наименование показателя	Значение
Установленная мощность, кВт, не более	6
В том числе:	
- привод овсюжного блока	3
- привод кукольного блока	3
Габаритные размеры в рабочем положении, мм, не более:	
- длина	4200
- ширина	1200
- высота	2600
Масса изделия с комплектом рабочих органов, кг, не более	1820
Номинальная производительность на очистке семян пшеницы влажностью 14%, содержанием длинных и коротких примесей 5%	10*
Диаметр цилиндра, мм	800
Длина триерного сегмента, мм	3000
Частота вращения цилиндра, не более:	
- для отделения длинных примесей, об/мин	39,0±1
- для отделения коротких примесей, об/мин	36,0±1
Назначенный срок службы, лет	10

Оценку эффективности триерной очистки выполняли на основе гостированных методов экономической оценки сельскохозяйственной техники [37, 33] и метода оценки эффективности использования зерноочистительных технологий, разработанного ФГБНУ ВНИИТиН и позволяющего учитывать качество выполнения технологических операций.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные для расчета эффективности триерной очистки

Показатель	Условное обозначение	Единица измерения	Величина показателя	
			базовый	предлагаемый
1. Стоимость триерного блока СТ-12	B	руб.	560000	560000
2. Производительность СТ-12	W	т/ч	10	10
3. Установленная мощность электропривода	$N_{дв}$	кВт	6	6
4. Тариф на электроэнергию	$Ц_э$	руб/кВт·ч	6,5	6,5
5. Численность операторов	$n_{оп}$	чел	1	1
6. Часовая оплата труда	$З_{оч}$	руб/ч	250	250
7. Годовая наработка	$H_г$	ч	39,2	38,4
8. Календарная загрузка за сезон	$K_д$	дни	2	2
9. Коэффициент суточной загрузки	$K_с$	–	0,85	0,8
10. Норматив затрат на ТО и ремонт [3]	$Г_р$	% от цены на 100 ч работы	1,5	1,5
11. Потери полноценного зерна в фуражные отходы*	$П_ф$	%	3,1	0,3
12. Остаточное содержание сорных примесей*	$З_о$	%	0,8	0,2
13. Содержание сорной примеси перед триерной очисткой	$З_и$	%	3	3

* в базовом варианте принято по агротребованиям к вторичной очистке зерна и семян с помощью триеров (3% потери + 0,1% дробления) [82]; в предлагаемом – по результатам исследований

При базовом варианте подготовки семян ячменя применяется триерный блок СТ-12 при режимах и настроечных параметрах, рекомендованных заводом-изготовителем, когда работа триера определяется по выходу длинных примесей из овсюжного цилиндра. Овсюжный цилиндр загружают до такого состояния, пока вместе с примесями не пойдет зерно основной культуры. Затем загрузку уменьшают до отсутствия в отходах чистого зерна. В предлагаемом варианте регулировка и настройка триерного блока СТ-12 осуществляется в соответствии с обоснованными нами параметрами, что обеспечивает более высокое качество процес-

са очистки. Для расчета примем данные о посевных площадях колхоза – племенного завода им. Ленина Тамбовского района Тамбовской области. Площадь посева ячменя в 2020 году составляла 1730 га. Для этой площади необходимо (M_c) 372 тонн семян при норме высева 215 кг/га. Для вторичной очистки семенного материала на триерный блок СТ-12 зерносмесь поступает после предварительной и первичной очистки. Принимаем засоренность зерносмеси перед триерной очисткой на уровне 3% в соответствии с агротребованиями к качеству первичной очистки [82]. Потери полноценного зерна в отходы (фураж) при триерной очистке по базовому варианту принимаем согласно агротребованиям на триерную очистку [82] на уровне 3,1%, из которых 0,1% приходится на дробление, что при подготовке семенного материала равноценно потерям.

Согласно нашим исследованиям потери полноценного зерна при рациональных режимах и настроечных параметрах триера (предлагаемый вариант) не превышают 0,3%. Тогда для получения необходимого количества семян потребуется следующее количество ячменя после первичной очистки ($M_{я1}$):

$$M_{я1} = M_{яс} \left(1 + \frac{P_{\phi} + (Z_u - Z_o)}{100} \right), \quad (5.1)$$

где $M_{яс}$ – требуемая масса семян ячменя, т;

P_{ϕ} – потери зерна в фуражные отходы, %;

Z_u – содержание сорной примеси перед триерной очисткой, %;

Z_o – содержание сорной примеси после триерной очистки, %.

Остаточная засоренность после триерной очистки в базовом варианте с учетом агротребований составляет 0,8%. В предлагаемом варианте, согласно нашим исследованиям, остаточная засоренность не превышает 0,2%.

По базовому варианту:

$$M_{я1(б)} = 372 \left(1 + \frac{3,1 + 3 - 0,8}{100} \right) = 391,7 \text{ т.}$$

По предлагаемому варианту:

$$M_{я1(п)} = 372 \left(1 + \frac{0,3 + 3 - 0,2}{100} \right) = 383,5 \text{ т.}$$

Годовая наработка триерного блока при подготовке семян ячменя составит:

$$H_z = \frac{M_{ял}}{W}, \quad (5.2)$$

где W – производительность триерного блока.

Для базового варианта наработка составит:

$$H_{z(б)} = \frac{M_{ял(б)}}{W} = \frac{391,7}{10} = 39,2 \text{ ч.}$$

Для предлагаемого варианта:

$$H_{z(п)} = \frac{M_{ял(п)}}{W} = \frac{383,5}{10} = 38,4 \text{ ч.}$$

Календарная загрузка определяется по формуле:

$$K_{\delta} = \frac{H_z}{24 \cdot K_c}, \quad (5.3)$$

где K_c – коэффициент суточной загрузки.

$$K_{\delta(б)} = \frac{39,2}{24 \cdot 0,85} = 1,92 \approx 2 \text{ дня.}$$

$$K_{\delta(п)} = \frac{38,4}{24 \cdot 0,8} = 2 \text{ дня.}$$

Определим абсолютные экономические показатели [37]. Прямые эксплуатационные затраты на единицу наработки:

$$И = З + Г + Р + А + Ф, \quad (5.4)$$

где $З$ – затрата на оплату труда обслуживающего персонала, руб./ч;

$Г$ – затраты на ГСМ, газ, электроэнергию, руб./ч;

$Р$ – затраты на ремонт и ТО, руб./ч;

$А$ – затраты на амортизацию, руб./ч;

$Ф$ – прочие прямые затраты на основные и вспомогательные материалы, руб./ч (в нашем случае $Ф=0$).

Затраты денежных средств на оплату труда:

$$З = n_{оп} \cdot З_{оч}, \quad (5.5)$$

где $n_{оп}$ – численность операторов, чел;

$З_{оч}$ – часовая оплата труда.

Затраты на электроэнергию определяем по формуле:

$$Г = q_{\text{э}} \cdot Ц_{\text{э}}, \quad (5.6)$$

где $q_{\text{э}}$ – часовой расход электроэнергии, кВт;

C_3 – цена 1 кВт·ч электроэнергии, руб.

Для обоих вариантов затраты на электроэнергию составят:

$$G_{(б)} = G_{(и)} = 6 \cdot 6,5 = 39 \text{ руб./ч.}$$

Затраты средств на ремонт и ТО:

$$P = B \cdot r_p, \quad (5.7)$$

где B – цена техники, руб.;

r_p – коэффициент отчислений на ремонт и техническое обслуживание техники.

Согласно ГОСТ 34393-2018 [33] отчисления на ремонт и техническое обслуживание для зерноочистительных машин, сушилок, зерноочистительных агрегатов и комплексов составляет 1,5% от цены на 100 часов работы. Тогда $r_p = 1,5 \cdot 10^{-4}$.

Для обоих рассматриваемых вариантов подготовки семян ячменя затраты средств на ремонт и ТО составят:

$$P_{(б)} = P_{(и)} = 560000 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 84 \text{ руб./ч.}$$

Часовые затраты на амортизацию триерного блока определим по формуле:

$$A = \frac{B}{R_m}, \quad (5.8)$$

где R_m – значение амортизационного ресурса техники, ч.

Амортизационный ресурс зерноочистительных машин, агрегатов и комплексов составляет 3600 ч [33].

В обоих рассматриваемых вариантах затраты на амортизацию триерного блока составят:

$$A_{(б)} = A_{(и)} = \frac{560000}{3600} = 155,6 \text{ руб./ч.}$$

Так как в нашем случае $Z_{(б)} = Z_{(и)}$; $G_{(б)} = G_{(и)}$; $P_{(б)} = P_{(и)}$, то для базового и предлагаемого вариантов подготовки семенного ячменя часовые эксплуатационные затраты согласно (5.4) составят:

$$I_{(б)} = I_{(и)} = 250 + 39 + 84 + 155,6 = 528,6 \text{ руб./ч.}$$

В перерасчете на единицу обрабатываемой зерносмеси эксплуатационные затраты можно определить по формуле:

$$I_y = \frac{I}{W}. \quad (5.9)$$

Тогда:

$$I_{y(\bar{o})} = I_{y(\Pi)} = \frac{528,6}{10} = 52,9 \text{ руб./т.}$$

Для оценки экономической эффективности рассматриваемых вариантов получения семян ячменя определим затраты на производство семян ячменя по обоим вариантам, сравним полученные результаты для базового и предлагаемого вариантов, а также с вариантом приобретения необходимого количества семян по рыночной цене.

Для определения категории получаемых семян по показателю количества семян сорных растений примем в качестве сорной примеси семена гречишки выюнкковой, которые при влажности 12,6% имеют массу 1000 семян, равную 7,0 г [15].

В базовом варианте согласно агротребованиям [82] при содержании перед триерной очисткой 600 шт. других семян гречишки выюнкковой на 1 кг и полноте выделения примесей не менее 0,8, после очистки останется $n_{cn(\bar{o})} = 600 (1-0,8) = 120$ шт. семян гречишки выюнкковой, что не укладывается ни в одну из категорий семян ячменя согласно ГОСТ Р 52325-2005 [35]. Таким образом нужен второй пропуск через триерный блок, после чего $n_{cn(\bar{o})} = 120 (1-0,8) = 24$ шт./кг, что соответствует категории семян РСт (репродуктивные семена, предназначенные для производства товарной продукции, при этом удваиваются эксплуатационные затраты. Их рыночная цена в весенний период 2021 г. составляла 15-16 руб./кг [87]. Для расчетов примем среднее значение $C_{я(рст)} = 15,5$ руб./кг. Тогда затраты на производство семян можно определить по формуле:

$$C_c = \frac{M_{ял} C_{ян}}{M_c} + I_y - \frac{M_{ял} \cdot \Pi_{\phi} \cdot C_{яф}}{M_c}, \quad (5.10)$$

где $C_{ян}$ – цена продовольственного ячменя, руб./кг;

$C_{яф}$ – цена фуражного ячменя, руб./кг.

Согласно [87] $C_{яп} = 13$ руб./кг, $C_{яф} = 11$ руб./кг. Тогда для базового варианта:

$$C_{c(б)} = \frac{M_{ял(б)} \cdot C_{яп}}{M_c} + I_y - \frac{M_{ял(б)} \cdot P_{ф(б)} \cdot C_{яф}}{M_c} = \frac{391,7 \cdot 13}{372} + 2 \cdot 52,9 \cdot 10^{-3} - \frac{391,7 \cdot 0,031 \cdot 11}{372} = 13,44 \text{ руб./кг.}$$

Экономический эффект получения семян категории РСт по базовому варианту в сравнении с покупными семенами составляет:

$$\mathcal{E}_{(б)} = C_{я(рст)} - C_{c(б)} = 15,5 - 13,44 = 2,06 \text{ руб./кг.}$$

Годовой экономический эффект в базовом варианте составит:

$$\mathcal{E}_{2(б)} = \mathcal{E}_{(б)} \cdot M_c = 2,06 \cdot 372 \cdot 10^3 = 766320 \text{ руб.}$$

В предлагаемом варианте за счет оптимальных режимных и настроечных параметров работы триерного блока степень выделения коротких примесных компонентов достигает 99-100% (установлено нашими исследованиями). Для расчетов примем степень выделения на уровне 99%. Тогда при содержании перед триерной очисткой семян гречишки вьюнковой в количестве 600 шт./кг (аналогично базовому варианту) после триерной обработки останется $n_{сн(п)} = 600 (1 - 0,99) = 6$ шт./кг. после однократного пропуска через триер семенной материал будет соответствовать категории семян РС (репродуктивные семена) [35]. Согласно [87] рыночная цена семян ячменя соответствующей категории весной 2021 г. составляла 18-21 руб./кг. Для расчетов примем среднее значение $C_{я(рс)} = 19,5$ руб./кг. Затраты на производство семян по предлагаемому варианту определим в соответствии с формулой (5.10):

$$C_{c(п)} = \frac{M_{ял(п)} \cdot C_{яп}}{M_c} + I_y - \frac{M_{ял(п)} \cdot P_{ф(п)} \cdot C_{яф}}{M_c} = \frac{383,5 \cdot 13}{372} + 52,9 \cdot 10^{-3} - \frac{383,5 \cdot 0,003 \cdot 11}{372} = 13,42 \text{ руб./кг.}$$

Экономический эффект получения семян ячменя категории РС по предлагаемому варианту в сравнении с покупными семенами составляет:

$$\mathcal{E}_{(п)} = C_{я(рст)} - C_{c(п)} = 19,5 - 13,42 = 6,08 \text{ руб./кг.}$$

Годовой экономический эффект в предлагаемом варианте в сравнении с покупными семенами составит:

$$\mathcal{E}_{2(п)} = \mathcal{E}_{(п)} \cdot M_c = 6,08 \cdot 372 \cdot 10^3 = 2261760 \text{ руб.}$$

Экономический эффект предлагаемого варианта в сравнении с базовым при производстве 1 кг семян составит:

$$\mathcal{E}'_{(n)} = \mathcal{E}_{(n)} - \mathcal{E}_{(б)} = 6,08 - 2,06 = 4,02 \text{ руб./кг.}$$

При этом годовой экономический эффект предлагаемого варианта в сравнении с базовым вариантом производства семян составит:

$$\mathcal{E}'_{z(n)} = \mathcal{E}_{z(n)} - \mathcal{E}_{z(б)} = 2261760 - 766320 = 1495440 \text{ руб.}$$

Показатели сравнительной экономической оценки результатов выполненных исследований представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Показатели экономической оценки

Наименование показателя	Условные обозначения	Единица измерения	Значение показателя	
			Базовый вариант	Предлагаемый вариант
Эксплуатационные затраты (часовые) в т.ч.:	<i>И</i>	руб./ч	528,6	528,6
– затраты на оплату труда	<i>З</i>	руб./ч	250	250
– затраты на электроэнергию	<i>Г</i>	руб./ч	39	39
– затраты на ремонт и ТО	<i>Р</i>	руб./ч	84	84
– затраты на амортизацию триерного блока	<i>А</i>	руб./ч	155,6	155,6
Категория получаемых семян	–	–	РСт	РС
Рыночная цена семян соответствующей категории	$\begin{matrix} C_{я(рст)}, \\ C_{я(рс)} \end{matrix}$	руб./кг	15,5	19,5
Рыночная цена продовольственного ячменя	$C_{я(п)}$	руб./кг	13	13
Рыночная цена фуражного ячменя	$C_{яф}$	руб./кг	11	11
Затраты на производство собственных семян ячменя	C_c	руб./кг	13,44	13,42
Экономический эффект от производства собственных семян в сравнении с покупными:				
– в расчете на 1 кг семян	$\mathcal{E}_{(б)}, \mathcal{E}_{(п)}$	руб./кг	2,06	6,08
– годовой (при площади посева 1730 га)	$\mathcal{E}_{z(б)}, \mathcal{E}_{z(п)}$	тыс. руб.	766	2262
Экономический эффект предлагаемого варианта производства семян в сравнении с базовым:				
– в расчете на 1 кг семян	$\mathcal{E}'_{(п)}$	руб./кг	–	4,02
– годовой (при площади посева 1730 га)	$\mathcal{E}'_{z(п)}$	тыс. руб.	–	1495

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Требования к качеству посевного материала по показателям сортовой чистоты ($> 99,7\%$), чистоте семян ($> 99,0\%$), содержанию семян других растений (< 8 шт/кг, а сорных < 3 шт/кг) очень высокие. Обеспечить такой уровень требований к посевному материалу без традиционных триерных технологий невозможно, так как они обладают максимальной интенсивностью сепарирующих воздействий на частицы зерносмеси (в кукольном цилиндре – до 80 тыс. возд./с) и высокой их избирательностью.

2. Оценка полигонов распределения толщины, ширины и длины зерновок ячменя, сорго и вики подтверждает необходимость разделения компонентов зерносмесей по длине их частиц, обеспечивающего снижение технологических потерь на 6,14%, и позволяет определить диапазон выбора диаметров ячеей триерного цилиндра из условий полного выделения примесей и исключения технологических потерь. В этом диапазоне 6,2...7,5 мм имеются типовые диаметры ячеей – 6,3 и 7,1 мм. Однако, технологические потери от случайного захвата ячееями кукольного цилиндра зерновок ячменя предотвратить нельзя. Их оценка возможна только экспериментальным путем.

3. Зерновая примесь из колотых зерновок ячменя не подвергается динамической сегрегации в циркулирующих слоях сегмента из-за близости физико-механических свойств с основной культурой. Интенсивность их выделения существенно зависит от исходной концентрации в зерносмеси. Разница в интенсивности выделения в зависимости от скоростного режима работы проявляется только на начальных интервалах времени, а затем выравнивается. Это объясняется неустойчивым размещением колотых зерновок ячменя в ячееях. Степень выделения примеси не превышает 50% на стандартной длине ячеистой поверхности ($l = 2,2$ м). При $l = 4$ м и скоростном режиме работы $n = 55$ об/мин $C_b = 89...90\%$. Технологические потери возрастают с увеличением скоростного режима работы (n) и снижаются с увеличением угла подъема кромки выводного лотка: с ростом n от 40 до 55 об/мин при $\gamma_n = 35^\circ$ потери увеличились в 5 раз; с увеличением γ_n до 55° при

$n = 55$ об/мин технологические потери снизились в 7 раз.

4. Интенсивность выделения семян гречишки вьюнковой из ячменя носит лавинообразный характер в первых циклах процесса. При $n = 50$ об/мин обеспечивается 100%-ное выделение примеси на длине ячеистой поверхности в 1,6 м (73% длины стандартного цилиндра). С ростом n до 55 об/мин продолжительность выделения сокращается на 27,3 %. Технологические потери с ростом скоростного режима в исследуемом диапазоне возрастают в 4,6 раза при $\gamma_n = 35^\circ$, но с увеличением γ_n до 55° существенно снижаются.

5. Динамика выделения семян вики из ячменя идентична с выделением других примесных компонентов в начальный период протекания процесса. С ростом n от 40 до 55 об/мин масса выделенных частиц в 1-ом интервале времени замеров возрастает в 6,3 раза. В последующих интервалах интенсивность выделения выравнивается. При этом степень выделения возрастает с 72 до 99,4%.

6. Продолжительность выделения сорго увеличивается с ростом навески зерносмеси в ячеистом цилиндре в 1,33...1,43 раза при всех уровнях исходной концентрации примеси в зерносмеси. При $n = 45$ об/мин и $\gamma_n = 35^\circ$ полное выделение примеси (1%) достигается через 35 с (63,6% l). Увеличение m_n и исходной засоренности до $Z_{и} = 2\%$ обеспечивает ту же продолжительность процесса при $n = 50$ об/мин, а при $Z_{и} = 3\%$ полное выделение примеси достигается за 50 с (91% l) только при $n = 55$ об/мин.

7. Экономический эффект при подготовке семенного ячменя в условиях сельхозпредприятия с предлагаемыми рациональными параметрами процесса триерной очистки составляет 4,02 руб./кг (1,495 млн. руб./год), а в сравнении с покупными семенами – 6,08 руб./кг (2,262 млн. руб./год).

Рекомендации производству.

Для повышения эффективности использования зерноочистительных технологий, включающих триерную очистку, необходимо использовать рациональные режимные и настроечные параметры триера, обеспечивающие снижение остаточной засоренности семян и снижение потерь полноценного зерна в отходы. Кроме того, результаты исследований могут быть использованы при разработке новых

конструкций триерных блоков и в учебном процессе ВУЗов.

Перспективы дальнейшей разработки темы.

Исследование закономерностей процессов триерной очистки ячменя от длинных примесей с помощью овсюжного триера, обоснование рациональных режимов работы и параметров овсюжного триера при очистке ячменя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 А.с. 560652 СССР. Рабочий орган триера / Н.А. Урханов, Д.Д. Цыренжапов. – Оpubл. 1977, Бюл. № 21.
- 2 А.с. 1226000 СССР, G01B 3/56. Устройство для определения углов естественного откоса сыпучих материалов / Першин В.Ф., Мандрыка Е.А., Цетович А.Н. – № 3776750/25-28; заявл. 30.07.84; опубл. 23.04.86, Бюл. № 15.
- 3 А.с. 1295201 СССР, G01B 5/24. Устройство для измерения углов обрушения и естественного откоса / Першин В.Ф., Мандрыка Е.А., Цетович А.Н., Молочнов В.С. – № 3950780/25-28; заявл. 10.09.85; опубл. 07.03.87, Бюл. №9.
- 4 А.с. 1340824 СССР, МПК В07В 13/02, А01F 12/44. Цилиндрический триер / И.А. Сидоров (СССР). – № 3945170130-15; заявл. 07.08.1985; опубл. 30.09.1987. Бюл. № 36.
- 5 А.с. 1401250 СССР, G01B 5/24. Способ определения угла естественного откоса сыпучих материалов и устройство для его осуществления / Дейнеко П.Ф., Зинзивер М.Г. – № 4102095/25-28; заявл. 11.08.86; опубл. 07.06.88, Бюл. № 21.
- 6 А.с. 1758408 СССР, G01B 5/24. Устройство для измерения углов обрушения и откоса сыпучего материала / Цетович А.Н., Ишков А.Д. – №4866624/28; заявл. 25.07.90; опубл. 30.07.92, Бюл. № 32.
- 7 А.с. 560652 СССР, МКИ В07В 13/02. Рабочий орган триера / Н.А. Урханов, Д.Д. Цыренжапов (СССР). – № 2197315/13; заявл. 08.12.1975; опубл. 05.06.1977. Бюл. № 21.
- 8 А.с. 615353 СССР, G01B 5/24. Прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала / Макшанцев Ю.А., Амелянц А.Г. – №2348784/25-28; заявл. 06.04.76; опубл. 15.07.78, Бюл. № 26.
- 9 А.с. 697792 СССР, G01B 5/00. Устройство для определения углов обрушения и естественного откоса сыпучих материалов / Пульчев И.К. – №2594895/25-28; заявл. 27.03.78; опубл. 15.11.79, Бюл. № 42.
- 10 А.с. 882667 СССР, МКИ В07В 13/02. Цилиндрический триер Е.Л. Сосновского / Сосновский Е.Л. – № 2848526/29-03; заявл. 07.12.1979; опубл. 23.11.1981, Бюл. № 43.
- 11 А.с. 980865 СССР, МКИ В07В 13/02. Рабочий орган триера / Урханов Н.А., Цыренжапов Д.Д., Митыпов Э.А., Урханов В.Н., Святошнюк В.И. (СССР). – № 3237687/29-03; заявл. 27.11.1980; опубл. 15.12.1982, Бюл. № 46.
- 12 Абидуев, А.А. Очистка семян пшеницы от трудноотделимых примесей в условиях Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.А. Абидуев. – Новосибирск, 1987. – 18 с.
- 13 Абидуев, А.А. Исследование процесса выпадения зерна из ячеек триерных цилиндров / А.А. Абидуев // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГУТУ). – 1989. – С. 107-108.
- 14 Анашкин, А.В. Взаимосвязь параметров зернового слоя в овсюжном ци-

- линдре с подачей зерносмеси / А.В. Анашкин / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии, и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XVIII Международной научно-практической конференции, 23-24 сентября 2015г.– Тамбов: Из-во Першина Р.В., 2015. – С. 96-99.
- 15 Анашкин, А.В. Повышение эффективности использования триерных блоков в многоканальных зерноочистительных технологиях: дис. ... доктора технических наук: 05.20.01 / А.В. Анашкин – Тамбов. – 2020. – 394 с.
 - 16 Анискин, В.И. Развитие зерноочистительной техники / В.И. Анискин, А.Н. Зюлин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 1. – С. 6-8.
 - 17 Блох, З.Ш. Теория триера / З.Ш. Блох //Сельскохозяйственные машины. – 1935. – № 2. – С. 17-20.
 - 18 Василенко, П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям с-х. машин / П.М. Василенко. – Киев. – Изд-во УАСХ, 1960.
 - 19 Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос. – 1973. – 199 с.
 - 20 Викторова, Н.Н. Экспериментальные исследования продолжительности одного цикла движения зерна в цилиндре триера / Н.Н. Викторова /Труды ЧИМ ЭСХ. – Челябинск, 1958, вып. 5.
 - 21 Викторова, Н.Н. Влияние параметров цилиндрического триера на эффективность его работы / Н.Н. Викторова, Н.М. Ивлиева, В.А. Кубышев // Проблемы сепарирования зерна и сыпучих материалов: Тр. /ВНИИЗ. – М., 1963. Вып. 42. – С. 245-255.
 - 22 Викторова, Н.Н. Влияние скорости вращения на эффективность работы триерных цилиндров / Н.Н. Викторова / Труды ЧИМ ЭСХ. – Челябинск, 1958, вып. 6.
 - 23 Викторова, Н.Н. Исследование процесса работы цилиндрического триера при максимальной производительности и изыскание его оптимальных параметров. Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.Н. Викторова. – Челябинск, 1964. – 24 с.
 - 24 Воронов, И. Г. Очистка и сортирование семян / И.Г. Воронов, И.Е. Кожуховский, П.П. Колышев, Г.Т. Павловский. – М.: Сельхозгиз, 1953. – 432 с.: ил. 21.
 - 25 Гладков, Н.Г. Зерноочистительные машины. (Конструкция, расчет, проектирование и эксплуатация) / Н.Г. Гладков. – М.: Машгиз., 1961. – 368 с.
 - 26 Годин А. М. Статистика: Учебник / А. М. Годин. - 9-е изд., перераб. и испр. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2011 – 460 с.
 - 27 Горячкин, В.П. Собрание сочинений: В 3-х томах / В.П. Горячкин. – М.: Колос. – 1965. – Т. 1. – С. 244-253; – Т. 2. – С. 179-185.
 - 28 ГОСТ 10840-64. Зерно. Методы определения натуре. Введ. 1965-07-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов. – 2001. – 3 с.
 - 29 ГОСТ 13586.5-2015. Зерно. Метод определения влажности. Введ. 2016-07-

01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 16 с.
- 30 ГОСТ 28254-2014. Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения объемной массы и угла естественного откоса. Введ. 2016-01-01. – М.: Стандартиформ. – 2015. – 8 с.
- 31 ГОСТ 28672-2019. Ячмень. Технические условия. – Введ. 2020-10-01. – М.: Стандартиформ, 2019. – 11 с.
- 32 ГОСТ 30483-97. Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей; содержания мелких зерен и крупности; содержания зерен пшеницы, поврежденных клопом-черепашкой; содержания металломагнитной примеси. Введ. 1998-07-01. – М.: Изд-во стандартов. – 1998. – 21 с.
- 33 ГОСТ 34393-2018. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Введ. 2018-03-30. – М.: Стандартиформ, 2018. – 12 с.
- 34 ГОСТ 5060-86. Ячмень пивоваренный. Технические условия. – Введ. 1986-12-18. – ИЗДАНИЕ (март 2010 г.) с Изменением. М.: Стандартиформ, 2010. – 6 с.
- 35 ГОСТ 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. Введ. 2005-03-23. – М.: Стандартиформ, 2009. – 20 с.
- 36 ГОСТ 9353-2016. Пшеница. Технические условия. – Введ. 2018-07-01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 12 с.
- 37 ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Введ. 2008-12-17. – М.: Стандартиформ, 2009. – 20 с.
- 38 Евдокимов, В.Ф. Исследование технологического процесса работы цилиндрического триера с осевыми колебаниями: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.Ф. Евдокимов. – Ростов - на - Дону, 1963. – С. 24.
- 39 Завалишин, Ф.С. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, М.Г. Мацнев. – М.: Колос. – 1982. – 231 с.
- 40 Закупочные цены на зернобобовые и технические культуры в Тамбовской области по состоянию на 13.10.2020 года. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://tambovapk.tmweb.ru/wp-content/uploads/2020/10/B0-13.10.2020.doc>
- 41 Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков. – М.: Машиностроение. – 1964. – 250 с.
- 42 Ивлиева, Н.М. Исследование влияния нагрузки цилиндра и угла его наклона к горизонту на производительность и качество работы цилиндрического триера: дис. ... канд. техн. наук:05.20.01 / Н.М. Ивлиева. – Челябинск, 1952.
- 43 Ивлиева, Н.М. Кинематика движения материальной точки во вращающемся цилиндре с горизонтальной осью. О сущности работы триера (при очистке семян от длинных примесей) / Н.М. Ивлиева. / Тр. ЧИМЭСК. – Челябинск, 1958, вып. 6.
- 44 Ивченко, Г.И. Математическая статистика / Г.И. Ивченко, Ю.И. Медведев.

- М.: – 2016. – 329 с.
- 45 Карпенко, А.Н. Сельскохозяйственные машины / А.Н. Карпенко, В.М. Халанский. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос. – 1983. – 495 с.
- 46 Кендалл, М. Статистические выводы и связи. / М. Кендалл, А. Стьюарт. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973. – 899с.
- 47 Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: Элементы теории рабочих процессов, расчёт регулировочных параметров и режимов работы / Н.И. Кленин, В.А. Сакур. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1980.
- 48 Кожуховский, И.Е. Зерноочистительные машины (Конструкции, расчет и проектирование) / И.Е. Кожуховский. – М.: Машиностроение, 1974. – 199с.
- 49 Козлов, Д.А. Интенсификация технологического процесса очистки зерна в цилиндрическом овсюжном триере: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Д.А. Козлов. – Улан-Удэ, 2001. – 211 с.
- 50 Корнев, В.П. Статистика: теория статистики: учеб. пособие / В.П. Корнев / Саратовский государственный социально-экономический университет. – Саратов, 2012. – 88 с.
- 51 Критические области для хи-квадрат распределения. [Эл. ресурс]: <http://statsoft.ru/home/textbook/modules/sttable.html> (Дата обращения 14.05.2020).
- 52 Кубышев, В.А. Технологические основы интенсификации процесса сепарации зерна: автореф. дис. ... доктора техн. наук: 05.20.01 / В.А. Кубышев. – Л., 1968. – 51 с.
- 53 Кузьмин, М.В. Триер с эластичной поверхностью / М.В. Кузьмин, М.В. Туаев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1972. – №8. – С. 8-10.
- 54 Летошнев, М.Н. Сельскохозяйственные машины, теория, расчет, проектирование и испытание / М.Н. Летошнев. – М.: Л.: Сельхозгиз, 1955. – 856 с.
- 55 Летошнев, М.Н. О движении зерна внутри горизонтального вращающегося цилиндра / М.Н. Летошнев // Сборник научно-технических работ Ленинградского института механизации сельского хозяйства. – Сельхозгиз, 1950. – Вып. 7.
- 56 Летошнев, М.Н. О применимости вращающейся цилиндрической поверхности к очистке и сортированию семян / М.Н. Летошнев // Сборник научных работ ЛИМСХ. – 1951. – Т.8. – С. 7-53.
- 57 Летошнев, М.Н. О применимости вращающейся цилиндрической поверхности к очистке и сортированию семян [окончание] / М.Н. Летошнев // Сборник научных работ ЛИМСХ. – 1953. – Т. 9. – С. 5-31.
- 58 Летошнев, М.Н. Теория триера / М.Н. Летошнев // Сборник научно-технических работ Ленинградского института механизации сельского хозяйства. – Л. – 1948. – Вып. IV. – С. 3-58.
- 59 Листопад, Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г.Е. Листопад. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 687с.

- 60 Логинова, С.Л. Общая теория статистики: конспект лекций / С.Л. Логинова. Екатеринбург: Из-во Рос. Гос. Проф.-пед. ун-та, 2011. – 90 с.
- 61 Лурье, А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин / А.Б. Лурье, А.А. Громбчевский. Л., «Машиностроение». – 1977. – 528 с.
- 62 Лурье, А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин / А.Б. Лурье. – Л.: Машиностроение, 1997. – 526 с.
- 63 Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. – Л.: Колос. – 1980. – 168 с.
- 64 Мироненко, Д.Н. Исследование работы фрикционного триерного цилиндра / Д.Н. Мироненко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2009. - № 2. – С. 45-49.
- 65 Неронов, Н.П. О теории барабанного сепаратора и некоторых аналогиях / Н.П. Неронов // Записки Ленинград. горного ин-та. – Т. XI, вып. 3. – Л., 1939.
- 66 Осецкий, В.М. Движение материала во вращающейся трубе с горизонтальной и наклонной осью / В.М. Осецкий // Сб. науч. тр. Москов. горного ин-та, вып. 3. – М., 1937.
- 67 Павловский, Г.Т. Основные вопросы технологии очистки семян зерновых культур: автореф. дис. ... доктора с.-х. наук / Г.Т. Павловский. – М., - 1969. – 64 с.
- 68 Патент РФ № 2247360, МПК G01N 19/02. Прибор для определения коэффициента силы трения покоя / Амелянц А.Г., Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2003109087/28; заявл. 31.03.2003; опубл. 27.02.2005, Бюл. № 6.
- 69 Патент РФ № 2488094, МПК G01N 19/02. Прибор для определения коэффициента силы трения покоя / Тишанинов Н.П., Амелянц А.Г., Анашкин А.В., Растюшевский К.А. – № 2012107007/28; заявл. 27.02.2012; опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20.
- 70 Патент РФ № 2511615, МПК G01N 19/02. Прибор для определения коэффициента силы трения покоя / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Амелянц А.Г. – № 2012145369/28; заявл. 24.10.2012; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 10.
- 71 Патент РФ № 2616201 Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2016108182; заявл. 09.03.2016, опубл. 13.04.2017, Бюл. № 11.
- 72 Патент РФ № 2647526 Прибор для выделения примесей из зерносмесей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2017114302; заявл. 24.04.2017, опубл. 16.03.2018, Бюл. № 8.
- 73 Патент РФ № 2647526 Прибор для выделения примесей из зерносмесей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2017114302; заявл. 24.04.2017, опубл. 16.03.2018, Бюл. № 8.
- 74 Патент РФ №2492940. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Амелянц А.Г., Тишанинов М.А., Растюшевский К.А. – № 2012112301/03; заявл. 29.03.2012; опубл. 20.09.2013, Бюл. №26.

- 75 Патент РФ №2492941. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Амелянц А.Г., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Растюшевский К.А. – № 2012113207/03; заявл. 04.04.2012; опубл. 20.09.2013, Бюл. №26.
- 76 Полетаев, С.В. Применение, устройство и расчет триеров / С.В. Полетаев // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин / Труды ВНИИ с/х машиностроения. – М.: Л.: Сельхозиздат, 1936. – Т. 3. – С. 587-627.
- 77 Полетаев, С.В. Триеры / С.В. Полетаев. – М.: Л.: Госкомиздат, 1932. – 95 с.
- 78 Попко, И.Н. Некоторые вопросы теории движения материала во вращающихся цилиндрах сельскохозяйственных машин: дис канд. техн. наук: 05.20.10 / И.Н. Попко. – Челябинск, 1956.
- 79 Построение нормальной кривой распределения по опытным данным. [Эл. ресурс]: <http://po-teme.com.ua/vyshshaya-matematika/prikladnaya-matematika/2038-postroenie-normalnoj-krivoj-raspredeleniya-po-opytnym-dannym.html>. (Дата обращения 14.05.2020)
- 80 Производство зерна в России 2020: структура посевных площадей и урожайность — AgroXXI [Электронный ресурс] - <https://www.agroxxi.ru/analiz-rynka-selskohozjaistvennyh-tovarov/proizvodstvo-zerna-v-rossii-2020-struktura-posevnyh-ploschadei-i-urozhainost.html#:~:text>
- 81 Производство продукции растениеводства в Ираке [Электронный ресурс] - <https://knoema.ru/atlas/Ирак/topics/Сельское-хозяйство/Продукция-растениеводства>
- 82 Промышленное семеноводство: Справочник / Анискин В.И., Батарчук А.И., Весна Б.А и др.; под ред. И.Г. Строны. – М.: Колос. – 1980. – 287 с.
- 83 Рассадин, А.А. Движение материальной точки и тела по вращающимся фрикционным и ячеистым поверхностям / А.А. Рассадин // Проблемы сепарирования зерна и других сыпучих материалов / Тр. ВНИИЗ. – М., 1963, вып. 42. – С. 91-109.
- 84 Рассадин, А.А. Математическое моделирование движения материальной точки по ротационным поверхностям движения / А.А. Рассадин // Современные проблемы механизации сельского хозяйства. – Т. 1. – М., 1966. – С. 35-45.
- 85 Резниченко, М.Я. Вопросы теории цилиндрических барабанов зерноочистительных машин / М.Я. Резниченко / Тр. ВИСХОМ. – М., 1958, вып. 18. – 56 с.
- 86 Романовский, В.И. Избранные труды, том 2. Теория вероятностей, статистика и анализ / В.И. Романовский. – М.: 2017. – 145 с.
- 87 Семена ячменя ярового Владимир. «АгроВектор». [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://agrovektor.ru/physical_product/3067606-semena-yachmenya-yarovogo-vladimir.html
- 88 Сепаратор триерный СТ-12 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://voronezhselmash.ru/produkcija/ochistka-zerna/ct-12/>
- 89 Сидоров, И.А. Разработка и обоснование параметров цилиндрического

- триера с принудительным удалением фракций из ячеек: дис... канд. техн. наук: 05.20.01 / И.А. Сидоров.– Белгород, 1997. – 142 с.
- 90 Статистика: теория и практика в Excel: учебное / В.С. Лялин, И.Г. Зверева, Н.Г. Никифорова. – М.: Финансы и статистика: Инфра. – М., 2016. – 446 с.
- 91 Таблица значений функции Лапласа. [Эл. ресурс]: <https://math.semestr.ru/corel/table-laplas.php> (Дата обращения 16.05.2020)
- 92 Таблица критических точек распределения χ^2 (хи-квадрат) критерия Пирсона. [Эл. ресурс]: <https://100task.ru/sample/121.aspx> (Дата обращения 14.05.2020)
- 93 Теория статистики: учеб. пособие для бакалавров / под ред. В.В. Ковалева. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 454 с.
- 94 Терсков, Т.Д. Движение зерен по вращающемуся цилиндру / Т.Д. Терсков // Сельскохозяйственные машины. – 1938. – № 8-9.
- 95 Тиц, З.Л. Машины для послеуборочной поточной обработки семян / З.Л. Тиц, В.И. Анискин, Г.А. Баснакьян и др. Теория и расчет машин, технология и автоматизация процессов. – М.: Машиностроение. – 1967. – 448 с.
- 96 Тиц, З.Л. Пути развития конструкции триеров / З.Л. Тиц // Механизация социалистического сельского хозяйства. – 1934. – № 11.
- 97 Тишанинов, Н.П. Анализ способов управления качеством триерной очистки зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2017. – № 4 (28). – С. 88-94.
- 98 Тишанинов, Н.П. Вариантный метод оценки эффективности использования технологий подработки зерна / Н.П. Тишанинов, В.А. Ветров, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. – № 1. – С. 24-30.
- 99 Тишанинов, Н.П. Взаимосвязь качества триерной очистки с концентрацией длинной примеси / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2020. – № 3 (45). – С. 60-67.
- 100 Тишанинов, Н.П. Влияние высоты зернового слоя в овсюжном триере на остаточное содержание длинных примесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2019. – № 4 (40). – С. 19-26.
- 101 Тишанинов, Н.П. Динамические параметры сегмента зерносмеси в триерных цилиндрах / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 2 (32). – С. 20-28.
- 102 Тишанинов, Н.П. Закономерности выделения семян льна и гречишки вьюнковой из зерносмеси / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2017. – № 5 (29). – С. 5-12.
- 103 Тишанинов, Н.П. Интенсивность выделения зерновок основной культуры из зерносмесей с длинными примесями / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Вестник АПК Верхневолжья. – 2019. – №3 (47). – С. 74-77.
- 104 Тишанинов, Н.П. Исследование динамической сегрегации примеси при выделении проса из пшеницы / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2017. – № 2 (26). – С. 69-77.
- 105 Тишанинов, Н.П. Исследование параметров зернового сегмента в овсюжном триерном цилиндре / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в цен-

- тральной России. – 2019. – № 2 (38). – С. 23-29.
- 106 Тишанинов, Н.П. Качество выделения семян горчицы и сорго из пшеницы ячеистыми поверхностями / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2017. – № 3 (27). – С. 42-48.
- 107 Тишанинов, Н.П. Модернизированный прибор для выделения примесей из зерносмесей - "ТИАН - 1" / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Сельский механизатор. – 2019. – № 1. – С. 4-5.
- 108 Тишанинов, Н.П. Обоснование метода идентификации производительности триеров по результатам стендовых исследований / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 1 (31). – С. 20-27.
- 109 Тишанинов, Н.П. Обоснование оптимальных параметров и режимов работы прибора для разделения зерносмесей по длине частиц / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинайин // Наука в центральной России. – 2017. – № 1 (25). – С. 10-19.
- 110 Тишанинов, Н.П. Обоснование параметров стенда для исследования ячеистых поверхностей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.А. Растюшевский // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 2. – С. 18-21.
- 111 Тишанинов, Н.П. Обоснование параметров стенда циклического действия для исследований ячеистых поверхностей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинайин // Наука в центральной России. – 2016. – № 4 (22). – С. 90-98.
- 112 Тишанинов, Н.П. Обоснование режимов работы и параметров прибора для рассева проб зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинайин // Наука в центральной России. – 2016. – № 3 (21). – С. 74-80.
- 113 Тишанинов, Н.П. Оценка взаимосвязи степени заполнения ячеек триерного цилиндра с режимами работы и настроечными параметрами / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 4 (34). – С. 24-33.
- 114 Тишанинов, Н.П. Повышение технологических возможностей кукольного цилиндра триерного блока / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2015. – № 1 (13). – С. 58-65.
- 115 Тишанинов, Н.П. Прибор для определения угла естественного откоса сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов, Х.Д.Д. Альшинайин // Сельский механизатор. – 2020. – № 9. – С. 26-27.
- 116 Тишанинов, Н.П. Распределение зернового слоя в триерном цилиндре / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2015. – № 3(15). – С. 44-51 (75-82).
- 117 Тишанинов, Н.П. Результаты исследований процесса триерной сепарации зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. – № 6. – С. 37-45.
- 118 Тишанинов, Н.П. Результаты поисковых исследований прибора для разделения зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2016. – № 5 (23). – С. 37-44.
- 119 Тишанинов, Н.П. Стенд для выделения длинных примесей из зерносмесей /

- Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 4 (34). – С. 12-24.
- 120 Тишанинов, Н.П. Теоретические предпосылки поиска резервов управления процессами триерной очистки зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2014. – № 6 (12). – С. 28-38.
- 121 Тишанинов, Н.П. Теоретический анализ динамики выделения коротких примесей из зерносмесей ячеистой поверхностью / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2015. – № 1 (13). – С. 46-58.
- 122 Тишанинов, Н.П. Технологические потери в кукольном цилиндре триера / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в Центральной России. – 2019. – № 5(41). – С. 10-16.
- 123 Тишанинов, Н.П. Управление расходными характеристиками триера положением выводного лотка / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 2 (32). – С. 28-34.
- 124 Третьяков, В.П. Исследование рабочих параметров цилиндрических триеров. Автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.П. Третьяков – Воронеж, 1965. – 43 с.
- 125 Трубилин, Е.И. Механизация послеуборочной обработки зерна и семян / Е.И. Трубилин, Н.Ф. Федоренко, А.И. Тлишев / Учебное пособие для студентов сельскохозяйственных вузов. – Краснодар, 2009. – 96 с.
- 126 Туаев, М.В. Теория и синтез триерных машин с гибкими рабочими органами: дис. ... доктора техн. наук: 05.20.01 / Туаев М.В. – М., 1995. – 430 с.
- 127 Урханов, Н.А. Возможности улучшения процесса разделения семян в цилиндрических триерах / Н.А. Урханов. // Механизация с.-х. производства / Матер. II конф. молодых ученых Московской обл.: ч. 1. – М., 1969. – С. 56-61.
- 128 Урханов, Н.А. Исследование процессов западания и выпадения зерен на цилиндрических триерах / Н.А. Урханов / Тр. ВИМ. – М., 1967. – Т. 43. – С.175-184.
- 129 Урханов, Н.А. Исследование работы ячеистых поверхностей триера / Н.А. Урханов // Проблемы сепарирования зерна и пр. сыпучих материалов / Матер. II Всесоюз. науч.-тех. конф. – 1972. / Тр. ВНИИЗ. – 1974. – № 78. – С. 194-197.
- 130 Урханов, Н.А. Исследование технологического процесса работы цилиндрического триера с целью повышения производительности и качества разделения смеси: дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.А. Урханов. – М., 1968. – 130 с.
- 131 Урханов, Н.А. Об ориентации зерен на движущихся поверхностях рабочих органов сельскохозяйственных машин / Н.А. Урханов / Тр. ВИМ. – М., 1967. – Т. 43. – С. 169-175.
- 132 Урханов, Н.А. Об условиях движения зерна в ячейках пластины, находящейся в сложном движении / Н.А. Урханов / ВСТИ. – Улан-Удэ, 1978. – С. 202-209.
- 133 Урханов, Н.А. Определение момента начала движения зерна из ячейки ци-

- линдрического триера / Н.А. Урханов, В.Д. Анахин, А.М. Воробьев. – Улан-Удэ, 1978. – С. 78-81.
- 134 Урханов, Н.А. Повышение производительности цилиндрического триера / Н.А. Урханов. Мукомольно-элеваторная промышленность. – 1969.– № 10. – С. 20-22.
- 135 Урханов, Н.А. Об условиях движения зерна по наклонному дну продолговатой ячейки с открытой передней стенкой / Н.А. Урханов, Г.Р. Озонов, В.П. Аюшинов / ВСТИ. – Улан-Удэ, 1978. – С. 224-227.
- 136 Урханов, Н.А. Интенсификация технологического процесса очистки зерна от примесей по их длине: дис. ... доктора техн. наук: 05.20.01 / Н.А. Урханов – Улан-Удэ, 1998. – 472 с.
- 137 Урханов, Н.А. Исследование процессов западания и выпадения зерен на цилиндрических триерах / Н.А. Урханов // Сборник научных трудов ВИМ. – М., 1967. – Т. 43. – С. 175-184.
- 138 Урханов, Н.А. Некоторые условия, обеспечивающие технологический процесс в пластинчатом триере / Н.А. Урханов, Г.Р. Озонов, А.Н. Абидуев / Науч.-техн. бюл. ВАСХНИХ, Сиб. отд-ние, Новосибирск, 1977, вып. 1. – С. 18-23.
- 139 Урханов, Н.А. О коэффициенте использования ячеистой поверхности триера / Н.А. Урханов / Материалы научной конференции ВСТИ, Улан-Удэ, 1969. – С. 82-85.
- 140 Урханов, Н.А. О новой форме ячеек цилиндрического триера / Н.А. Урханов // Тракторы и сельхозмашины. – 1972. – № 4. – С. 27-28.
- 141 Урханов, Н.А. Повышение производительности рабочего органа дискового триера / Н.А. Урханов / Сб. научн. тр. Челяб. ин-т. механиз. и электрифик. с.х-ва / Совершенствование технологии и технических средств для уборки и послеуборочной обработки зерновых культур. Челябинск, 1983. – С. 91-93.
- 142 Урханов, Н.А. Повышение производительности цилиндрического триера / Н.А. Урханов. – М.: ЦНИИТЭй Минзага СССР, 1970. – 20 с.
- 143 Урханов, Н.А. Рациональная форма ячейки триера / Н.А. Урханов // Механизация и электрификация соц. сельского хозяйства. – 1970. – № 12. – С. 41-42.
- 144 Фетисов, Н.А. Использование центробежных сил и больших скоростей для триерования зерна / Н.А. Фетисов // Тр. Омск. с.-х. ин-т. – Омск, 1959. – Т. 39. – С. 153-165.
- 145 Экономика Ирака. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>
- 146 Berlage A. G., Bilsland D. M., Brandenburg N. R., Cooper T. M. Experimental Indent Cylinder for Separating Seeds / TRANSACTIONS of the ASAE—1984. – pp. 358-361 (doi: 10.13031/2013.32790).
- 147 Bilde, M.L. (2015). Combine harvester grain cleaning apparatus: USA patent 8968065 B2.
- 148 Buus O.T., Jørgensen J.R., Carstensen J.M. Analysis of Seed Sorting Process by

- Estimation of Seed Motion Trajectories // Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011. A. Heyden and F. Kahl (Eds.): SCIA 2011, LNCS 6688, pp. 273–284, 2011. (DOI: 10.1007/978-3-642-21227-7_26)
- 149 Ilea R. THE DYNAMICS OF PARTICLES MOVEMENT IN THE INDENTED CYLINDER // Research Journal of Agricultural Science, 2017, 49 (1), pp. 46-51.
- 150 Kim M.H., Park S.J. Analysis of Broken Rice Separation Efficiency of a Laboratory Indented Cylinder Separator // Journal of Biosystems Engineering. 2013 № 38(2). pp. 5-102. (<http://dx.doi.org/10.5307/JBE.2013.38.2.095>)
- 151 McDonald, M.B. Seed production principles and practices / M.B McDonald and L O Copeland, SB 117 M36 1996.
- 152 Meng X., Jia F., Qiu H., Han Y., Zeng Y., Xiao Y., Chen P. DEM study of white rice separation in an indented cylinder separator // Powder Technology Volume 348, 15 April 2019, Pages 1-12 (<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.03.013>)
- 153 Sheidler, A.D., Musser, J.W., Finamore, P., & Tejjido, J.A. (2014). Grain cleaning system: USA patent 8626400.
- 154 Sorică C., Bracăcescu C., Manea D., Sorică E., Epure M., Covaliu C. Considerations regarding the optimization of the mechanical conditioning process of grain into the indented cylinder separators // ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering. Tome XII [2014] – Fascicule 3 [August] pp. 335-338.
- 155 Sorica C., Pirna I., Bracacescu C., Marin E., Postelnicu E. Cinematic analysis of particle of impurity in conditioning process of grains into indented cylinder separators / 11-th International Scientific Conference. Engineering for Rural Development Volume 11 May 24-25, 2012 Jelgava, LATVIA. pp. 60-66. (http://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2012/Papers/010_Sorica_C.pdf)
- 156 Sorică C., Pirnă I., Găgeanu P., Marin E., Postelnicu E. Indented Cylinder Separators - Quality Characteristics Expressed as Functions of Process Parameters// Proceedings of International Conference On Innovations, Recent Trends And Challenges In Mechatronics, Mechanical Engineering And New High-Tech Products Development – MECAHITECH'11. – vol. 3. – year: 2011. – pp. 341-347.
- 157 Tawfik M.A., El Shal A.M., El Fawal Y.A. Factors affecting the performance of an indented cylinder separator // Misr J. Ag. Eng., 28(2): pp. 401 – 415.

Приложение А

Результаты измерений линейных размеров частиц исследуемых зерновых материалов

Таблица А.1 – Результаты измерений размеров частиц сорго

№ п/п	Длина*, мм	Ширина*, мм	Толщина*, мм	№ п/п	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм
1	4	3,4	2,1	31	4,5	3,2	2,5
2	4,2	3	2,2	32	4,2	3,5	2,5
3	4,6	3,4	2,2	33	3,7	3	2,1
4	3,8	3,4	2,4	34	4	3,4	2,5
5	4,3	3,6	2,4	35	3,8	3,4	2,4
6	4,4	3,4	2,6	36	3,9	3,2	2,2
7	4,1	3,2	2,2	37	4	3,3	2,5
8	4,2	3,2	2,4	38	4,3	3,5	2,5
9	4,6	3,6	2,4	39	3,7	3,3	2,3
10	4,6	3,6	2,4	40	3,9	3,4	2,2
11	4,1	3,1	2	41	4	3,4	2,3
12	3,8	3,4	2,2	42	4	3,2	2,2
13	4,2	3,2	2,2	43	4,2	3,4	2,5
14	4,1	3,2	2,4	44	4,4	3,5	2,5
15	4,4	3,6	2,4	45	4	3,3	2,2
16	4,2	3,2	2,2	46	3,9	3,2	2,2
17	4,4	3,4	2,2	47	4,7	3,5	2,4
18	4	3,4	2,2	48	4,4	3,5	2,3
19	4,2	3,2	2,4	49	3,9	3,3	2,2
20	4,2	3,4	2,3	50	4	3,2	2,4
21	4,3	3,4	2,2	51	3,6	3,3	2,2
22	4,1	3,2	2,3	52	3,9	3,3	2,2
23	4,5	3,4	2,3	53	4,6	3,6	2,2
24	4,3	3,3	2,2	54	4,5	3,6	2,4
25	3,9	3,1	2,3	55	4,3	3,4	2,4
26	4,7	3,7	2,5	56	4,2	3,1	2,1
27	4	3,3	2,3	57	3,7	3,2	2,3
28	4,5	3,4	2,3	58	4,1	3,4	2,3
29	3,6	3,4	2,3	59	4,1	3,5	2,4
30	4,7	3,4	2,5	60	3,8	3,1	2,2

*Длина – наибольший размер; толщина – наименьший размер частицы

Таблица А.2 – Результаты измерений размеров частиц вики

№ п/п	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	№ п/п	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм
1	4,8	4,5	3,8	31	5,5	4,8	4,9
2	6	5,4	4,4	32	5	4,8	4,1
3	4,9	4,9	4,2	33	5,4	5,4	4,6
4	5	4,9	4,4	34	4,9	4,9	4,1
5	5,1	5,2	4,5	35	4,9	4,7	4,3
6	5,5	5,4	4,8	36	5	5,2	4,4
7	5	5,3	4,3	37	4,9	4,9	4,3
8	5,9	5,5	4,7	38	4,8	4,7	4,1
9	5,8	5,7	3,9	39	5	4,9	4,4
10	5,5	5,2	4,2	40	5,2	4,8	4,1
11	5,5	5,5	4,5	41	4,4	4,4	4,7
12	5,9	5,4	4,6	42	4,5	4,4	4,2
13	4,7	5,2	4,8	43	5	4,9	4
14	5,1	5,3	4,4	44	5,3	5	4,4
15	4,9	4,7	4	45	5,5	5,2	4,4
16	5,1	4,8	4,4	46	5,1	5	4,3
17	5,2	4,7	4,3	47	5,9	5,3	4,5
18	4,8	4,7	4,7	48	5,1	4,9	4,2
19	4,9	4,9	4,2	49	5,5	5,5	4,6
20	5	4,9	4,3	50	5,2	5	4,4
21	4,7	4,8	4,2	51	5,6	5,5	4,8
22	6,1	5,2	3,9	52	4,9	4,9	4,7
23	5,5	5,4	4,7	53	5	4,5	4,3
24	5	5	4,3	54	5,3	5,2	4,4
25	5,5	5,2	3,9	55	5,5	5	4,2
26	5,2	5,6	4,5	56	5,3	5,5	4,5
27	5,4	5,3	4,7	57	5	4,9	3,8
28	5,2	5	4,5	58	5,2	5	4,4
29	5,8	5,6	4,9	59	5,1	4,9	4
30	5,3	5,5	4,5	60	5,5	5,4	4,5

Таблица А.3 – Результаты измерений размеров частиц ячменя

№ п/п	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	№ п/п	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм
1	12	3,7	3	41	11,7	4,3	4
2	10,5	4,1	3,2	42	10,2	3,7	3,2
3	10,3	4,3	3,1	43	9,2	3,4	3,1
4	10,1	4,1	3,7	44	10,9	4,2	3,2
5	9,5	3,3	2,5	45	12,1	4,1	3,9
6	9,1	3,7	3,1	46	11,9	4,1	3,3
7	10,5	4	3,7	47	10,4	3,8	3,4
8	9,6	4,2	3,6	48	10,8	3,7	3,1
9	12,7	4,1	3,2	49	9,8	4	3,9
10	11,4	4	3,3	50	10,4	3,1	3
11	9,2	3,7	3,1	51	9,8	3,8	2,8
12	10	4,6	3,2	52	10,9	3,8	3,1
13	9,8	3,6	2,9	53	11,1	4,1	3,5
14	9,1	4	3,9	54	10,8	3,3	2,7
15	8,5	3,2	2,4	55	10,2	3,5	2,9
16	9,3	3,7	3,3	56	8,9	3,8	2,8
17	9,8	3,7	3,1	57	9,7	3,1	2,8
18	8,7	3,2	2,8	58	10,9	4,2	3,5
19	10,1	3,6	3,1	59	11,1	3,8	3,1
20	9,9	4,3	3,2	60	9,6	3,4	3
21	12,6	4	3,3	61	8,8	4	3,3
22	11,1	4,2	3,3	62	10,4	3,9	3,1
23	9,3	4	2,8	63	7,7	3,5	2,8
24	10,4	3,9	3,4	64	9,8	3,4	2,9
25	9,2	3,6	3,2	65	10,8	4,1	3,6
26	11,3	4,3	3,5	66	10,7	3,8	2,7
27	12,1	3,9	3,2	67	11,4	4,1	3,5
28	9,4	3,3	2,6	68	10,5	3,8	3,3
29	11,3	3,8	3,4	69	8,1	3,3	2,7
30	8,5	3,6	2,5	70	10,1	3,9	3,3
31	11,1	4,1	3,3	71	10,7	3,6	3,2
32	10,4	3,6	3,1	72	11,4	3,9	3,4
33	10,6	3,7	3,1	73	10,8	3,9	3,1
34	10,7	3,6	3	74	9,7	3,2	2,9
35	9,2	4	2,8	75	10,5	4,2	3,3
36	9,7	3,7	3,2	76	10,2	4,1	3,5
37	11,4	4,1	3,6	77	10	3,8	3,6
38	10,2	3,4	2,6	78	9,4	3,4	2,9
39	11,3	4	3,4	79	10,5	3,4	2,7
40	10,2	3,5	2,8	80	11,1	3,9	3,5

Продолжение таблицы А.3

№ п/п	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм
81	10,2	3,3	2,8
82	10,8	3,6	3,4
83	9,7	3,3	3
84	9,5	3,7	3,1
85	10,9	3,3	2,7
86	7,2	3,2	2,8
87	10,9	3,9	3,3
88	9,4	3,3	2,7
89	9,8	3,9	3,2
90	9,4	3,5	3,3
91	10,5	4	3,3
92	10,1	3,5	3
93	9,2	3,5	2,7
94	8,8	4,4	3,4
95	9,6	3,5	3
96	11,6	3,8	3,3
97	9,7	4,1	3,5
98	9,9	3,6	3,3
99	8,3	3,3	2,9
100	8,7	3,5	3,1
101	10,5	3,7	3,1
102	10,7	4,1	3,7
103	11,6	4,4	3,5
104	9,4	3,3	2,7
105	8,8	3,6	2,6
106	11,6	4,3	3,7
107	10,5	3,8	3,2
108	10,7	4,1	3,5
109	10,9	4,4	3,6
110	9,7	3,9	3
111	9,4	3,8	3,1
112	9,9	4,3	3,5
113	10,6	4,1	3,7
114	9,8	3,4	3
115	10,9	3,8	3,4
116	11,1	4,1	3,9
117	11,6	3,8	3,2
118	9,6	3,1	2,8
119	9,5	3,4	3
120	10,9	4,1	3,5

№ п/п	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм
121	9,4	3,4	3
122	10,9	3,6	2,7
123	9,9	3,7	2,9
124	8,9	4,2	3,2
125	9,9	3,7	3,4
126	10,5	3,8	3,5
127	10,3	3,9	3,5
128	9,6	3,1	2,7
129	10,5	3,9	3,7
130	9,9	3,8	3,3
131	10,9	3,4	2,9
132	11,1	4,2	3,8
133	11,6	4,3	3,7
134	10,5	3,9	3,1
135	9,4	3,8	3,2
136	10,1	4,2	3,7
137	10,5	3,9	3,4
138	11,1	4,1	3,6
139	10,4	3,9	3,4
140	10,6	3,5	3
141	9,9	3,5	3
142	10,4	3,8	3,1
143	9,4	4	3,4
144	10	3,9	3,3
145	10,5	4,1	3,8
146	10,5	3,6	3,1
147	9	3,4	2,8
148	10	3,8	3,1
149	9,7	4,1	3,7
150	8,8	3,8	3,1
151	8,7	3,8	3,3
152	9,4	3,8	2,7
153	9,3	3,5	3
154	10	3,8	3,3
155	9,4	3,5	2,9
156	11,6	3,5	2,7
157	11	3,6	3
158	8,8	3,8	3,1
159	9,1	3,6	3,2
160	12	3,9	3,2

Окончание таблицы А.3

№ п/п	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм
161	9,8	3,5	3
162	8,5	3,6	2,8
163	9	3,8	3,2
164	10,5	4	3,3
165	11	3,8	3,1
166	10	4	2,9
167	8,8	4,3	2,5
168	9,9	3,4	3
169	9,5	3,2	2,9
170	9,1	3	2,5
171	10,4	3,7	3,1
172	10,5	3,8	3
173	9,4	3,8	3,3
174	10	3,3	2,8
175	10,5	4	3,4
176	9,7	4,1	3,6
177	9,4	3,9	3,2
178	9	3,9	3,1
179	10,3	3,6	2,8
180	10	3,8	3,2

№ п/п	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм
181	9,4	3,6	2,7
182	10	4,3	3,8
183	10,7	4,2	3,8
184	9,8	3,7	3,1
185	10,6	3,7	3
186	9,9	3,2	2,6
187	9,4	3,4	3
188	9,8	3,4	2,8
189	9	3,4	2,9
190	9,3	3,6	3
191	11	4,1	3,8
192	9	3,3	2,7
193	11,6	4	3,3
194	8,3	3,5	2,9
195	10,5	3,8	3
196	9,8	3,7	3,2
197	10,5	3,8	3
198	9,7	3,4	2,9
199	10,9	4	3,4
200	8,3	3,6	2,7

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**189 487**⁽¹³⁾ **U1**(51) МПК
B07B 13/02 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B07B 13/02 (2019.02)

(21)(22) Заявка: 2019106787, 12.03.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.03.2019Дата регистрации:
23.05.2019Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 12.03.2019

(45) Опубликовано: 23.05.2019 Бюл. № 15

Адрес для переписки:
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49, РГАУ-
МСХА имени К.А. Тимирязева, Управление
научной деятельности

(72) Автор(ы):

Алдошин Николай Васильевич (RU),
Золотов Александр Анисимович (RU),
Лылин Николай Алексеевич (RU),
Мехедов Михаил Алексеевич (RU),
Щиголев Сергей Викторович (RU),
Альшинайин Хайдер Джамил Джабер (IQ)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Российский государственный
аграрный университет - МСХА имени К.А.
Тимирязева" (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА
имени К.А. Тимирязева) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2564872 C1, 10.10.2015. SU
76307 A1, 01.01.1949. SU 60792 A1, 01.01.1942.
RU 2277014 C2, 27.05.2006. RU 93309 U1,
27.04.2010. RU 2319558 C1, 20.03.2008. US
3827554 A1, 06.08.1974.

(54) Устройство для разделения зерносмесей по длине

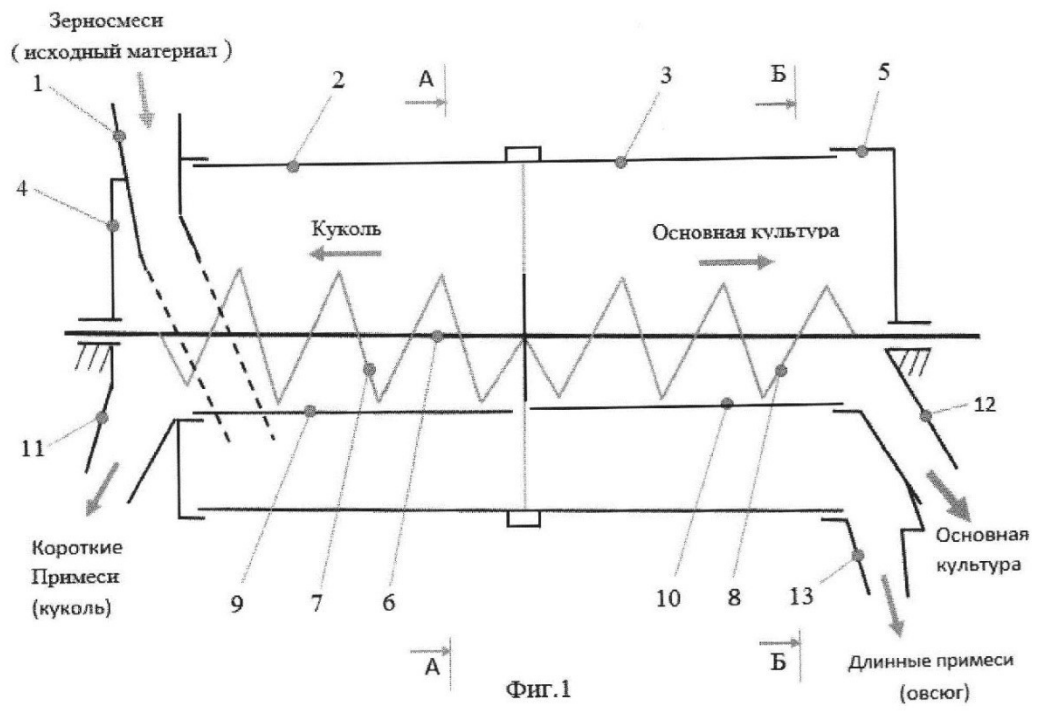
(57) Реферат:

Устройство для разделения зерносмесей по длине относится к сельскому хозяйству и может быть использовано для разделения зернового вороха на фракции. Технический результат, обеспечиваемый устройством, состоит в упрощении конструкции устройства при одновременном увеличении производительности. Для разделения зерносмесей по длине, устройство содержит кукольный и овсюжный цилиндры с ячеистыми поверхностями, выполненные одного диаметра, соосно расположенные и жестко скреплены, образуя единую цилиндрическую поверхность в виде барабана, с расположенными

внутри отводным шнеком, имеющим разнонаправленные винтовые поверхности, и индивидуально регулируемые для кукольного и овсюжного цилиндров желобами. При этом длины кукольного цилиндра, однонаправленной поверхности шнека и желоба под ним равны, соответственно длины овсюжного цилиндра, однонаправленной поверхности шнека и желоба под ним также равны. Для удобства настройки устройства на обработку исходного материала с другими свойствами его цилиндрические поверхности выполнены съемными. 3 ил.

R U 1 8 9 4 8 7 U 1

R U 1 8 9 4 8 7 U 1



RU 1 8 9 4 8 7 U 1

RU 1 8 9 4 8 7 U 1

Полезная модель относится к сельскому хозяйству и может быть использовано в устройствах для разделения зерносмесей по длине.

Известно устройство для разделения зерносмесей по длине (триер) (Карпенко А.Н., Халанский В.М. «Сельскохозяйственные машины», М.: ВО «Агропромиздат», 1983 г., с. 301), включающее расположенные друг над другом вращающиеся кукольный и овсюжный цилиндры с ячеистыми поверхностями, установленные на опорные ролики, отводные шнеки и желоба внутри цилиндров, загрузочное устройство, выводные лотки для схода фракций зерносмеси, причем каждый цилиндр и каждый шнек имеет свой привод для осуществления вращения.

Недостатками известного устройства для разделения зерносмесей по длине (триера) является сложность конструкции и низкое качество процесса очистки зерна от длинных примесей в овсюжном цилиндре устройства. Зерновая смесь, состоящая из фракций основной культуры и длинных примесей (овсюга), пройдя кукольный цилиндр, навалом поступает на начало овсюжного вращающегося цилиндра с ячеистой поверхностью, тем самым требуется время для равномерного распределения зерносмеси по внутренней ячеистой поверхности этого цилиндра и начала заполнения ячеек для отделения основной культуры от длинной фракции (овсюга).

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому устройству относится известный триер (патент RU №2564872, опубл. 10.10.2015) содержащий загрузочное устройство, овсюжный и кукольный ячеистые вращающиеся цилиндры, выводный шнек и желоб под ним с окном для схода длинных примесей и основной культуры на кукольный ячеистый цилиндр, приводные валы, два цепных контура, приводные и опорные ролики, отводные лотки для длинных, примесей, коротких примесей и очищенного зерна, отбойную стенку, привод, раму (выбран в качестве прототипа).

Наличие дополнительных приводов, обеспечивающих разную частоту вращения ячеистых цилиндров, сложный переход коротких примесей и основной культуры через окно желоба из овсюжного ячеистого цилиндра в кукольный усложняют конструкцию триера. При этом поступающая зерновая смесь может образовывать завал, что ведет к потере части рабочей площади кукольного ячеистого цилиндра и снижению производительности устройства.

Из анализа существующего уровня техники выявлено, что технической проблемой в данной области является недостаточный ассортимент простых устройств для качественного разделения зерносмесей по длине.

Технический результат, обеспечивающий решение указанной проблемы состоит в упрощении конструкции устройства при одновременном увеличении производительности.

Для решения указанной проблемы и получения заявленного технического результата в устройстве для разделения зерносмесей по длине, состоящем из установленных на опорах двух вращающихся цилиндров с ячеистыми поверхностями, загрузочного устройства, выводных лотков для схода фракций зерносмеси и отводного шнека, кукольный и овсюжный цилиндры выполнены одного диаметра, соосно расположены и жестко скрепленных, образуя единую цилиндрическую поверхность в виде барабана, с расположенными внутри отводным шнеком, имеющим разнонаправленные винтовые поверхности, и индивидуально регулируемые для кукольного и овсюжного цилиндров желобами. При этом длины кукольного цилиндра, однонаправленной поверхности шнека и желоба под ним равны, соответственно длины овсюжного цилиндра, однонаправленной поверхности шнека и желоба под ним также равны. Для удобства настройки устройства на обработку исходного материала с другими свойствами его

цилиндрические поверхности выполнены съемными.

Полезная модель поясняется чертежами:

На фиг. 1 показана схема устройства (продольный разрез);

На фиг. 2 поперечный разрез сечение А-А.

5 На фиг. 3 поперечный разрез сечение Б-Б.

Устройство для разделения зерновых смесей по длине включает в себя загрузочное устройство 1, кукольный 2 и овсюжный 3 вращающиеся цилиндры одного диаметра, которые опираются на неподвижные крышки 4 и 5. Причем оба цилиндра 2 и 3 жестко и соосно скрепленные между собой, образуя единую цилиндрическую поверхность в виде барабана. Внутри цилиндров смонтированы отводящий шнек 6 с
10 разнонаправленными винтовыми поверхностями 7 и 8, индивидуально регулируемые по высоте рабочих кромок два желоба: 9 - для перемещения фракции коротких примесей и 10 - для перемещения фракции основной культуры. В неподвижной крышке 4 встроены выводной лоток 11 для фракции коротких примесей, а в неподвижной крышке 5 -
15 выводной лоток 12 для фракции основной культуры и выводной лоток 13 для фракции длинных примесей.

Устройство работает следующим образом.

Зерновая смесь, состоящая из фракций основной культуры, коротких и длинных примесей поступает из загрузочного устройства 1, расположенного в опорной крышке
20 4, на внутреннюю ячеистую поверхность вращающегося кукольного цилиндра 2. Все три фракции зерносмеси западают в ячейки, за счет вращения кукольного цилиндра 2 поднимаются, при этом более длинные частицы (основная культура и длинные примеси) выпадают из ячеек раньше, а короткие примеси выпадают позже и попадают в регулируемый желоб 9, откуда винтовой поверхностью 7 шнека 6 перемещаются к
25 выводному лотку 11 и удаляются за пределы устройства. Двигающиеся далее по внутренней ячеистой поверхности вращающегося овсюжного цилиндра 3 частицы зерносмеси, состоящей из фракций основной культуры и длинных примесей, западают в ячейки и за счет вращения овсюжного цилиндра 3 поднимаются. Длинные примеси выпадают из ячеек раньше, а основная культура выпадает позже и попадает в
30 регулируемый по высоте желоб 10, откуда винтовой поверхностью 8 шнека 6 перемещается к выводному лотку 12 и удаляются за пределы устройства. Длинные примеси сходят с вращающегося овсюжного 3 цилиндра в выводной лоток 13 и удаляются за пределы устройства. В результате зерновая смесь разделяется на три фракции: короткие примеси (куколь) выходят из устройства через выводной лоток 11, основная культура - через выводной лоток 12, а длинные примеси - через выводной лоток 13.

По сравнению с прототипом предлагаемое устройство для разделения зерновой смеси по длине позволит более полно использовать ячеистые цилиндрические поверхности за счет плавного постепенного (без каскадов) прохождения зерносмеси
40 по поверхности, что дает прибавку в производительности по сравнению с прототипом, а также упрощает конструкцию всего устройства. Кроме того, предложенное устройство более компактное и позволяет снизить трудозатраты на послеуборочную обработку зерна.

45 (57) Формула полезной модели

Устройство для разделения зерносмесей по длине, состоящее из установленных на опорах вращающихся кукольного и овсюжного цилиндров с ячеистыми поверхностями, загрузочного устройства, выводных лотков для схода фракций зерносмеси, отводного

RU 189 487 U1

шнека и желобов с регулируемыми по высоте рабочими кромками, отличающиеся тем, что кукольный и овсюжный цилиндры с ячеистыми поверхностями выполнены одного диаметра, соосно расположены и жестко скреплены, образуя единую цилиндрическую поверхность в виде барабана, с расположенными внутри отводным шнеком, имеющим
5 разнонаправленные винтовые поверхности, и индивидуально регулируемые для кукольного и овсюжного цилиндров желобами.

10

15

20

25

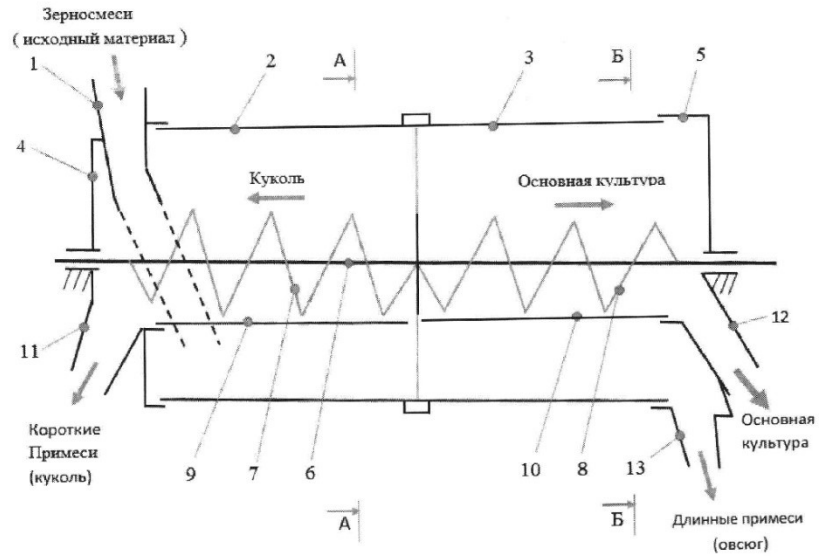
30

35

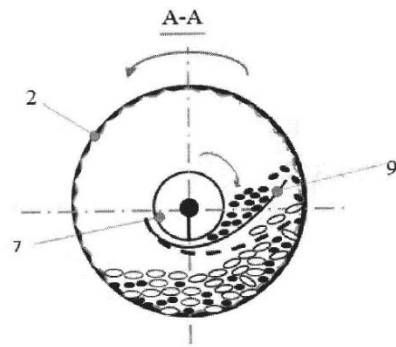
40

45

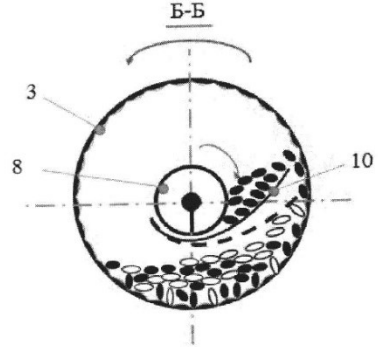
1



Фиг.1



Фиг.2



Фиг.3

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**2 748 565**⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК
G01B 5/24 (2006.01)
G01N 33/24 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01B 5/24 (2021.02); *G01N 33/24* (2021.02)

(21)(22) Заявка: 2020121893, 26.06.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.06.2020

Дата регистрации:
26.05.2021

Приоритет(ы):
 (22) Дата подачи заявки: 26.06.2020

(45) Опубликовано: 26.05.2021 Бюл. № 15

Адрес для переписки:
 392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28,
 ФГБНУ ВНИИТиН, Острикову В.В.

(72) Автор(ы):

Тишанинов Николай Петрович (RU),
 Анашкин Александр Витальевич (RU),
 Тишанинов Константин Николаевич (RU),
 Альпинайин Хайдер Джамил Джабер (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
 научное учреждение "Всероссийский
 научно-исследовательский институт
 использования техники и нефтепродуктов в
 сельском хозяйстве" (ФГБНУ ВНИИТиН)
 (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: SU 1226000 A1, 23.04.1986. SU 564510
 A1, 05.07.1977. SU 1506263 A1, 07.09.1989. CN
 205957879 U, 15.02.2017.

(54) Прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала

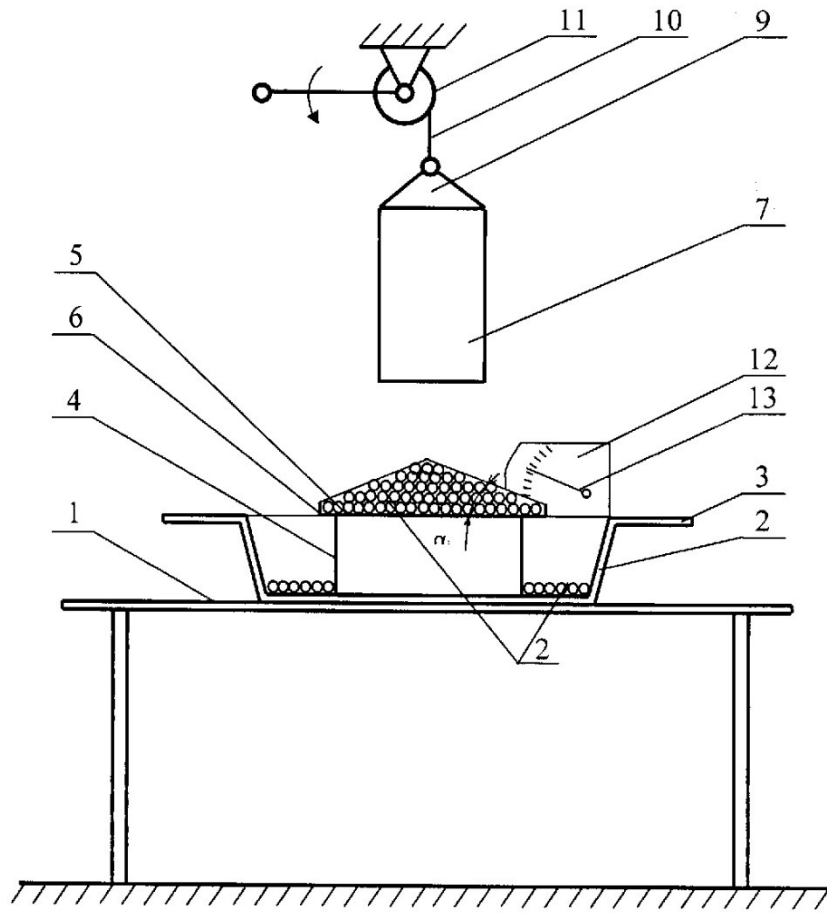
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительным приборам. Прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала содержит диск с буртиком, полый цилиндр, механизм подъема и измерительный узел. При этом диск с буртиком закреплен на подставке, размещенной в чаше с горизонтальным ободом, который расположен на одинаковой высоте с подставкой. Причем избыточная часть сыпучего

материала скатывается по конусной поверхности в чашу, а измерительный узел выполнен в виде угломера с интервальным перемещением его по горизонтальному ободу. Технический результат - расширение области применения прибора по физико-механическим свойствам исследуемых сыпучих материалов, повышение точности измерений в расширенном диапазоне свойств исследуемых материалов. 2 ил.

RU 2 748 565 C 1

RU 2 748 565 C 1



Фиг. 2

RU 2748565 C1

RU 2748565 C1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(19) **RU** (11) **2 748 565**⁽¹³⁾ **C1**(51) Int. Cl.
G01B 5/24 (2006.01)
G01N 33/24 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(52) CPC
G01B 5/24 (2021.02); *G01N 33/24* (2021.02)

(21)(22) Application: 2020121893, 26.06.2020

(24) Effective date for property rights:
26.06.2020Registration date:
26.05.2021Priority:
(22) Date of filing: 26.06.2020

(45) Date of publication: 26.05.2021 Bull. № 15

Mail address:
392022, g. Tambov, per. Novo-Rubezhnyj, 28,
FGBNU VNIITiN, Ostrikovu V.V.

(72) Inventor(s):

Tishaninov Nikolaj Petrovich (RU),
Anashkin Aleksandr Vitalevich (RU),
Tishaninov Konstantin Nikolaevich (RU),
Alshinajin Khajder Dzhamil Dzhaber (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
nauchnoe uchrezhdenie "Vserossijskij
nauchno-issledovatel'skij institut ispolzovaniya
tekhniki i nefteproduktov v selskom
khozyajstve" (FGBNU VNIITiN) (RU)(54) **APPARATUS FOR DETERMINING THE ANGLE OF NATURAL SLOPE OF FLOWING MATERIAL**

(57) Abstract:

FIELD: measuring tools.

SUBSTANCE: apparatus for determining the angle of slope of flowing material is comprised of a disc with a shoulder, a hollow cylinder, a lifting mechanism and a measuring unit. Said disc with a shoulder is fixed on a base placed in a bowl with a horizontal rim located at the same height with the base. The excess part of the flowing material therein slides down the conical surface into the bowl, and the measuring unit is made as an

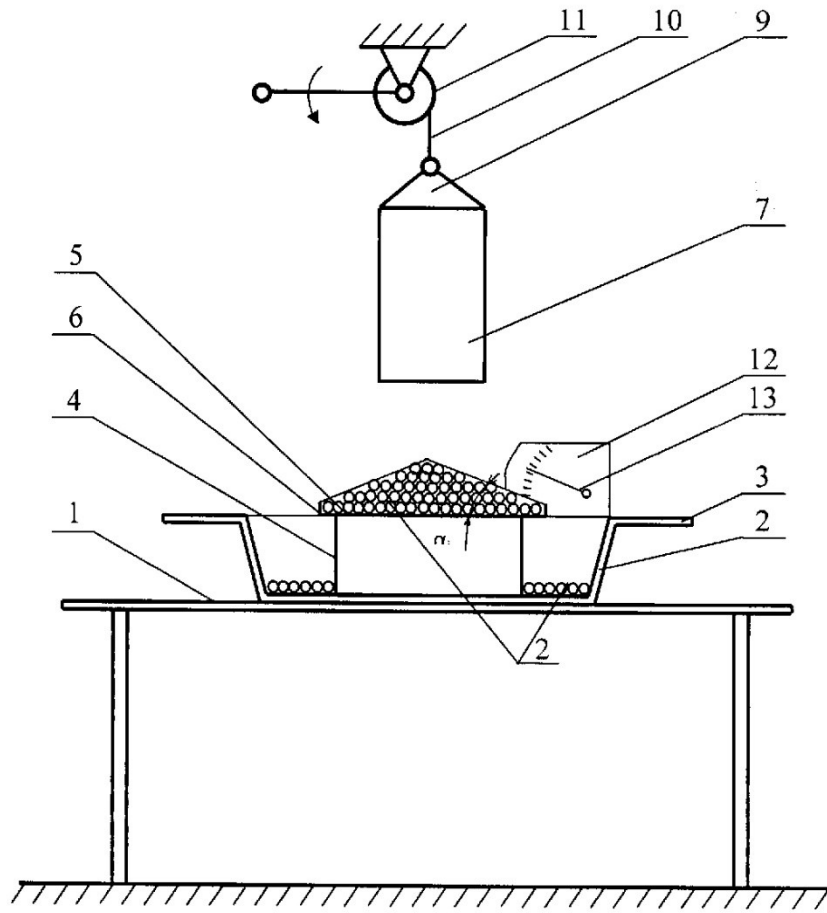
angle meter with interval movement thereof along the horizontal rim.

EFFECT: technical result is extended area of application of the apparatus according to physical and mechanical properties of the researched flowing materials, increased accuracy of measurements in an extended range of properties of the researched materials.

1 cl, 2 dwg

RU 2 7 4 8 5 6 5 C 1

RU 2 7 4 8 5 6 5 C 1



Фиг. 2

RU 2748565 C1

RU 2748565 C1

Изобретение относится к измерительным приборам.

Известен прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала (А.С. СССР 615353 G01B 5/24, 1978), содержащий базовую плоскость, установленного на регулируемых опорах столик круглой формы, перемещаемый в перпендикулярном относительно базовой плоскости направлении, рейку для перемещения столика и угломер.

Недостатком известного прибора является ограниченная область его применения по свойствам исследуемых материалов. Он не может использоваться при исследованиях углов естественного откоса сыпучих материалов с частицами шарообразной или эллипсоидной формы. Например, семена сорго, проса, горчицы, вики и др. При подъеме столика круглой формы с насыпанным слоем исследуемого материала части шарообразной или эллипсоидной формы, размещенные по периферийным участкам столика имеют большую динамику перемещения в радиальном направлении (скатывания) под воздействием вышележащих слоев из-за незначительного сопротивления перекачиванию. В результате профиль вертикального осевого сечения, сформированного на столике исследуемого сыпучего материала при подъеме столика, приобретает форму синусоиды, что исключает объективную оценку его угла естественного откоса.

Известен прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала (Приборы для исследования по земледелию. Каталог. - М.: 1959. - С. 24.), содержащий горизонтальную опорную плоскость, узел создания откоса в виде полого цилиндра, механизм его подъема и угломер.

Недостатком известного прибора является неприемлемая для измерений угла естественного откоса форма монолита, образующегося на базовой плоскости после подъема полого цилиндра при исследовании сыпучих материалов, частицы которых имеют шарообразную или эллипсоидную форму из-за большей подвижности периферийных частиц при малом сопротивлении их перекачиванию.

Известно устройство для определения углов естественного откоса сыпучих материалов (А.С. СССР №1226000 G01B 3/56, 1986), содержащее корпус, базовую плоскость в виде диска с буртиком, полый цилиндр, контрольное кольцо, измерительный узел (выбрано в качестве прототипа).

Недостатком известного устройства является ограниченная область его применения по свойствам исследуемых материалов. Форма насыпного конуса из шарообразных и (или) эллипсоидных частиц не может быть идеальной - имеет место частичное смещение вершины насыпного конуса, образующие конуса не являются прямыми линиями и имеют разный угол наклона к горизонту. Поэтому измерение, производимое по точке контакта контрольного кольца с конкретной образующей насыпного конуса является единичным из выборки замеров, необходимых для объективной оценки угла откоса сыпучего материала.

Цель изобретения - расширение области применения прибора по физико-механическим свойствам исследуемых сыпучих материалов, повышение точности измерений.

Поставленная цель достигается тем, что прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала, содержащий корпус, диск с буртиком, полый цилиндр и измерительный узел, согласно изобретению диск с буртиком закреплен на подставке, размещенной в чаше с горизонтальным ободом, который расположен на одинаковой высоте с подставкой, а измерительный узел выполнен в виде угломера с интервальным перемещением его по горизонтальному ободу.

Сущность изобретения поясняется чертежами, где на фиг. 1 показан общий вид

прибора для определения угла естественного откоса сыпучего материала в исходном состоянии, когда полый цилиндр установлен на диске с буртиком и заполнен сыпучим материалом, на фиг. 2 - полый цилиндр поднят механизмом и освобожден от сыпучего материала.

5 Прибор для определения угла естественного откоса содержит горизонтальную опорную плоскость 1, установленную на ней чашу 2 с горизонтальным ободом 3, подставку 4 с закрепленным на ней диском 5 с буртиком 6, полый цилиндр 7 с размещенным в нем сыпучим материалом 8, поводок 9, соединенный нитью 10 с механизмом подъема 11, угломер 12 с контрольной стрелкой 13.

10 Прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала работает следующим образом.

В исходном положении на горизонтальной опорной плоскости 1 установлена чаша 2 с горизонтальным ободом 3, а на диск 5 с буртиком 6, закрепленный на подставке 4, устанавливают полый цилиндр 7. Затем полый цилиндр 7 заполняют исследуемым сыпучим материалом 8 в объеме, превышающим (с запасом) объем формируемого конусного монолита сыпучего материала 8 на диске 5 с буртиком 6. После чего механизмом подъема 11 посредством нити 10 и поводка 9 медленно поднимают полый цилиндр 7. Вытекающий из полого цилиндра 7 сыпучий материал 8 формирует монолит конусной формы, а избыточная часть сыпучего материала 8 скатывается по конусной поверхности в чашу 2. Далее на угломере 12, перемещаемом по горизонтальному ободу 3 с угловым шагом γ , в каждом случае n измерений ($n=360^\circ/\gamma$) устанавливают контрольную стрелку 13 параллельно n образующим конуса, находящимся под углами α_i к горизонту. По величинам i -ых замеров рассчитывают среднее значение угла

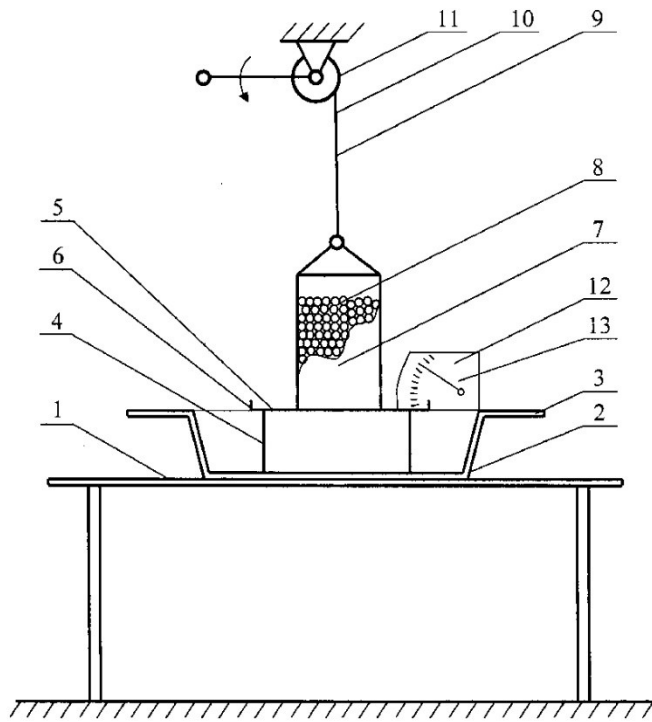
25 естественного откоса сыпучего материала ($\bar{\alpha}$) по формуле: $\bar{\alpha} = \sum_{i=1}^n \alpha_i/n$. После чего

сыпучий материал 8 с диска 5 высыпают в чашу 2 и вместе с избыточной частью сыпучего материала 8 пересыпают в резервную емкость, устанавливают все составные части прибора для определения угла естественного откоса сыпучего материала 8 в исходное положение и повторяют опыт. Размещение диска 5 на подставке 4, установленной в чаше 2, исключает невозвратимые потери исследуемых сыпучих материалов 8 при их истечении из полого цилиндра 7. Избыточная часть сыпучих материалов 8, стекая по образующим конусного монолита, определяет их естественный угол наклона к горизонту. Выполнение подставки 4 с одинаковым размещением по высоте с горизонтальным ободом 3 упрощает контроль образующих конуса. Пошаговые замеры α_i в количестве $n=360^\circ/\gamma$ в каждом опыте обеспечивают повышение точности измерений в расширенном диапазоне свойств исследуемых материалов.

(57) Формула изобретения

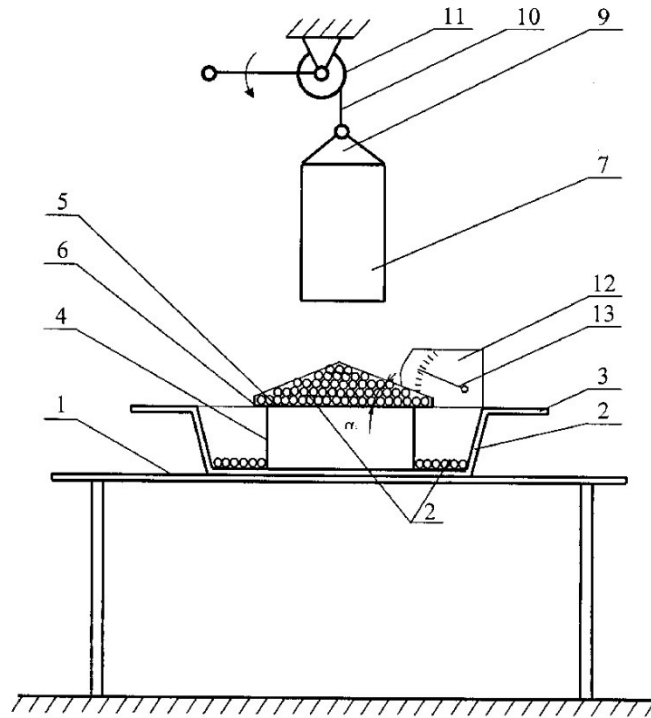
40 Прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала, содержащий диск с буртиком, полый цилиндр, механизм подъема и измерительный узел, отличающийся тем, что диск с буртиком закреплен на подставке, размещенной в чаше с горизонтальным ободом, который расположен на одинаковой высоте с подставкой, при этом избыточная часть сыпучего материала скатывается по конусной поверхности в чашу, а измерительный узел выполнен в виде угломера с интервальным перемещением его по горизонтальному ободу.

1



Фиг. 1

2



Фиг. 2

ПРИЛОЖЕНИЕ В

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научно-инновационной
деятельности ФГБОУ ВО «Тамбовский
государственный технический
университет», д.т.н., профессор
Д.Ю. Муромцев
02 _____ 2022 г.



АКТ

внедрения в учебный процесс результатов научно-исследовательской работы
Альпинайина Хайдера Джамила Джабера.

Комиссия ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» в составе:

Председатель комиссии:

заведующий кафедрой ТиТАТ, доцент, к.т.н.

А.В. Милованов,

Члены комиссии:

зам. директора института АрхСиТ, доцент, к.э.н.

В.А. Гавриков,

доцент кафедры Агроинженерия, к.с.х.н., доцент,

А.Г. Павлов,

составили настоящий акт в том, что разработанные в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН) с участием Альпинайина Хайдера Джамила Джабера прибор для выделения примесей из зерносмесей (патент РФ №2647526) и прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала (Патент РФ 2748565) используются в учебном процессе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»)

Председатель комиссии:

заведующий кафедрой , доцент, к.т.н.

А.В. Милованов

Члены комиссии:

зам. директора института АрхСиТ, доцент, к.э.н.

В.А. Гавриков

доцент кафедры Агроинженерия, к.с.х.н., доцент

А.Г. Павлов

«УТВЕРЖДАЮ»



АКТ

внедрения результатов интеллектуальной деятельности

Мы, ниже подписавшиеся, составили настоящий акт в том, что разработанные в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН) «Рекомендации по модернизации и эффективному использованию зерноочистительных агрегатов», включающие результаты, полученные Альшинайином Хайдером Джамилом Джабером при диссертационном исследовании, применение которых обеспечивает снижение технологических потерь при триерной очистке зерна и семян на 14% и снижение остаточной засоренности на 30%, внедрены и используются в

колхоз племенной завод им. Ленина

Представители ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №5,
д.т.н., профессор

Н.П. Тишанинов

Главный научный сотрудник лаб. № 5,
д.т.н.

А.В. Анашкин

Мл. научный сотрудник лаб. № 5

Х.Д.Д. Альшинайин

Представитель сельхозпредприятия:

И. И. И.

И. И. И.
(Ф.И.О.)

«УТВЕРЖДАЮ»



АКТ

использования результатов интеллектуальной деятельности

Мы, ниже подписавшиеся составили настоящий акт в том, что технологии по настройке и регулировке зерноочистительных машин, разработанные в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН) с участием Альшинайина Хайдера Джамила Джабера, включающие новые приборы (патенты РФ № 2647526, 2748565) используются в колхозе - племенном заводе им. Ленина

Представители ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №5,
д.т.н., профессор

Н.П. Тишанинов

Главный научный сотрудник лаб. № 5,
д.т.н.

А.В. Анашкин

Мл. научный сотрудник лаб. № 5

Х.Д.Д. Альшинайин

Представитель сельхозпредприятия:

И.И.И.

А.В. Анашкин
(Ф.И.О.)

«УТВЕРЖДАЮ»



 « 21 » 02 2022 г

АКТ

использования результатов интеллектуальной деятельности

Мы, ниже подписавшиеся составили настоящий акт в том, что технологии по настройке и регулировке зерноочистительных машин, разработанные в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН) с участием Альшинаиина Хайдера Джамила Джабера, включающие новые приборы (патенты РФ № 2647526, 2748565) используются в АО Плечавод „Пригородный“

Представители ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №5,
д.т.н., профессор



Н.П. Тишанинов

Главный научный сотрудник лаб. № 5,
д.т.н.



А.В. Анашкин

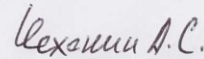
Мл. научный сотрудник лаб. № 5



Х.Д.Д. Альшинаиин

Представитель сельхозпредприятия:





 (Ф.И.О.)

«УТВЕРЖДАЮ»



АКТ

внедрения результатов интеллектуальной деятельности

Мы, ниже подписавшиеся, составили настоящий акт в том, что разработанные в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН) «Рекомендации по модернизации и эффективному использованию зерноочистительных агрегатов», включающие результаты, полученные Альшинайином Хайдером Джамилом Джабером при диссертационном исследовании, применение которых обеспечивает снижение технологических потерь при триерной очистке зерна и семян на 14% и снижение остаточной засоренности на 30%, внедрены и используются в

АО Плелзавод «Тригородный»

Представители ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №5,
д.т.н., профессор

Н.П. Тишанинов

Главный научный сотрудник лаб. № 5,
д.т.н.

А.В. Анашкин

Мл. научный сотрудник лаб. № 5

Х.Д.Д. Альшинайин

Представитель сельхозпредприятия:

lent

Цеховичи А.С.
(Ф.И.О.)

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. ген. директора

2022 г

АКТ

внедрения результатов интеллектуальной деятельности

Мы, ниже подписавшиеся, составили настоящий акт в том, что разработанные в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН) «Рекомендации по модернизации и эффективному использованию зерноочистительных агрегатов», включающие результаты, полученные Альшинайином Хайдером Джамилом Джабером при диссертационном исследовании, применение которых обеспечивает снижение технологических потерь при триерной очистке зерна и семян на 14% и снижение остаточной засоренности на 30%, внедрены и используются в

ОАО «Сатинское»

Представители ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №5,
д.т.н., профессор

Н.П. Тишанинов

Главный научный сотрудник лаб. № 5,
д.т.н.

А.В. Анашкин

Мл. научный сотрудник лаб. № 5

Х.Д.Д. Альшинайин

Представитель сельхозпредприятия:

Кулакин С.А.
(Ф.И.О.)

«УТВЕРЖДАЮ»



АКТ

использования результатов интеллектуальной деятельности

Мы, ниже подписавшиеся составили настоящий акт в том, что технологии по настройке и регулировке зерноочистительных машин, разработанные в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН) с участием Альшинаиина Хайдера Джамила Джабера, включающие новые приборы (патенты РФ № 2647526, 2748565) используются в ОАО „Сатинское“

Представители ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №5,
д.т.н., профессор

Н.П. Тишанинов

Главный научный сотрудник лаб. № 5,
д.т.н.

А.В. Анашкин

Мл. научный сотрудник лаб. № 5

Х.Д.Д. Альшинаиин

Представитель сельхозпредприятия:

Куракин С.А.
(Ф.И.О.)

«УТВЕРЖДАЮ»



АКТ

внедрения результатов интеллектуальной деятельности

Мы, ниже подписавшиеся, составили настоящий акт в том, что разработанные в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН) «Рекомендации по модернизации и эффективному использованию зерноочистительных агрегатов», включающие результаты, полученные Альшинойином Хайдером Джамилом Джабером при диссертационном исследовании, применение которых обеспечивает снижение технологических потерь при триерной очистке зерна и семян на 14% и снижение остаточной засоренности на 30%, внедрены и используются в

КФХ Лазарев В.И.

Представители ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №5,
д.т.н., профессор

Н.П. Тишанинов

Главный научный сотрудник лаб. № 5,
д.т.н.

А.В. Анашкин

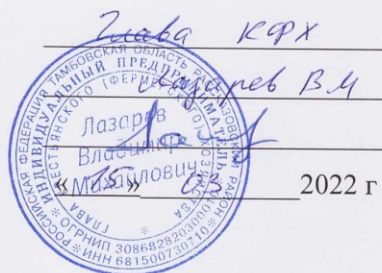
Мл. научный сотрудник лаб. № 5

Х.Д.Д. Альшинойин

Представитель сельхозпредприятия:

Лазарев В.И.
(Ф.И.О.)

«УТВЕРЖДАЮ»



АКТ

использования результатов интеллектуальной деятельности

Мы, ниже подписавшиеся составили настоящий акт в том, что технологии по настройке и регулировке зерноочистительных машин, разработанные в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН) с участием Альшинаиина Хайдера Джамила Джабера, включающие новые приборы (патенты РФ № 2647526, 2748565) используются в КП КФХ Лазарев В.М.

Представители ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №5,
д.т.н., профессор

Н.П. Тишанинов

Главный научный сотрудник лаб. № 5,
д.т.н.

А.В. Анашкин

Мл. научный сотрудник лаб. № 5

Х.Д.Д. Альшинаиин

Представитель сельхозпредприятия:

Лазарев В.М.
(Ф.И.О.)