

**ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»  
Институт механизации и технического сервиса**

на правах рукописи

---

**САКИТЖАНОВ МАРХАБАТ ШАХМАРАНОВИЧ**

**Совершенствование технологического процесса первичной очистки  
риса в условиях Кызылординской области Республики Казахстан**

**Научно-квалификационная работа (диссертация)**

на соискание квалификации «Исследователь. Преподаватель-  
исследователь» по направлению подготовки 35.06.04 Технологии, средства  
механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном  
хозяйстве

Научный руководитель  
доктор технических наук, профессор.  
Яхин Сергей Мирбатович

---

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к представлению научного доклада об  
основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации)  
на государственной итоговой аттестации (протокол №14 от 20 июня 2018 г.)

Зав. кафедрой, профессор \_\_\_\_\_

С.М. Яхин

Казань –2018 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ РИСА .....	7
1.1 Анализ физико-механических свойств и характеристик риса для возделывания в условиях Кызылординской области.....	7
1.2 Машины и их основные конструкции для первичной очистки риса.....	8
1.3 Анализ технологического процесса первичной очистки риса .....	16
1.4 Научный обзор для анализа работ параметров агрегатов и комплекса машин для первичной очистки зерна риса .....	35
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ ПО ПЕРВИЧНОЙ ОЧИСТКЕ ЗЕРНА РИСА.....	57
2.1 Основные понятия по поточным линиям первичной очистки риса .....	57
2.2 Теоретические исследования по анализу поточных комплексов машин для первичной очистки риса .....	63
2.3 Структура комплекса для первичной очистки риса .....	66
2.4 Определение основных конструктивных параметров комплекса для первичной очистки риса .....	69
2.5 Расчет кинематических параметров комплекса для первичной очистки риса .....	70
2.6 Обоснование режимов работ поточного комплекса для первичной очистки зерна риса .....	78
3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ УЧАСТКА ЛИНИИ ..	84
3.1. Модель внешних условий .....	84
3.2 Модель работы пары машин .....	87
3.3 Модель оценки эффективности работы.....	90
3.4. Модель оптимизатора функционирования участка линии .....	91
3.4.1. Обоснование метода оптимизации .....	91
3.4.2. Алгоритм прямого поиска.....	95
3.5 Оценка адекватности модели и реального процесса.....	98
3.6 Выводы к главе 3.....	100

4. РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	102
4.1 Оценка влияния допущений на результаты расчета .....	102
4.2. Влияние условий работы и характеристик машин на фактическую производительность и оптимальные параметры участка линии.....	106
4.3. Рекомендации по выбору оптимальных параметров .....	112
4.4 Расчет экономической эффективности.....	115
4.5 Выводы по главе 4.....	117
Общие выводы.....	119
Список использованной литературы.....	122

## АННОТАЦИЯ

Диссертация научной работы по теме: «Совершенствование технологического процесса первичной очистки риса в условиях Кызылординской области Республики Казахстан» направлена на разработку комплекса для первичной очистки зерна риса и энергосбережения производственного процесса обработки рисовой крупы.

В работе разработаны методы выбора оптимального соотношения номинальных производительностей машин для приема зерна и первичной очистки, а также вместимости промежуточного бункера зерноочистительно-сушильного комплекса на основе аналитического и теоретического расчета поточной линии из элементов, включающих ограничивающее звено, учитывающего случайный характер изменения производительностей и непрерывность технологического процесса.

Обобщены и экспериментально изучены условия первичной очистки зерна риса, необходимые при оптимизации участка (приемочное оборудование - машины первичной очистки) поточной линии. Уточнены характеристики этих машин. Получена зависимость производительности воздушно-решетной машины от вида засорителя зерна.

Предложена статическая модель функционирования и оптимизации участков поточной линии, учитывающая характеристики машин и соотношения их стоимостей.

Уточнена формула расчета сезонной производительности линии вводом в нее коэффициента, учитывающего взаимное влияние машин в потоке. Предложена номограмма для ее определения.

Получена номограмма, позволяющая выбирать параметры участка линии в зависимости от характеристик условий обработки зерна для зоны. Рекомендации по оптимальным параметрам включены в нормы технологического проектирования предприятия первичной очистки зерна риса.

Годовой экономической эффект от комплектования поточной линии с параметрами, рассчитанными по предложенной методике.

## ВВЕДЕНИЕ

Внедрение поточной технологии при первичной очистке зерна риса стало основным направлением во многих странах. Ежегодно сельскому хозяйству поставляется свыше 4 тыс. агрегатов типа ЗАВ и более 2 тыс. комплексов тип КЗС. Однако возможности имеющихся поточных линий используется далеко не полностью. Фактическая производительность ниже паспортной в 2,5 и более раза. Снижение эффективности работы поточных линий обусловлено многими причинами организационного, технического и технологического характера. К числу основных технологических причин относится взаимное несоответствие отдельных элементов оборудования линии по производительности и по реакциям на изменяющиеся условия работы. Низкая технологическая эффективность комплексов по обработке зерна отмечается также в протоколах испытаний МИС.

Одним из наиболее «узких» мест очистительно-сушильного комплекса является «участок-сушилка-машина первичной очистки зерна». Производительность этих машин зависит от разных параметров обрабатываемого материала, вследствие чего наблюдается неравномерность в их работе. Стабилизация выходной влажности, засоренности и потерь полноценного зерна основной культуры в отходы на требуемом уровне осуществляется изменением производительности машин. Если машины в поточной линии подобраны по паспортной производительности и эта производительность равна для всех машин, то изменение параметров обрабатываемого материала и, как следствие этого, колебание производительности машин делают необходимым введение в линии компенсаторов, являющихся по определению академика В.А. Желиговского «уровнителями и регуляторами производственного процесса».

Обеспечение потребности сельскохозяйственного производства в очистительно-сушильной технике должно быть достигнуто не только строительством новых объектов и вводом в эксплуатацию новых машин, но и повышением производительности выпускаемых поточных линий путем оптимизации соотношения номинальной производительности и вводом межоперационных емкостей [36]. Неправильный выбор производительности

машин в линии существенно сказывается на эффективности работы высокопроизводительных комплектов.

В настоящее время проектирование зерноочистительно-сушильных комплексов ведется без учета случайного характера изменения параметров зернового материала, поступающего на обработку. Как показывают исследования, фактической соотношение производительностей сушилки и машины первичной очистки изменяется в течение суток, сезона и общего срока службы оборудования в пределах 0,5...1,5 в зависимости от условий уборочного сезона.

Правильный подбор соотношения производительностей машин и вместимостей бункеров между ними позволит сократить простой оборудования, вести процессы в оптимальном режиме, исключить чрезмерные запасы производительности и уменьшит стоимость оборудования.

Параметры зернового потока изменяются по мере прохождения отдельных этапов обработки, само поступление уже после предварительной очистки перестает быть дискретным, а после средств временного хранения поток становится непрерывным. Поточные линии с непрерывным технологическим процессом представляют собой важный тип технических систем, где обрабатываемый продукт последовательно проходит через все звенья технологической схемы, например, линии водоснабжения и кормоприготовления предприятий в элеваторной и мукомольной промышленности.

Отличительной особенностью методики расчета поточной линии отраженной в данной работе, является то, что она позволяет учитывать переменные параметры обрабатываемого материала, непрерывность технологического процесса, характеристики и стоимостные соотношения машин, а также определяют оптимальное соотношение производительностей машин и вместимости промежуточных бункеров зерноочистительно-сушильных комплексов применительно к условиям различных зон.

# **1. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ РИСА**

## **1.1 Анализ физико-механических свойств и характеристик риса для возделывания в условиях Кызылординской области**

Рис – культура орошаемого земледелия, поэтому производство его в нашей стране во все возрастающих объемах началось только после принятия партией и правительством ряда решений, наметивших последовательное осуществление обширной программы работ по мелиорации земель, с целью создания устойчивого роста производства риса и других сельскохозяйственных культур.

Рис относится к семейству злаковых. Соцветие его представляет собой метелку с разветвленными веточками, на которых расположены одноцветковые колоски. Каждый колосок снабжен двумя жесткими колосовыми чешуйками, охватывающими две цветковые чешуи – верхнюю и нижнюю. Последние имеют ребристую поверхность, образуемую жилками в виде выступающих ребрышек. Обычно на верхней чешуе три ребрышка, а на нижней – пять. У остистых разновидностей риса верхняя часть чешую заканчивается остью. Зерновка риса заключена в цветковых чешуях, которые легко отделяются в процессе переработки.

Согласно принятой квалификации рис подразделяют на два подвида – короткозерный с зерновкой до 4 мм и обыкновенный с зерновкой более 4 мм (Г.Г.Гущин). В нашей стране производимые сорта риса относятся к формам обыкновенного.

В рисе обыкновенном, в зависимости от отношения длины зерновки к ее ширине, различают две ветви: индийскую, у которой длина зерновки в три и более раза превышает ширину, и китайско-японскую – с широкими зерновками и отношением длины к ширине в пределах от 1,4 до 2,9.

Китайско-японскую ветвь делят на две группы: округлозерную – с отношением длины зерновок к ширине от 1,4 до 2,0, и продолговатую – с

отношением от 2,0 до 2,9. Каждая группа сортов риса в свою очередь делится на три класса по размерам зерновок (крупные, средние, мелкие) и форме (узкие, средние, широкие). Выращиваемые в нашей стране сорта риса относятся в основном к китайско-японской ветви.

## **1.2 Машины и их основные конструкции для первичной очистки риса**

Очистка зерна от примесей на зерноочистительных машинах основана на использовании различий в физико-механических свойствах зерна основной культуры и компонентов примеси. Знание этих свойств позволяет устанавливать рациональные режимы работы зерноочистительного оборудования, обеспечивающий наибольший технологический эффект, а также дает возможность производить расчеты емкости зернохранилищ и бункеров, выбирать оптимальные углы наклона самотеков и другого оборудования при проектировании поточных линий для послеуборочной обработки зерна.

С целью разделения компонентов зерновой смеси наиболее часто используют их различия по линейным размерам (длине, ширине, толщине), аэродинамическим свойствам, удельному весу, форме, состоянию поверхностей и другим признакам. В существующих зерноочистительных машинах разделение смесей по ширине и толщине производится на плоских цилиндрических и плоских ячеистых поверхностях; по аэродинамическим свойствам – в пневмосепарирующих каналах прямоугольной, круглой и кольцевой форм. Имеются также машины, в которых для разделение компонентов смеси используются различия в комплексе с рядом признаков – удельном весе, форме, аэродинамических, фрикционных и других свойств.

Линейные размеры – длина, ширина и толщина – важнейшие показатели, характеризующие делимость зерна и примесей на ситах зерноочистительных машин.

Применяют ряд способов для определения линейных размеров: непосредственный обмер зерен с помощью микрометра или штангенциркуля, просеивание навески зерен на наборе сит с отверстиями разных размеров, измерение часового проектора и другие.

Данные отдельных авторов о линейных размерах зерен риса по некоторым районам его производства и основных примесей приведены в таблице 1.1. По средним значениям длина зерновки распространенных сортов, за исключением местных, находится в интервале 6,4...8,6 мм, ширина - 2,8...4,0 мм, толщина - 2,2...2,5 мм. В пределах отдельных сортов разница в средних значениях длины не превышает 2,2 мм, ширины – 1,2 мм, толщины – 0,2 мм. Имеющиеся некоторые колебания в размерах зерновых по сортам, а также в пределах каждого сорта в отдельности следует отнести за счет сортовых особенностей риса и почвенно-климатических условий его производства. Средняя длина обрубленных зерен колеблется в интервале 5,0...6,4 мм, ширина – 3,1..3,3 мм, толщина – 1,6...2,0 мм.

Таблица 1.1– Средние размерные характеристики зерен некоторых сортов риса и примесей

№	Сорт риса	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Отношение длины к ширине	Вес 1000 зерен, г
Рис – зернонешелушенный						
1	Алакульский	7,00	4,00	2,50	1,80	34,00
2	Акмаржан	7,84	3,71	2,44	2,15	33,10
3	Янтарь	7,35	3,58	2,33	2,05	29,16
4	Салима	7,34	3,64	2,29	2,00	31,53
5	Садримассалинский	8,60	2,80	2,40	3,10	24,00
6	Лиман 7	6,40	3,60	2,50	1,80	27,00
7	Лиман 7-13	6,80	3,60	2,40	1,90	31,00
8	Лиман	7,90	3,86	2,39	2,10	34,05
9	Уш-тобинский	7,50	4,00	2,40	1,90	33,00
Рис шелушенный (обрушенные зерна)						
1	Алакульский	5,2	3,3	-	1,6	-
2	Акмаржан	5,8	3,3	-	1,8	-

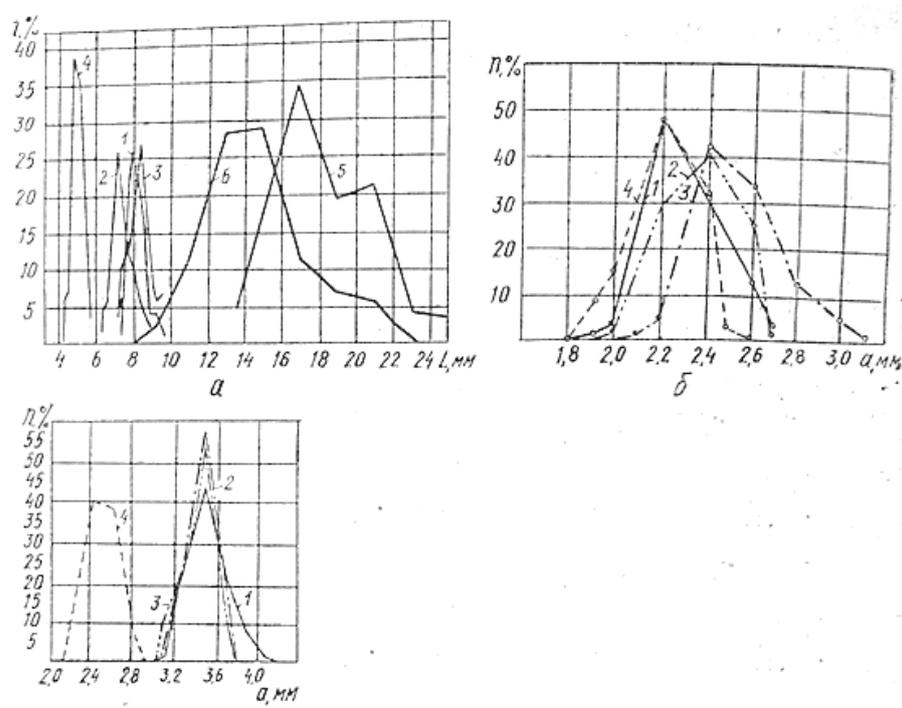
3	Янтарь	5,4	3,2	-	1,7	-
4	Салима	5,6	3,2	2,0	1,7	2,5
5	Садримассалинский	6,4	2,4	-	2,7	-
6	Лиман 7	5,0	3,0		1,7	-
7	Лиман 7-13	5,0	3,0	-	1,6	-
8	Лиман	6,4	3,2	-	2,0	-
9	Уш-тобинский	5,6	3,1	-	1,8	-
Семена сорных растений						
1	Просо куриное	2,7	1,9	1,3	1,4	1,8
2	Просо рисовое	3,5	2,2	1,7	1,6	5,0
3	Просо крупноплодные (курмак)	4,8	2,5	2,1	1,9	6,2

Из просянок наиболее близки по размерам к нешелушенным зернам риса семена проса крупноплодного (курмака), поэтому по сравнению с просом куриным и рисовым извлечение его из зерновой массы риса на ситах зерноочистительных машинах. Однако приведенные на рисунке 1.1а вариационные кривые свидетельствует о том, что такое положение может быть отнесено только к зерновкам безостых сортов риса и семенам курмака, лишенным остей. Но с учетом остей вариационные кривые длины зерен курмака остистого риса Акмаржан перекрываются полностью, а безостыми сортами Лиман и Янтарь частично. Так как в поступающей на хлебоприемные предприятия зерновой массе риса имеется значительное количество семян курмака с остями, выделить их полностью по длине невозможно, даже безостых сортов риса.

Практически невозможно разделить смеси риса и курмака и по толщине зерновок, так как их вариационные кривые по этому признаку перекрываются полностью (рисунок 1.1б). Следовательно, при очистке риса от крупноплодного проса на ситах с продолговатыми отверстиями нельзя ожидать положительных результатов.

Данные таблицы 1.1 и полигоны распределения, приведенные на рисунке 1.1в, показывают, что наиболее эффективно зерна риса и курмака могут быть разделены по ширине зерновок. В зависимости от сортов полигоны распределения зерен риса и курмака по ширине совершенно не перекрываются или перекрываются в незначительных пределах. Из рисунка

видно, что основная масса зерен риса Лиман, Янтарь и Акмаржан имеют ширину 3,2...3,8 мм, а семян курмака 2,32...2,64 мм. Следовательно, в случае применения сита с круглыми отверстиями диаметром 3,0 мм указанные компоненты зерновой смеси могут быть разделены достаточно четко.



а – по длине; б – по толщине; в – по ширине.

1 – Лиман; 2 – Янтарь; 3 – Акмаржан 129; 4 – курмак; 5 – Акмаржан с осями; 6 – курмак с осями.

Рисунок 1.1 – Распределение зерен риса и курмака

Таким образом, при использовании в качестве признаков делимости линейных размеров для очистки риса от проса крупноплодного (курмака) наиболее рационально применять сита с круглыми отверстиями, разделяющими смесь по ширине зерновок. Такие же сита следует предусматривать для извлечения проса рисового и куриного. Очистка риса от курмака на ячеистых поверхностях (триерах), разделяющих смесь по длине зерновок, может быть достаточно эффективной только по извлечению курмака, лишённого остей.

В пределах одного и того же сорта размеры зерен шелушеного и нешелушеного риса (таблица 1.2) имеют некоторые различия. Длина

обрушенных зерновок сорта Салима меньше необрушенных в среднем на 1,74 мм, Янтарь – на 1,95 мм, ширина обрушенных зерновок меньше соответственно на 0,44 мм и на 0,38 мм, а толщина - на 0,29 мм. То есть обрушенные необрушенные зерна очень мало отличаются между собой по толщине. Вариационные кривые шелушенного и нешелушеного риса по толщине перекрываются настолько значительно, что эту геометрическую характеристику невозможно использовать в качестве признака делимости.

Несколько большая разница в размерах наблюдается по ширине. При использовании для разделения сита с круглыми отверстиями диаметром 3,5 мм можно извлечь из зерновой массы риса более 50% обрушенных зерен с незначительным количеством необрушенных. Следовательно, этот признак делимости можно рационально использовать в практике очистки риса.

Наиболее эффективный признак делимости смеси шелушеного и нешелушеного риса – длина зерен. По этому признаку вариационные кривые почти не перекрываются, что свидетельствует о возможности достаточно четкого разделения компонентов.

Таким образом, очистку риса-зерна от обрушенных зерен целесообразно осуществлять на ситах с круглыми отверстиями и ячеистых поверхностях (триерах).

**Удельный вес.** Основной показатель эффективности процесса самосортирования зерновых смесей на рабочих органах зерноочистительных машин – различие в удельном весе части составляющих компонентов. Если различие по этому признаку оказывается значительным, то смесь может быть достаточно четко разделена на отдельные фракции.

Применяется ряд способов для определения удельного веса – при помощи градуированной посуды, метод взвеси, гидростатического вытеснения, волюметрический и другие. Разнообразие способов обусловлено многими специфическими особенностями объектов измерения, но, главным образом, трудностью точного определения объема и, соответственно, удельного веса частиц, имеющих неправильную форму. Каждый способ не

лишен определенных недостатков и дает, некоторые погрешности, однако величина последних зависит от правильного выбора того или иного способа применительно к исследуемому объекту.

Возможностью быстрого определения привлекает волюметрический метод. Однако проведенная проверка показала, что он неприемлем для определения удельного веса зерен пленчатых культур, так как имеющиеся в зерновках воздушные промежутки значительно искажают результаты. Простым и надежным, применительно к зернам риса и проса крупноплодного, является известный метод определения удельного веса в растворах различности плотности (метод Ульриха).

Таблица 1.2 – Характеристика некоторых показателей физических свойств зерна риса и примеси (при влажности 10...15%)

№	Показатели	Натуральный вес, г/л	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>		Скорость витания, м/с <sup>2</sup>	
			Предельные колебания	средняя	Предельные колебания	средняя
Рис- зерно нешелушенный						
1	Акмаржан	567	0,98...1,22	1,14	3,0 - 10,0	6,68
2	Янтарь	597	0,98-1,22	1,14	3,0 - 10,0	6,60
3	Лиман	622	0,98-1,25	1,16	3,0 - 10,0	6,65
4	Салима	585	0,93-1,38	1,26	4,0 - 8,9	-
Примеси зерновой массы риса (обрушение зерна)						
1	Акмаржан	-	-	-	8,42 – 9,27	-
2	Салима	780	1,14 - 1,46	1,40	5,10 – 9,20	-
Битые зерна риса						
1	Недоразвитые (щуплые)	-	-	-	4,0 – 5,7	-
2	Просо рисовое	-	-	-	3,4 – 5,7	-
3	Просо крупноплодное (курмак)	428	0,82 – 1,15	1,04	2,5 – 8,8	5,84
4	Веточная пленка	-	-	-	2,2 – 4,0	-

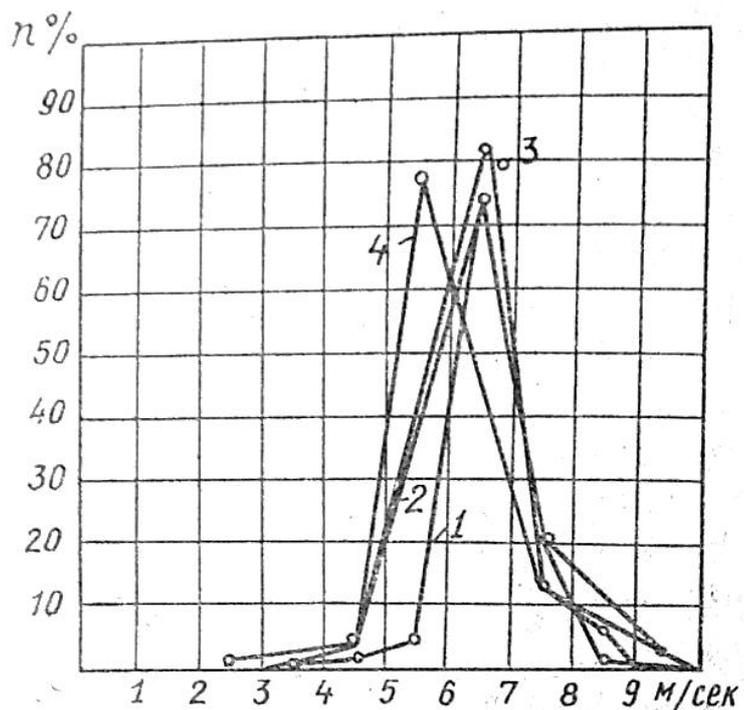
Данные таблицы 1.2 показывают, что средние значения удельного веса необрушенных зерен риса находятся в пределах 1,14...1,26 г/см<sup>2</sup>, а семян проса крупноплодного – 1,04 г/см<sup>3</sup>, что на первый взгляд дает основание предполагать достаточно четкое разделение зерен риса и курмака по этому

признаку. Однако зерна риса, например сорта Салима, имеют удельный вес в интервале  $0,93...1,38 \text{ г/см}^3$ , сорта Акмаржан –  $0,98...1,22 \text{ г/см}^3$ , а семена проса крупноплодного –  $0,8...1,16 \text{ г/см}^3$ . Следовательно, средние значения удельного веса не могут являться показателями признаков делимости. Об этом наглядно свидетельствуют полигоны распределения (рисунок 2), согласно которым по признаку удельного веса четкое разделение зерен риса и курмака произвести невозможно, так как 70% зерен риса сорта Акмаржан, 68% сорта Янтарь и 35% сорта Лиман имеют совпадающий с курмаком удельный вес. Поэтому в зависимости от обрабатываемого сорта по удельному весу можно выделить из риса от 82,5 до 88% семян курмака, однако при этом в отходах окажется до 10 % риса, а очищенном зерне останется от 12 до 18,5% курмака, от исходного содержания его в зерне. Данные исследований показывают, что при прочих одинаковых условиях по удельному весу курмак более эффективно будет извлекаться из сорта Лиман и по указанному признаку делимости из зерновой массы риса может быть извлечено значительное количество обрубленных зерен. Поэтому при использовании этого признака сочетании с другими эффект очистки зерновых смесей от обрубленных зерен риса может быть достаточно высоким.

**Аэродинамические свойства.** Разделение компонентов зерновых смесей по аэродинамическим свойствам – очень распространенный прием очистки и сортирования зерна. Основной показатель аэродинамических свойств и геометрических особенностей – скорость витания (критическая скорость) компонентов.

Скорость витания зерна риса колеблется в довольно широких пределах, в основном совпадающих с предельными значениями скоростей обрубленных, битых зерен, а также семян проса крупноплодного – курмака. Кривые распределения по скоростям нешелушенных зерен риса и курмака (рисунок 1.2) в значительной мере перекрываются, поэтому полностью выделять по этому признаку курмак из зерен риса невозможно. Наиболее

приемлемой для их разделения может оказаться скорость воздушного потока 5,0..5,5 м/с. Однако при таких скоростях теоретически может быть выделено до 80% курмака, но вместе с потоком воздуха будет унесено, в зависимости от сорта риса, от 5 до 30% легковесных зерен риса. Следовательно, во избежание потерь основного зерна при пневмосепарировании зерновой массы риса скорость воздуха в пневмоканалах машин не должна превышать указанных пределов. Эти пределы скоростей будут достаточными для полного извлечения щуплых зерен и цветочной пленки.



1 – Лиман; 2 –Янтарь; 3 – Акмаржан

Рисунок 1.2 – Распределение риса и курмака по скоростям витания

**Фрикционные характеристики.** Поведение зерновой смеси на рабочих органах машин – подвижность самосортирование и другие – при равных условиях обработки определяется фрикционными показателями компонентов смеси. К ним относятся углы естественного откоса, статические и динамические коэффициенты сопротивления сдвигу. Исследования фрикционных свойств риса и курмака показывают, что по сравнению с другими зерновыми культурами рис обладает более высокими фрикционными свойствами, поэтому его зерновая масса отличается меньшей

подвижностью и способностью к самосортированию на рабочих органах зерноочистительных машин. При всем этом остистый рис обладает более высокими фрикционными показателями, чем безостый, поэтому при одинаковых условиях сепарирования эффективность очистки остистых сортов риса ниже, чем безостых. Из анализа физико-механических свойств зерна риса, курмака и обрубленных зерен следует, что показатели физико-механических свойств сортов риса имеют некоторые различия, обусловленные их сортовыми особенностями.

По большинству физико-механических свойств, взятых в отдельности, достаточно четкое разделение зерен риса и проса крупноплодного произвести невозможно, так как вариационные кривые их длины, толщины, удельного веса и скоростей витания в большей или меньшей мере перекрываются. Наиболее эффективный признак для разделения – ширина зерновок риса и проса, поэтому очистку зерновой массы риса от сорняков следует производить на ситах с круглыми отверстиями. Воздушное сепарирование целесообразно применять в комплексе с ситовым. При этом, во избежание уноса основного зерна, скорость воздуха в пневмосепарирующих каналах машин должна находиться в интервале 6,0...5,5 м/с.

Очищать зерновую массу от обрубленных зерен риса рационально на ситах с круглыми отверстиями с последующей обработкой сходя на триерах, разделяющих смесь по длине зерновок. Имеющиеся различия в удельном весе не позволяют полностью извлекать из риса обрубленные риса, поэтому разделение по указанному признаку необходимо производить в сочетании с другими признаками различия.

### **1.3 Анализ технологического процесса первичной очистки риса**

В связи с повсеместным расширением посевных площадей и освоением под рис новых земель особую актуальность приобрел вопрос о чистоте

семян. Во избежание засорения новых земель семенами сорных растений рисосеющие хозяйства должны производить посевы риса только семенами высоких кондиций – не ниже 2 класса..

Однако тщательно очищать посевной материал следует всегда, так как высококачественная подготовка семян – одно из важнейших мероприятий по повышению урожайности.

Сорные растения глушат посевы, способствуют полеганию риса, размножению вредителей и распространению болезней, что в конечном итоге приводит к потере урожая. Одновременно со снижением урожайности возрастает себестоимость производственного зерна, так как засоренные поля требуются чаще обрабатывать. Практика сельскохозяйственного производства показала, что очищенные и отсортированные семена имеют большую всхожесть, позволяют получать посевы с равномерными всходами, а высев крупных и тяжеловесных семян способствует повышению урожайности до 5 ц/га.

На хлебоприемные предприятия ежегодно поступает от рисосеющих хозяйств большое количество семян, которые после соответствующей подготовки выдаются хозяйствам для посева. Но наряду с этим значительная часть их проходит подготовку в хозяйствах, так как хлебоприемные предприятия не в состоянии за короткий срок подготовить в полном объеме семена, необходимые для посева.

Как уже отмечалось, из семян сорных растений основные засорители риса – зерна просянки: просо куриное, рисовое и крупноплодное (курмак). Различные способы борьбы с сорняками в условиях производства риса связаны с большими затратами труда и средств, однако они не обеспечивают полного уничтожения сорняков. Поэтому в зерне риса после уборки еще содержится значительное количество семян этих сорняков.

Однако из основных операций в процессе послеуборочной обработки зерна и подготовки семян риса к посеву – очистка. Нашей промышленностью не выпускаются специальные рисоочистительные машины, поэтому в

рисосеющих хозяйствах и на хлебоприемных предприятиях для этого используются существующие зерноочистительные машины, предназначенные для очистки пшеницы и других зерновых культур.

Практика очистки и испытания, проведенные в хозяйствах и на хлебоприемных предприятиях, показывает, что фактическая производительность машин при очистке зерна риса в 10 или более раз ниже паспортной, а извлечение примесей оказывается довольно низким. Такое положение следует отнести за счет значительных отличий физико-механических свойств зерна риса от свойств других культур.

Среди зерновых культур рис отличается повышенными фрикционными свойствами, для некоторых его разновидностей характерны ости. Этим обусловлена меньшая подвижность, способность к самосортированию зерновой массы риса и то, что при одинаковых условиях процесс сепарирования риса, по сравнению с другими культурами, протекает менее эффективно.

При послеуборочной обработке зерна риса и подготовке семян наибольшую трудность представляет извлечение проса крупноплодного, так как некоторые его физико-механические свойства близки к соответствующим характеристикам риса. Кроме того, ости курмака затрудняют процесс самосортирования зерновой смеси и прохождение его через отверстия сит сепарирующих машин.

Низкая производительность зерноочистительных машин, недостаточный эффект извлечения примесей приводит к необходимости многократного пропуска зерна через машины и созданию в рисосеющих хозяйствах и на хлебоприемных предприятиях громоздких и сложных технологических линий для очистки семенного и продовольственного зерна риса. При очистке на таких линиях не исключается возможность снижения продовольственных и семенных качеств риса из-за травмирования зерен рабочими органами машин.

Способы, применяемые в практике очистки и сортирования семян риса, можно подразделить на мокрые и сухие. Мокрые связаны с применением для разделения зерна и примесей специальных растворов солей или воды, при сухих очистка зерна производится на различных зерноочистительных машинах без его увлажнения.

Известен ряд устройств для очистки зерна риса мокрым способом, однако в связи с необходимостью последующей сушки зерна, малой производительностью устройств, недостаточной эффективностью очистки и большой трудоемкостью широкого распространения в нашей стране они не получили.

Принцип разделения в растворах основан на использовании различий в удельном весе зерен риса и примесей. При очистке риса от курмака семена погружают в раствор с определенным удельным весом и тщательно перемешивают. Зерна риса, имеющие удельный вес больший, чем курмак и сам раствор, тонут. Курмак и щуплые зерна риса, удельный вес которых меньше удельного веса раствора, всплывают на поверхность. После удаления всплывших зерен в растворе остаются несколько очищенные, которые следует периодически выбирать.

Для приготовления растворов используют поваренную соль, сульфат аммония или аммиачную селитру. При очистке семян в растворах поваренной соли отобранные семена необходимо тщательно промывать водой, так как хлор оказывает отрицательное влияние на их всхожесть. Обычно же применяют растворы азотных удобрений – сульфата аммония и аммиачной селитры. По опытным данным, оптимальная концентрация растворов удобрений для очистки семян риса от курмака  $1,146 \text{ г/см}^3$ . Однако она может меняться в зависимости от физических свойств и сорта обрабатываемых семян, так как процентное распределение по удельному весу семян разных сортов риса неодинаково. При многократном использовании раствора плотность его понижается, поэтому после 3-4

кратного применения ее проверяют. Очищенные семена после 2-3 часовой просушки можно отправлять для посева.

Чтобы получить раствор плотностью  $1,146 \text{ г/см}^3$ , необходимо в каждом 100 л воды растворить 29,9 кг сульфата аммония или 30,8 кг аммиачной селитры.

В некоторых рисосеющих хозяйствах Украины и Казахстана для разделения семян в растворах были изготовлены устройства по схеме, представленной на рисунке 1.3.

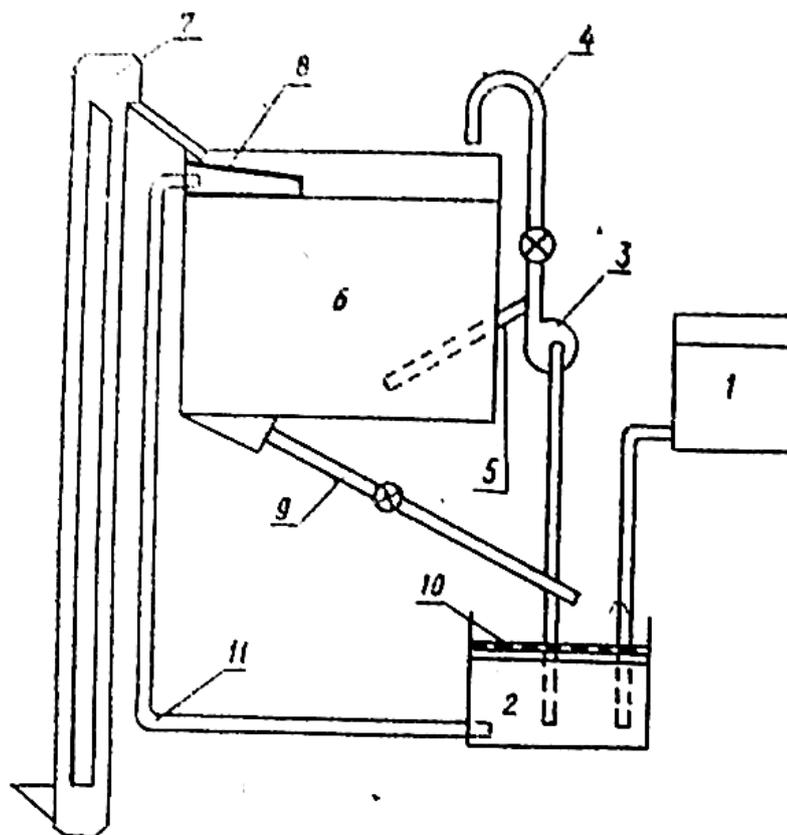


Рисунок 1.3– Схема устройства для разделения риса и курмака в растворах

Раствор определенной концентрации из бака 1 подается в бак 2, из которого насосом 3 по трубопроводам 4 или 5 перекачивается в бак для разделения семян. Для улучшения распределения семян в растворе на уровне его бака 6 установлена наклонная решетка 8. Опустившиеся на дно бака очищенные семена риса по трубопроводу 9 периодически выгружаются на сито 10. На этом сите они частично освобождаются от раствора, а в

дальнейшем направляются на просушку. Для лучшего перемещения семян в баке 6 в процессе очистки раствор подается насосом 3 по трубопроводу 5, установленному под определенным углом. Избыток раствора из бака 6 переливается в бак 2 по трубопроводу 11.

Производительность такого устройства – 550 кг/ч, расход раствора – 25 л на 100 кг семян, количество обслуживающих – 4...6 человек.

В целях сокращения трудовых затрат, повышения производительности и улучшения условий сушки зерна проведены исследования по совершенствованию этого процесса, в результате которого были предложены принципиальные схемы процесса сортирования семян по удельному весу в жидкостях с последующим удалением жидкости центрифугированием семян и подводом подогретого теплоносителя для их сушки.

Для выявления эффекта очистки семян риса от курмака по удельному весу в концентрированных растворах Казахской рисовой опытной станцией проводились специальные опыты, в результате которых было установлено, что растворами удаляются только те семена курмака, которые имеют одну или две колосковые чешуи (с остями или без остей). Семена, лишенные обеих колосковых чешуй и остей, полностью не удаляются даже в 25%-ном растворе. Поэтому было рекомендовано частично очищенные в растворе семена риса после промывки и просушки пропускать 1-2 раза через воздушно-ситовую зерноочистительную машину для извлечения оставшихся зерен курмака. О невозможности четкого разделения зерен риса и курмака по признаку удельного веса свидетельствуют полигоны распределения этих компонентов по удельному весу.

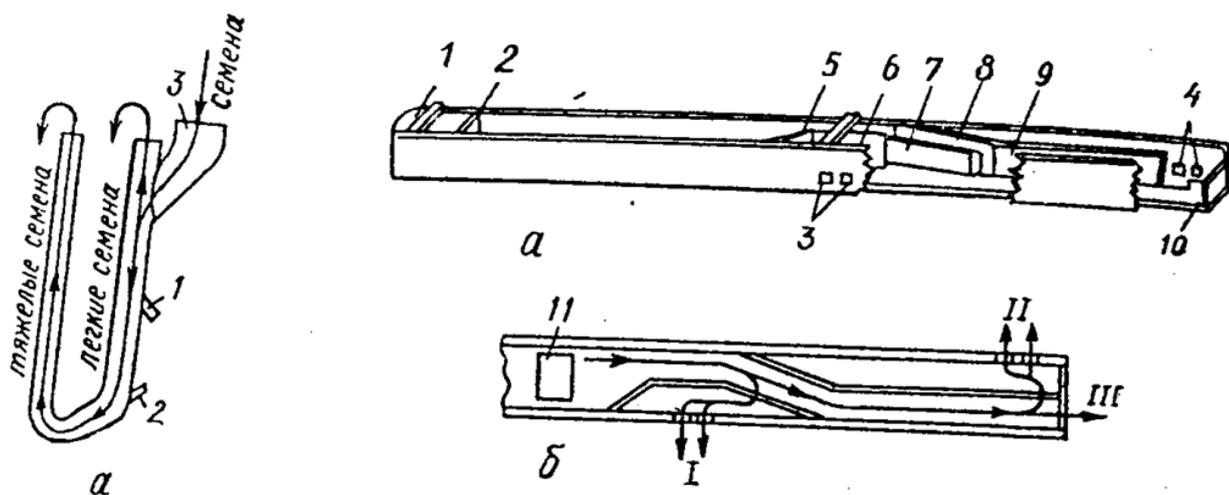
Существуют и другие способы разделения семян риса и курмака по удельному весу, основанные на использовании различий в скоростях падения в воде частиц с различным удельным весом: чем больше удельный вес частицы, тем больше скорость падения ее в воде.

Если зерно или другую частицу зерновой смеси погрузить в вертикальный восходящий поток воды, то скорость его падения будет равна

разности между скоростью падения зерна в спокойной воде и скоростью потока. В зависимости от величины этих скоростей зерно будет двигаться вниз или вверх. Можно подобрать такую скорость восходящего потока воды, при которой одни частицы зерновой смеси будут опускаться, а другие выноситься потоком вверх.

По этому принципу можно разделять зерновые смеси и в горизонтальном потоке воды. При этом частицы, отличающиеся удельным весом, опускают на дно потока на различных расстояниях от места разгрузки материала. Величина этого рассеивания зависит от удельного веса частиц и скорости потока.

Для разделения семян риса и курмака в потоке воды предложены водоструйные сепараторы с вертикальным и горизонтальным потоками (рисунок 1.4а и б).



а – с вертикальным потоком воды; б – с горизонтальным потоком воды

Рисунок 1.4 – Водоструйные сепараторы

Водоструйный сепаратор для разделения зерновой смеси в вертикальном потоке воды (рисунок 1.4а) представляет собой U-образную трубу, в одном из колен которой создается направленный вверх с определенной скоростью поток воды путем подачи ее через патрубок 1. Семенной материал загружается через воронку 3. Курмаки легкие примеси выносятся потоком на поверхность и стекают по желобу; тяжелые семена падают вниз.

Выгружаются семена из трубы через второе колено потоком воды, подаваемой через патрубок 2.

Водоструйный сепаратор для разделения зерновой смеси в горизонтальном потоке воды (рисунок 1.4 б) представляет собой деревянный лоток длиной 4,5 м, шириной 350 мм и высотой 200 мм. На одном конце лотка устроена задвижка 1 для впуска воды. За задвижкой на расстоянии 300 мм установлена проволочная сетка 2 для задержания крупных примесей, попадающих в лоток с водой. На правой стенке сделаны два отверстия 3, примерно на середине потока; на левой – два отверстия 4 у входного конца. Через эти отверстия выносятся водой из лотка осевшие на дно семена. Отверстия закрывают заслонками. Перед отверстиями изнутри перегородками 5-9 устроены заградительные камеры, которые не пропускают к отверстиям верхние слои воды: нижние вместе с осевшими на дно семенами попадают в заградительные камеры через щелевидные отверстия, сделанные под перегородками 7 и 9. Поперечная сетка 10 несколько ниже других сеток лотка. Через нее вытекают наружу верхние слои водяного потока вместе со всплывшими семенами курмака, щуплыми зернами и другими примесями. Зерно загружается в сепаратор через засыпной ковш 11, который устанавливается над лотком перед первой заградительной камерой. Семена из засыпного ковша должны поступать ровной струей с высоты 200...250 мм от поверхности воды.

Сепаратор размещается у арыка или другого источника воды. Примыкающий к источнику передний (входной) конец лотка устанавливается так, чтобы дно его было на 120...150 мм ниже уровня в арыке, задний крепится на вбитых в землю деревянных подставках. Дно лотка должно быть горизонтальным. Выходящие из лотка фракции принимаются в ведра с сетчатым дном или корзины. Производительность такого сепаратора – 120...200 кг/ч.

Для разделения компонентов зерновых смесей по удельному весу разработаны и другие, более сложные, гидравлические машины и аппараты, однако в практике очистки риса – зерна они применения не нашли.

Следует, однако, отметить, что мокрые способы, не найдя значительного применения для очистки зерна, получили довольно широкое распространение в технологии предпосевной обработки семян с целью повышения их полевой всхожести. Например, по данным лаборатории микробиологии КазНИИ земледелия и Каратальского опытного поля, предпосевная обработка семян риса 30%-ным раствором сульфата аммония повышает полевую всхожесть семян на 14,1%, а урожайность – 3 ц/га.

В рисосеющих хозяйствах и на хлебоприемных предприятиях семенное и продовольственное рис-зерно очищают главным образом на отдельных или нескольких зерноочистительных машинах, из которых комплектуют постоянные или временные очистительные линии. В основном применяют воздушно – ситовые зерноочистительные машины, в которых компоненты зерновой смеси разделяют по их линейным размерам и аэродинамическим свойствам. К ним относятся стационарные и передвижные машины, типов ЗСМ-50, ЗСМ-20, СВУ-5, ЗВС-10, ЗВС-20, ОВС-10, ОВП-20, ОВС-25 и другие. Для очистки семенного риса используют также специальные комбинированные семяочистительные машины (ОС-3, ОСМ-3У, ОС- 4,5 и другие), обеспечивающие наряду с воздушно-ситовой обработкой окончательную очистку семян на цилиндрических триерах. В последние годы спроектированы и создаются семяобработывающие комплексы, в состав которых входят и пневматические сортировальные столы, разделяющие зерновые смеси по ряду физико-механических свойств. Находят применение также специальные семяочистительные агрегаты и установки зарубежных фирм.

На хлебоприемных предприятиях семенной рис очищают в основном на временных линиях, которые создаются в период подготовки семян и комплектуются из нескольких зерноочистительных машин. По количеству и

маркам применяемых машин линии отличаются большим разнообразием. Наряду с серийно выпускаемыми машинами отдельные предприятия используют в этих линиях машины и устройства собственного изготовления – плоские колеблющиеся сита, горки и другие.

Необходимость включения в линию нескольких машин вызывается тем, что ни одни из существующих не обеспечивает полного извлечения примесей, главным образом курмака, за один пропуск.

По данным Кызылординской рисовой опытной станции, даже при 3-4 кратном пропуске семян через зерноочистительную машину ОС-4,5 и снижении ее производительности до 700 кг/ч невозможно полностью очистить их от курмака. Аналогичные результаты по технологической эффективности отдельных машин и линий были получены Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан при проведении контрольной очистки семян на хлебоприемных предприятиях Кызылординской области (таблица 1.3). Из указанной таблицы видно, что сепаратор ЗСМ – 50, имеющий паспортную производительность на очистке пшеницы 50 т/ч, не обеспечивает полное выделение курмака из риса и при практической производительности 1,52 т/ч. Несколько лучшие результаты очистки на этом сепараторе, по сравнению на семяочистительной машине ОС – 4,5, следует отнести за счет большой суммарной поверхности его сит.

Не в состоянии полностью извлечь курмак и две-три машины, установленные в линиях, особенно если производительность линий превышает 1 т/ч, а содержание курмака в зерне до очистки достигает 1000 шт. на 1 кг.

Так, по линии, составленной из двух агрегатов ЗА-40, для доведения качества семян до норм 3-го класса, при производительности линий 2,9 т/ч, потребовалось пропустить зерно два раза. Поэтому в целях получения семян высоких кондиций по чистоте требуется двойной и даже тройной пропуск семенного материала через машины линий.

Таблица 1.3 –Результаты очистки семян зерна

Хлебоприемные предприятия	Машины и состав семяочистительных линий	Содержание курмака, шт/кг		Качество очищенных семян	Количество пропусков	Производительность, т/ч
		доочистки	После очистки			
Казалинский приемный пункт	ОС – 4,5	186	58	3 кл.	1	0,7
Кызылординский приемный пункт	ОС – 4,5	154	53	3 кл.	1	0,7
Чилийский приемный пункт	ЗСМ – 50	181	17	2 кл.	1	1,52
Теренозекский приемный пункт	Линия: ОС - 4,5 – 3 шт	900	38	2 кл.	1	1,24
	Линия: ЗА – 40 – 2 шт	880	До 100	3 кл.	2	2,9
Джалагаский приемный пункт	Линия: 1. ОВП - 10 2. Плоское сито пл. 5 м <sup>2</sup> 3. ОС – 4,5	250	До 40	2 кл.	1	1,2

Очистка на временных линиях связана со значительными затратами ручного труда, потерями семян и необходимостью располагать большими крытыми площадями для расстановки цепочки машин и транспортных механизмов. В связи с этим в хозяйствах и на хлебоприемных предприятиях создаются постоянные семяочистительные линии и цеха, оборудованные стационарными зерноочистительными машинами.

В Кызылординских приемных пунктах рисоводческих хозяйствах построена стационарная семяочистительная линия, в состав которой входят три сепаратора ЗСМ – 50 и плоское сито собственного изготовления, совершающее круговое поступательное движение (число оборотов 130 в минуту, амплитуда 40 мм). Зерно очищают, последовательно пропуская его через все зерноочистительные машины. За один пропуск качество семян по содержанию курмака доводится до норм 2-го класса при производительности линии 1,0...1,5 т/ч.

В некоторых рисосеющих хозяйствах страны семенной рис очищают на механизированных поточных линиях «Воронежсельмаш», осуществляющих

последовательную обработку его на трех машинах: ЗВС-20, СВУ-5 и триера ВТ-5. В зависимости от первичной засоренности при очистке семян до 1-го класса производительность линии находится в пределах 0,8...1,2 т/ч.

Аналогичным образом очищают семена на зерноочистительном агрегате ЗАР-5, состоящем из зерноочистительной машины ЗВС-20, двух зерноочистительных машин СВУ-5, двух триерных блоков ВТ-5, трех норий 2ТКН-10, комплекта зернопроводов и другого вспомогательного оборудования. Агрегат комплектуется набором сит с отверстиями круглой и продолговатой формы, которые позволяют очищать зерно различных культур от семян сорных растений, а также триерными цилиндрами. Размер ячеек триерных цилиндров выбирают в зависимости от обрабатываемой культуры. Агрегаты ЗАР-5 и аналогичные им по технологии обработки комплексы машин КЗР-2,5, КЗР-5 и КЗР-5С получили широкое распространение в рисосеющих хозяйствах южных областей Республики Казахстан.

Для очистки семян риса также применяются агрегаты ЗАВ – 40, каждый из которых представляет комплект зерноочистительных машин и другого оборудования, смонтированных в технологическую линию и объединенных электрической схемой блокировки и сигнализации. Агрегат включает две воздушно – ситовые зерноочистительные машины ЗВС-20, два центробежно-пневматических сепаратора ЦПС-20 и два триерных блока ЗАВ-109000.

Зерно после очистки на воздушно-ситовых машинах ЗВС-20 направляют в центробежно-пневматические сепараторы, в которых сортируется на три фракции: очищенное, промежуточная фракция и отходы. Промежуточная в последующем обрабатывается на триерных блоках. На машинах ЗВС-20 устанавливают следующие сита: для выделения крупных примесей (Б1 и Б2) с продолговатыми отверстиями шириной 2,8-3,0 и 3,25-3,5 мм, подсевное – (В) с круглыми отверстиями диаметром 3,5 мм, сортировальное – (Г) с продолговатыми отверстиями шириной 2,0-2,2 мм. Диаметр ячеек триеров для выделения коротких примесей – 6,3 мм, длинных примесей – 11,2 мм. Получение семян 2-го класса обеспечивается при выходе 74,3...80,4%, по

отношению к исходному материалу и производительности агрегата 3,4...8,4 т/ч.

Для подготовки высококачественного посевного материала в имеющихся инструктивно – методических указаниях рекомендуется производить послеуборочную обработку семян риса по принципиальной схеме, представленной на рисунке 1.5.

Согласно этой схеме семена вначале подвергаются первичной обработке на воздушно – ситовой зерноочистительной машине 1, в качестве которой можно применять ЗВС-10, ОВП-20, «Вибрант» К-521 или другие. После предварительной очистки их направляют в бункеры активного вентилирования 2, а далее, в зависимости от состояния по влажности, - на зерносушилку 3 и в промежуточный бункер 4 для частично просушенного зерна. После просушки семена поступают на вторую воздушно – ситовую машину 5 для извлечения из них различных примесей, а также мелкого и щуплого зерна. Семена, не требующие сушки, идут на вторичную очистку, минуя зерносушилку 3 и бункер 4.

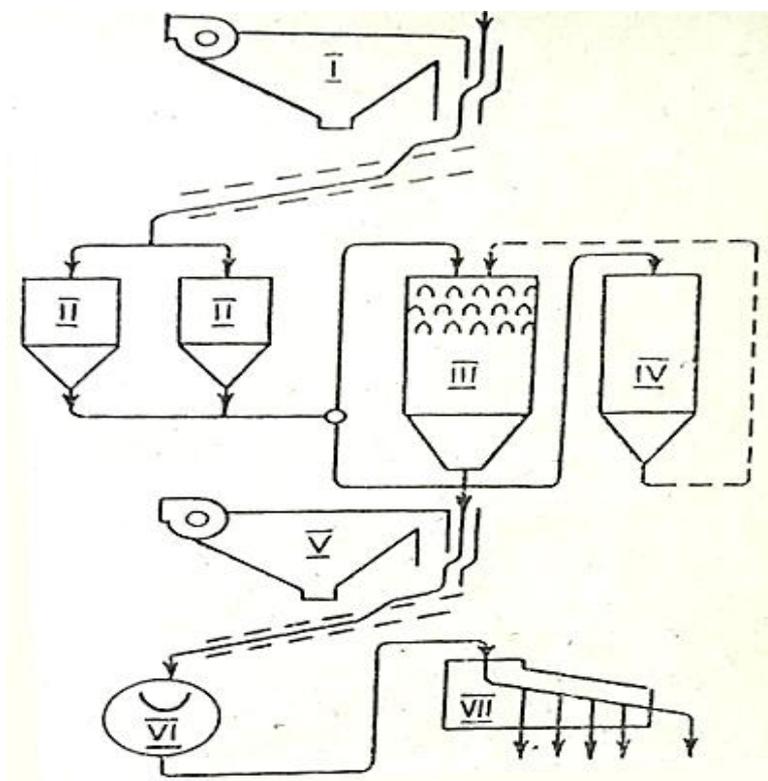


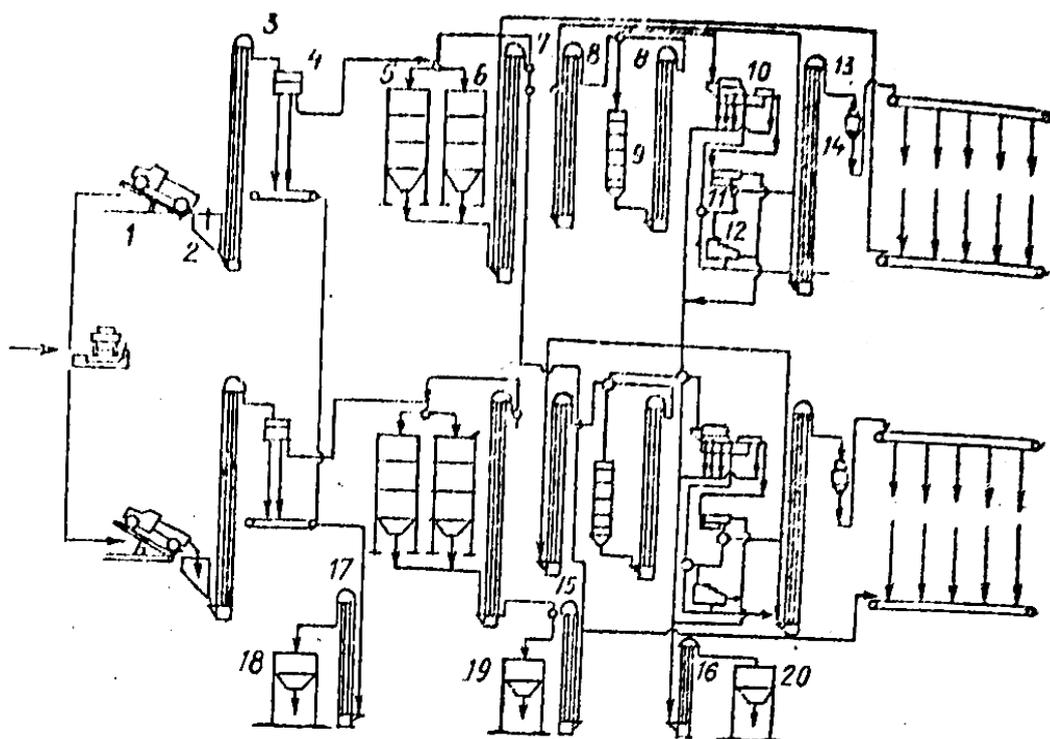
Рисунок 1.5 – Принципиальная схема послеуборочной обработки семян риса

Вторичную очистку рекомендуют осуществлять на воздушно – ситовых машинах типа ОС-4,5, ОСМ-3У, СВУ-5, «Петкус-гигант» К-213 и других. В последующем на триере 6 семена очищают от коротких примесей, а на пневматическом сортировальном столе, например ОСП-5, извлекают трудноотделимые примеси – оставшийся курмак, комочки земли и другие, которые не удалось полностью выделить на ситах.

Такая последовательность операций предусмотрена в последних проектах семяочистительных комплексов, разработанных проектными институтами Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан для послеуборочной обработки колосовых культур. Эти проекты могут быть применены и для строительства цехов по обработке семян риса.

По проектам все технологическое, транспортное и весовое оборудование должно размещаться в капитальных зданиях, а обработка семян предусматривается как на отечественном оборудовании, так и на оборудовании зарубежных фирм («Петкус»). Семена, в зависимости от их культуры и сорта, можно обрабатывать на параллельно работающих поточных линиях.

На рисунке 1.6 представлена технологическая схема обработки семян по проекту семяочистительной станции (башни), разработанному ГИ «Промзернопроект». По схеме обработка предусмотрена двумя параллельными потоками на двух технологических линиях, укомплектованных оборудованием, выпускаемым отечественными заводами и зарубежными фирмами (Германия).



1 – автомобилеразгрузчик; 2 – приемный бункер; 3,7,13,15,16,17 – нории; 4 – ворохоочиститель «Вибрант» К-522; 5,6 – вентиляруемые бункера; 8 – двойная нория; 9 – шахтная зерносушилка К- 633; 10 – семяочистительная машина «Петкус Гигант» К- 531; 11 – триерная приставка; 12 – пневмостол БПС или ССП-1,5; 18 – бункер для первичных отходов; 19 – отпускной бункер; 20 – бункер для вторичных отходов.

Рисунок 1.6 – Технологическая схема обработки семян

Каждая линия может выполнять следующие основные операции обработки семян. С автомашины при помощи автомобилеразгрузчика 1 (ГУАР-15) семена разгружаются в приемный бункер 2, из которого норией 3 подаются на ворохоочиститель 4 – «Вибрант» К-522 производительностью 20 т/ч. После предварительной очистки они направляются в два вентиляруемых бункера 5 и 6 («Петкус» К-878), оборудованных вентиляторами и электрокалориферами, в которых, в зависимости от относительной влажности окружающей среды, семена обрабатываются атмосферным или подогретым воздухом. Из вентиляруемых бункеров нориями 7 и 13 они подаются на автоматические весы 14(Д-50) и далее в семенохранилище.

Такая обработка предусматривается в случаях, когда суточное поступление семян превышает производительность поточной линии и они не требуют тщательной очистки или подсушивания.

При необходимости очистки от различных примесей и сушки семян они из вентилируемых бункеров 5 и 6 подаются норией 7 и двойной норией 8 на шахтную зерносушилку 9 (К-633) производительностью 3 т/ч при сьеме влаги с 19 до 14%. Просушенные семена норией 8 подаются для вторичной очистки на семяочистительную машину 10 – «Петкус - Гигант» К-531 производительностью 2,5...3 т/ч. Если в семенах отсутствуют короткие, длинные и трудноотделимые примеси, то их норией 13 через весы 14 и верхний транспортер семенохранилища направляют для размещения в закрома. При наличии коротких, длинных и трудноотделимых примесей семена после сепарирующей машины 10 направляются на триер с приставкой 11 для очистки от коротких и длинных примесей и далее на пневмосортировальный стол 12 (БПС – или ССП-1,5) – для извлечения трудноотделимых. После этого взвешенные семена направляются в семенохранилище. Технологическая схема позволяет направлять семена в хранилище или на отгрузку, исключив любую операцию из процесса обработки – сушку, вторичную очистку и другие (если нет необходимости). Оборудование семяочистительной башни размещается в четырехэтажном здании каркасного типа высотой 15 м.

Наряду с дальнейшим совершенствованием технологии послеуборочной обработки семян в ряде научно – исследовательских учреждений и проектно – конструкторских организаций проводятся работы по изысканию других способов очистки семян риса, созданию новых сепарирующих машин и модернизации существующих.

По результатам исследований был применен способ очистки семян риса с помощью сил электрического поля коронного разряда. Очистка осуществлялась на камерном и двух барабанных сепараторах,

расположенных по вертикали и образующих поточную линию очистки и сортирования семян (рисунок 1.7).

После предварительной очистки от крупных минеральных и органических примесей семена подаются в головной загрузочный бункер, откуда через регулируемую щель с питающим валиком 1 поступают на очистку в поле коронного разряда камерного сепаратора. В этом сепараторе поток зерна разделяется делительными плоскостями 5 на три фракции. Вторая фракция – промежуточная и третья – отходы выводятся за пределы устройства, а первая фракция, содержащая основную часть зерна, проходит последовательную очистку на поверхностях электродов двух барабанных сепараторов. Получаемые при этом промежуточные фракции и отходы объединяются с соответствующими продуктами от камерного сепаратора, а первая фракция после очистки на втором барабанном сепараторе представляет собой очищенные семена риса.

При очистке Лиман 7 влажностью в пределах 12,6...14,5% средняя производительность линии составила 1,5 т/ч.

По результатам очистки, эффективность процесса зависит не только от содержания курмака в исходном материале, но также от размеров его зерен.

Если в массе риса до очистки содержится 3800 шт. различных зерен курмака на 1 кг без учета их размеров, то путем двукратного пропуска зернового материала через линию можно получить семена 2-го класса. Но когда курмак представлен крупными зернами, эффективность извлечения его значительно ниже; за счет двукратного пропуска через оборудование линии содержание его удалось снизить только на 86,2% - с 713 до 98 шт/кг. Следовательно, крупнозерный курмак, который по некоторым показателям физико-механических свойств наиболее приближается к рису, извлекать в электрическом поле коронного разряда достаточно трудно.

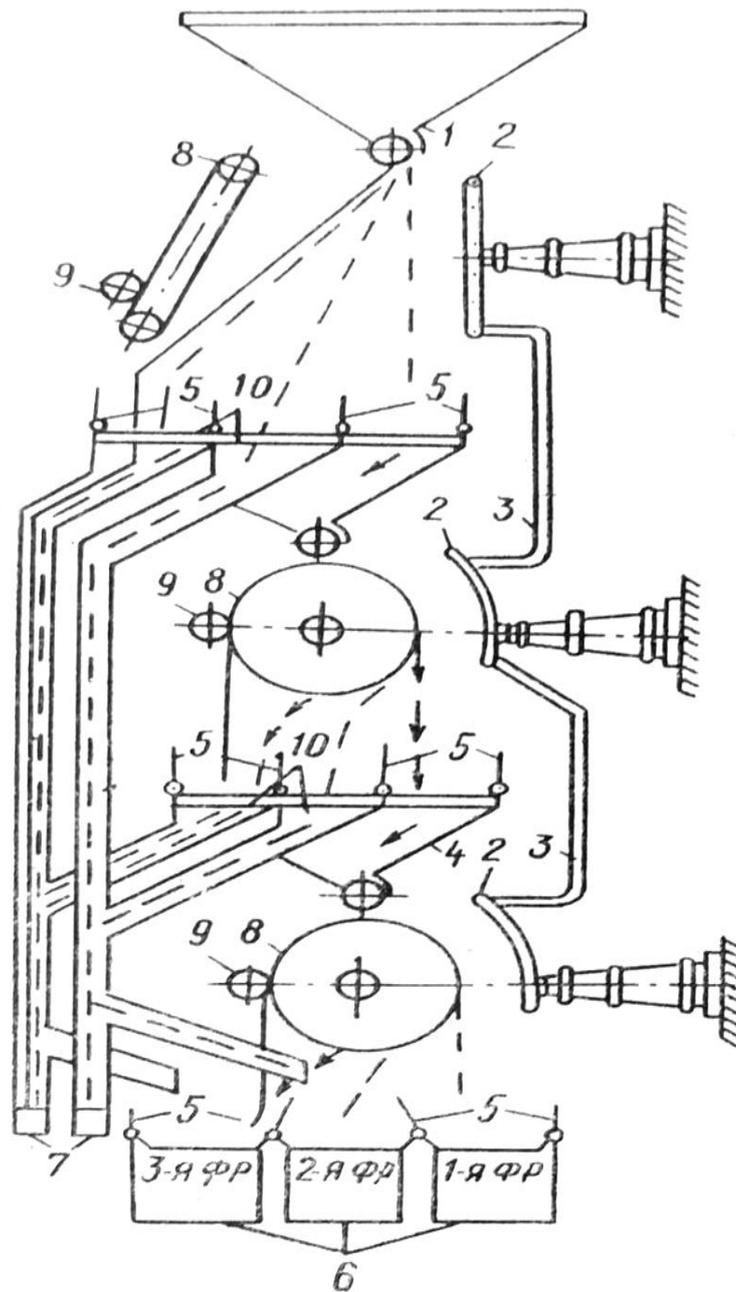


Рисунок 1.7 – Схема электротехнологической поточной линии очистки и сортирования семян риса в поле коронного разряда

В Челябинском институте механизации и электрификации сельского хозяйства проводятся работы в направлении создания машин для очистки риса от курмака на колеблющихся и вибрирующих ситах при одновременном воздействии на зерновой материал электрического поля с целью лучшей ориентации примесей по отношению к отверстиям сита. Однако такие

машины находятся в стадии разработок и на хлебоприемных предприятиях пока не принимаются.

В Харьковском институте механизации и электрификации сельского хозяйства проводились исследования вибрационного метода очистки и сортирования семян риса на зерноочистительной машине с пространственным движением решет (сит).

Машина состоит из станины, на опорной плите которой расположены пружины сжатия. На пружинах установлен вибростол, к которому крепится решетный стан, а снизу – одновальный вибратор с вертикальной осью вращения дисбалансов. Решетный стан представляет собой набор цилиндрических обечаяек, между которыми монтируются круглые решета диаметром 1000 мм. Каждая обечайка имеет выходной патрубок для отвода фракции зерна, идущей сходом. Под каждым решето расположен подситовой конус, предназначенный для сбора прохода и направления его на следующее решето или выходу.

При работе машины инерционные силы дисбалансов вибратора выводят колеблющуюся часть из положения равновесия и решето совершает сложное пространственное движение. Изменяя угол взаимного расположения дисбалансов и другие параметры, можно изменять направленность колебания решет, вследствие чего на горизонтальном расположенном решете вибрационной машины можно получить движение частицы и слоя семян по различным траекториям.

Результаты очистки естественной и искусственно приготовленных смесей риса и курмака на машине с двумя решетками показали, что с увеличением производительности извлечение курмака снижается, однако при производительности 500...600 кг/ч курмак выделяется достаточно эффективно.

Существенный недостаток машин этого типа – возможность установки ограниченного числа решет, так как решета расположенные на разном

удалении от колеблющейся части, работают в разных режимах, что оказывает влияние на технологический процесс.

#### **1.4 Научный обзор для анализа работ параметров агрегатов и комплекса машин для первичной очистки зерна риса**

Ситовое устройство зерноочистительной машины характеризуется определенными параметрами – геометрией, то есть длиной и шириной. Количество ярусов сит, в том числе подсевных, которые иногда называют рабочими ситами, углом наклона сит к горизонту « $\alpha$ », углом направленности колебаний « $\xi$ » (или углом наклона подвесок), частотой колебаний  $n$  мин<sup>-1</sup>, амплитудой колебаний « $g$ » или « $A$ », мм. Во всех зерноочистительных машинах, в том числе и специальных для очистки семян, длина одного ряда сит находится в пределах 1500...1650 мм, ширина сита в ситовой рамке 650...980 мм, угол наклона – 8...11°, угол направленности колебаний – 0° (подвески вертикальные), частота колебаний – 450...500 мин<sup>-1</sup>, амплитуда колебаний – 5...7,5 мм (в основном 5мм).

Процессы, протекающие в слое зерновой смеси при сепарировании ее на ситах зерноочистительных машин, весьма сложны, а отдельные из них еще не изучены. Например, мало изучен даже процесс проникновения частиц сквозь отверстия сит, не говоря уж о таком важнейшем и сложном процессе, как самосортирование компонентов зерновой смеси, без которого невозможно эффективное просеивание частиц на колеблющемся сите.

Известно, что интенсивность процесса самосортирования находится в непосредственной связи с подвижностью продукта на сите. Чем больше подвижность продукта, тем активнее происходит проникновение проходových частиц сквозь толщу слоя продукта. При этом более мелкие, округлые и плотные частицы опускаются на поверхность сита, а более крупные, с развитой поверхностью и меньшей плотностью, оттесняются в направлении от сита к свободной поверхности слоя. В этих условиях каждый

элементарный слой продукта толщиной в одну частицу конечных размеров ведет себя как некое сито, сквозь «отверстия» которого способны проникать частицы смежного элементарного слоя в направлении к поверхности сита (при погружении) или к свободной поверхности слоя (при всплывании), в зависимости от физико-механических свойств частицы и окружающей ее сыпучей среды. Относительные перемещения разнородных частиц внутри подвижного слоя на колеблющемся сите совершаются по очень сложным траекториям, со скоростями и ускорениями, законы которых почти не поддаются точному математическому описанию, а динамика этого процесса еще полностью не раскрыта. Перемещения частиц с проникновением из слоя в слой начинаются с момента поступления зерновой массы на сито.

Следует отметить, что при движении по ситам свойства зерновой смеси не сохраняют постоянства своих значений в результате непрерывного изменения гранулометрического состава смеси. Поэтому, несмотря на совершенно идентичную характеристику сита и его кинематических параметров, независимо от его длины, производительность его на различных участках (по длине) изменяется, так как меняется концентрация проходных частиц в нижнем слое.

Таким образом, при сепарировании зерновых и других сыпучих смесей массовому просеиванию проходных частиц на сите обязательно предшествует и сопутствует процесс самосортирования смеси, главной особенностью которого является перераспределение разнородных частиц смеси внутри слоя, движущегося по поверхности сита. Самосортирование частиц происходит не только по геометрическим признакам, но также по удельному весу, аэродинамическим свойствам (парусности), упругости, фрикционным характеристикам и другим признакам, значения которых для зерновых смесей различных культур неодинаковы, а многие зависят от влажности и непрерывно изменяются при прохождении смеси по ситам. В этом сложность процесса сепарирования и необходимость более полной разработки теории самосортирования как важнейшего этапа сепарирования

сыпучих тел. Аналогичные закономерности характерны и для процесса сепарирования зерна риса.

По результатам проведенных исследований, эффективность процесса сепарирования на плоском сите зависит от большого количества взаимодействующих факторов – частоты и амплитуды колебаний сита, угла наклона его к горизонту, угла направленности колебаний, удельной нагрузки зерновой смеси на сито, гранулометрического состава смеси, размера и формы отверстий сит и других, оптимальные значения для сепарирования зерна различных культур варьируют в широком диапазоне, обусловленном различием физико-механических свойств зерновых смесей. В связи с этим на сите можно осуществить бесконечное множество режимов работы, но обобщить результаты и, тем более, представить их закономерность в виде математических зависимостей пока не представилось возможным.

Совокупность факторов, оказывающих прямое влияние на характер движения зернового материала по ситу, среднюю и относительную скорость его движения, условно называют кинематическими. К ним относят углы наклона и направленности колебаний сита, амплитуду и частоту колебаний, а также максимальное ускорение сита (кинематический фактор)  $\omega^2 \cdot A$ , где  $\omega$  – угловая скорость,  $A$  – амплитуда колебаний.

Многие исследователи пришли к выводу, что технологический эффект очистки зерна от примесей на плоском сите зависит от величины ускорения сита и наилучшие результаты сепарирования различных зерновых культур и сыпучих смесей. Так, при очистке зерна пшеницы и ржи от примесей ускорение сит зерноочистительных машин рекомендуется в пределах  $12,5 \dots 16 \text{ м/с}^2$  при амплитуде колебаний, равной  $0,005 \text{ м}$ ; для гречихи  $13 \dots 16 \text{ м/с}^2$  при амплитуде  $0,0125 \dots 0,0175 \text{ м}$ , для семян подсолнечника  $12,6 \text{ м/с}^2$  при амплитуде  $0,064 \text{ м}$ , для некоторых компонентов комбикормов –  $13,5 \dots 16,5 \text{ м/с}^2$  при амплитуде  $0,0125 \dots 0,015 \text{ м}$ , для трудносыпучего мучнистого сырья –  $20 \dots 23 \text{ м/с}^2$  при амплитуде  $0,02 \dots 0,023 \text{ м}$ , следует заметить, что ускорение сит сепараторов ЗСМ равно  $14,8 \text{ м/с}^2$  при амплитуде колебаний  $0,005 \text{ м}$ .

Технологический эффект очистки « $\eta$ », или эффективность сепарирования, оценивается величиной извлечения проходовой фракции, выраженной в процентах; то есть по отношению веса проходовой фракции « $P_{пр}$ » полученной в результате очистки зерна, к весу той же проходовой фракции « $P_{исх}$ », содержащейся в исходной смеси:

$$\eta = \frac{P_{пр}}{P_{исх}} \quad (1.1)$$

Содержание проходовой фракции в исходной смеси « $P_{исх}$ » обычно определяют путем многократного пропуска по ситы схода небольшой партии зерна до полного высева проходových частиц или же путем технического анализа образцов. Установлено, что при различных сочетания частоты и амплитуды колебаний сита наибольшая полнота проходовой фракции практически остается постоянной и достигает своего максимума при определенной и величине ускорения сита (кинематического фактора  $\omega^2 \cdot A$ ) и, при прочих равных условиях, не зависит от значений отдельных составляющих компонентов – частоты и амплитуды колебаний. Поэтому, зная оптимальное значение частоты колебаний « $n$ » при некоторой амплитуде « $A$ », можно посчитать число колебаний « $n_x$ » для другой заданной амплитуды « $A_x$ » по выражению

$$\frac{n_x}{n} = \sqrt{\frac{A_x}{A}}, \text{ откуда } n_x = n \sqrt{\frac{A_x}{A}} \quad (1.2)$$

или, зная величину оптимального ускорения, можно подобрать необходимые частоту и амплитуду колебаний.

Величина оптимального ускорения сита, а следовательно технологический эффект сепарирования, изменяется в зависимости от производительности (удельной нагрузки на сито), угла наклона сита, направленности колебаний, формы его отверстий.

Под производительностью сита понимается количество зерновой смеси, загружаемой на сито в единицу времени, при оптимальном кинематическом режиме его работы в заданной полноте разделения смеси.

Исследования показывают, что:

- оптимальное значение кинематического фактора (ускорения) повышается с увеличением производительности и уменьшением угла наклона сита, а производительность находится в обратной зависимости от качества его работы;

- в зависимости от ускорения сита скорость перемещения слоя зерна изменяется по закону прямой, следовательно, для получения большой производительности сита целесообразно работать на высоких пределах ускорений, так как производительность пропорциональна скорости;

- каждому значению угла наклона сита или подвесок (направленности колебаний) соответствует определенное значение ускорения; для больших углов наклона сита и подвесок величина ускорения меньше;

- сита с большим наклоном подвесок более чувствительны к изменению частоты вынужденных колебаний и увеличением угла наклона пределы оптимальных ускорений сокращаются; для слоя смеси толщиной до 33 мм при меньшем наклоне подвесок полнота разделения компонентов выше, поэтому следует выбирать такие режимы работы сита, при которых зерно перемещалось бы по его поверхности со скольжением взад и вперед при незначительном подбрасывании, что обеспечивается в условиях наклонного сита с горизонтальной направленности колебаний;

- для сит с круглыми отверстиями величина кинематического фактора в 1,5...2,0 раза ниже, чем для сит с продолговатыми отверстиями;

- сита с круглыми отверстиями работают при более узких пределах оптимальных ускорений и более чувствительны к изменению частоты колебаний, по сравнению с ситами, имеющими продолговатые отверстия;

- для сит с продолговатыми отверстиями производительность уменьшается с увеличением колебаний, а для сит с круглыми отверстиями – увеличиваются, однако, она не зависит от угла наклона сита к горизонту в пределах от 0 до 15°.

Согласно полученным данным, эффективность сепарирования зависит от расположения круглых и длины продолговатых отверстий сита. За счет

правильного расположения круглых отверстий производительность может быть увеличена на 10...13%, а за счет увеличения продолговатых отверстий с 25 до 30 мм –на 7...8%. Круглые отверстия следует располагать так, чтобы две стороны шестиугольника, в вершинах углов и центре которого размещаются отверстия, были расположены поперек направления потока зерна, продолговатые должны располагаться смешанными рядами.

Наряду с вышеуказанными факторами, на технологический эффект сепарирования и производительность ситового устройства существенное влияние оказывают гранулометрический состав исходной зерновой смеси, геометрические размеры ситовой поверхности, толщина слоя материала на сите.

Установлено, что абсолютное содержание мелких примесей (одного и того же) в зерне в пределах до 4% не оказывает влияния на степень выделения их на сите. Наиболее интенсивно примеси просеиваются в начале сита – на первом метре, а суммарная зависимость извлечения от длины сита выражается в виде гиперболической кривой. Эта закономерность сохраняется независимо от изменения кинематических условий, формы и размеров отверстий сита, обрабатываемого материала. В этой связи, как наиболее рациональная, рекомендуется длина сита, равная 1500 мм. Дальнейшее увеличение его длины признано экономически малоэффективным.

Производительность ситового устройства зависит от его ширины. С увеличением ширины сита производительность повышается, так как является произведением ширины сита на удельную нагрузку, выражаемую в килограммах на единицу ширины сита в час (кг/см/ч или кг/дм/ч). В серийно выпускаемых зерноочистительных машинах ширина сит находится в пределах 650...980 мм.

Эффективность сепарирования зернопродуктов при их движении по ситам в значительной мере зависит от толщины сыпучего тела, рассматриваемого как совокупность большого числа частиц. Экспериментальные исследования позволили установить, что интенсивность

просеивания при увеличении толщины слоя продукта вначале повышается, достигая максимального значения при некоторой критической толщине, но дальнейшее увеличение слоя ведет к снижению извлечения. Увеличение массы вышележащих слоев до установленного предела способствует просеиванию, так как удлиняет продолжительность контакта частиц нижнего слоя поверхности сита, ограничивая их движение вверх при отражении от сита; чрезмерное же увеличение толщины сыпучего тела усиливает трение между частицами нижнего слоя, снижая интенсивность их движения через отверстия. Оптимальная толщина сыпучего тела зависит от сепарируемого материала, соотношения масс нижнего слоя и вышележащей его части, критической скорости нижнего слоя и вышележащей его части, критической скорости нижнего слоя и кинематических параметров сита.

Из приведенных результатов следует, что максимальный технологический эффект процесса сепарирования обеспечивается, при прочих равных условиях, некоторым постоянным значением ускорения сита, соответствующим свойствам обрабатываемой смеси и что оптимальное ускорение зависит от нагрузки, угла наклона сита, угла направленности колебаний, формы отверстий сита. Наряду с этим, на эффективность разделения оказывают существенное влияние гранулометрический состав исходной смеси, длина сита и расположение его отверстий, а направленность колебаний оказывается неоднозначной для сит с отверстиями различной формы.

Несмотря на большое количество работ, посвященных исследованию влияния кинематических параметров машин на их технологическую эффективность, нельзя считать эту проблему уже решенной хотя бы потому, что результаты полученные исследователями для смесей одних и тех же зерновых культур, разноречивы, а рекомендованные оптимальные кинематические режимы приемлемы только для такой зерновой смеси, которая использовалась в исследовании. То же относится к математическим зависимостям, полученным эмпирическим путем. Поэтому имеется

множество рекомендаций по выбору оптимальных параметров сепарирования, но все они относятся к определенной культуре и к какой –то одной конкретной зерновой смеси, с которой проводились исследования. Для других смесей в пределах этой же культуры, отличающихся по гранулометрическому составу и содержанию примесей, эти рекомендации не вполне подходяще.

В настоящее время из-за отсутствия аналитических зависимостей, описывающих в достаточной мере процесс сепарирования, оптимальные параметры для каждой зерновой смеси устанавливают путем проведения соответствующих экспериментов. Дальнейшие исследования в области сепарирования с целью более полного раскрытия закономерностей этого процесса и возможного расчета оптимальных параметров для любых зерновых смесей и сыпучих продуктов не экспериментальным, а аналитическим путем актуальны.

При существующем положении многие из имеющихся рекомендаций по применению оптимальных параметров для сепарирования зерновых, масличных культур и других хлебопродуктов не всегда могут быть использованы на практике, так как все сепарирующие машины имеют, по существу, одинаковые и нерегулируемые кинематические параметры, которые невозможно изменять без значительных переделок в самой машине. Следовательно, на данном этапе уже определилась необходимость отказаться от единых кинематических параметров ситовых устройств для сепарирования различных зерновых культур, а также сыпучих продуктов на различных этапах технологического процесса послеуборочной обработки и переработки зерна. То есть требуются зерноочистительные машины с регулируемыми кинематическими параметрами, которые позволили бы изменять кинематический режим в зависимости от зерновой культуры или сыпучего продукта, подлежащих обработке.

Специальных работ по очистке зерна риса проведено сравнительно мало. Такое положение можно объяснить тем, что еще совсем недавно

объемы производства риса в стране были небольшими и для многих районов он являлся по существу новой культурой. Соответственно с этим вопросы очистки риса не имели такой актуальности, какую приобрели за последние годы в связи с резким увеличением его производства и заготовок. Исследования проводились в основном в областях агротехники и селекции риса, а также по изучению его химического состава и технологических показателей. Только отдельные работы были посвящены вопросам очистки. К их числу следует отнести работы профессора А.И. Петrusова, направленные на совершенствование процесса очистки семян риса на зерноочистительных машинах ВИМ – 2Р и ВИМ – СМ – Р, профессора И.А. Майсурия и сотрудников Узбекской рисовой опытной станции, связанные с очисткой и сортированием риса – зерна в водных растворах солей.

Некоторое время круг исследований по сепарированию ограничивался главным образом установлением технологической эффективности различных зерноочистительных машин при очистке риса. Такие работы проведены Кубанской, Узбекской, Кызылординской и другими рисовыми опытными станциями, во ВНИИЗе и его Кубанском филиале, а также машиноиспытательными станциями Министерства сельского хозяйства.

Кубанским филиалом ВНИИЗ, наряду с испытаниями различных сепараторов, были проведены лабораторные исследования с целью подбора сит для очистки риса и установления влияния удельной нагрузки и частоты колебаний на эффективность процесса сепарирования риса на наклонном сите, совершающем возвратно – поступательное движение в условиях параметров сепаратора типа ЗСМ.

Полученные данные по очистке безостого и остистого риса на ситах с круглыми отверстиями показали, что эффективность извлечения примесей из безостого риса Салима выше, чем из остистого, а наилучшие результаты очистки достигаются на сите с отверстиями диаметром 3,5 мм. При первичной обработке зерна для удаления за один пропуск 50...60% примесей удельная нагрузка не должна превышать 17,5 мг/ч на 1 см ширины сита; при

неизменной удельной нагрузке на сито (17,5 кг/см/ч) и прочих постоянных параметрах сепараторов ЗСМ, эффективность извлечений примесей из зерна риса повышается по мере уменьшения частоты колебаний сита.

Это давало основание предполагать целесообразность применения каких то других параметров для очистки риса – зерна, в условиях которых процесс сепарирования может протекать более эффективно, поскольку снижение частоты колебаний сита с 500 до 433 мин<sup>-1</sup> позволило повысить извлечение примесей от 72,3 до 81,5%. Но, как известно, эффективность процесса сепарирования определяется не только частотой колебаний сита, но и рядом других взаимодействующих факторов, например, амплитудой колебаний сита, углами его наклона и направленности колебаний, оптимальное соотношение которых зависит от условий сепарирования и физико-механических свойств разделяемых компонентов смеси. Такое совокупное влияние факторов филиалом не изучалось, поэтому им не были даны конкретные рекомендации по применению оптимальных параметров машин для очистки зерна.

Из-за отсутствия достаточных исследований по выбору оптимальных кинематических режимов сит для очистки зерна риса в существующих конструкциях и многих литературных источниках приводятся лишь некоторые рекомендации по использованию отдельных видов зерноочистительных машин и последовательности установки их в технологических схемах обработки. Для очистки риса рекомендуют применять в основном сита штампованные с круглыми отверстиями. Однако некоторые авторы указывают на целесообразность применения сит с прямоугольными отверстиями, а в практике очистки риса – зерна за рубежом используют также сита металлотканые с квадратными отверстиями и штампованные с отверстиями треугольной формы.

Во ВНИИЗе проводились специальные исследования с целью установления оптимальных значений параметров, рациональных видов движения рабочих органов зерноочистительных машин и выявления

наиболее эффективных конструкций сит применительно к очистке зерна риса. Для получения сравнительных данных о технологической эффективности сит была проведена очистка риса – зерна безостой разновидности сорта Лиман и остистой сорта Акмаржан на ситах штампованных с круглыми отверстиями (диаметром от 2,8 до 3,5 мм), с треугольными отверстиями (размер стороны 4 мм) и на металлотканых сетках со стороной квадратных отверстий в пределах от 2,5 до 3,2 мм. Очистку производили в условиях существующих параметров сепаратора типа ЗСМ (число колебаний в минуту – 500, амплитуда – 5мм, наклон сита - 11°, направленность колебаний - горизонтальная).

Результаты очистки показали, что на всех ситах трудноотделимый засоритель риса – курмак и другие примеси более эффективно извлекаются от безостого риса, а из остистого лучше выделяются обрубленные зерна, особенно при очистке на ситах с отверстиями диаметром 3,5 мм и металлотканых сетках. Последнее объясняется тем, что по ширине обрубленные зерна риса Акмаржан меньше зерен риса Лиман.

Извлечение курмака из риса Лиман в определенных интервалах размеров отверстий сита находится в обратной зависимости от содержания в исходной смеси других проходных компонентов (главным образом обрубленных и битых зерен риса). По мере уменьшения размера круглых отверстий с 3,5 до 3,2 мм и квадратных с 3,2 до 2,5 мм извлечение обрубленных и битых зерен уменьшается, а курмака – увеличивается.

Лучшими по эффективности извлечения примесей оказались металлотканые сетки с квадратными отверстиями, однако при очистке на этих ситах наблюдается более интенсивное забивание отверстий сит компонентами зерновой смеси, а через сито со стороны квадратного отверстия 3,2 мм вместе с примесями уходит нормальное зерно в количестве, превышающем допустимую норму в 1,5... 2,7 раза. Самые низкие результаты очистки получены на сите с треугольными отверстиями.

Из сопоставления данных по извлечению курмака и других примесей, а также с учетом конструктивных особенностей и забиваемости сит можно сделать вывод, что рис – зерно следует очищать на ситах штампованных с круглыми отверстиями диаметром 3,5 мм и 3,2 мм. Первое целесообразно применять при очистке семян и в процессе послеуборочной обработки зерна, когда из риса необходимо извлекать курмак, битые, обрушенные зерна и другие примеси, а сито с отверстиями диаметром 3,2 мм – при очистке семенного зерна риса от курмака. Наряду с указанными ситами для очистки риса могут быть также рекомендованы металлотканые сетки со стороной квадратных отверстий 2,8 мм или 3,2 мм.

При удельной нагрузке в пределах 21- 26 кг/ч на 1 см ширины сита, что соответствует производительности сепаратора ЗСМ-50, равной 5,5...6,5 т/ч эффект извлечения примесей из риса – зерна оказался низким и не превышал 40% даже в случаях его очистки на ситах с отверстиями диаметром 3,5 мм или на металлотканых сетках, что следует отнести за счет специфических свойств риса. Зерновая масса риса, обладая высокими фрикционными свойствами, при очистке или сортировании движется по поверхности сит довольно плотным слоем, а потому прохождение мелких частиц и курмака через слой смеси до прикосновения с ситом затрудняется. В этой связи для повышения эффекта очистки риса – зерна требуется некоторое разрыхление зернового слоя при его движении по ситам с целью создания необходимых условий для интенсивного самосортирования частиц. Проведенные в этом направлении поиски позволили разработать специальные сита с разрыхлителями, применение которых позволяет значительно интенсифицировать процесс очистки риса – зерна.

Сита с разрыхлителями отличаются простотой конструкций могут быть изготовлены в любом хозяйстве или на хлебоприемном предприятии по одному из двух вариантов с разрыхлителями в виде металлических стрежней или с разрыхлителями в виде гофр овальной или треугольной формы, выполненных заодно с ситом.

По первому варианту на всей поверхности обычного сита, например, штампованного с отверстиями диаметром 3,5 мм, закрепляются металлические стержни диаметром 3,5...5,0 мм на расстоянии 70...100 мм один от другого. На ситах, совершающих возвратно-поступательные движения, например, в сепарирующих машинах типа ЗСМ, ЗВС, ОВС, ОС-5 4,5, СВУ-5 и другие, стержни должны располагаться перпендикулярно к направлению движения зерна, а на ситах с круговыми поступательными движениями, например, в сепараторах КЛП, отсевах и другие – параллельно. Закреплять стержни на сите желательно сплошной или прерывистой пайкой, однако, если ситовые рамки имеют продольные ребра жесткости, как в сепараторах типа ЗСМ, закреплять их пайкой не следует, так как при длине стержней, равной ширине ситовой рамки, они будут зажатыми между рамкой и ситовым полотном. В этом случае в ребрах жесткости ситовой рамки, соприкасающихся с ситом (в местах прохождения стержней), необходимо сделать небольшие вырезы высотой, равной диаметру стержней.

По второму варианту разрыхлители выполняются путем нанесения на обычное сито гофр овальной или треугольной формы. Расстояние между гофрами должно быть также в пределах 70...100 мм, высота гофр – 5мм.

Эффект очистки на ситах с разрыхлителями повышается за счет следующего. Частицы зерновой смеси, перемещающиеся по ситам, при встрече с разрыхлителями и на сходе с них занимают вертикальное положение, благодаря чему свободно проходят через отверстия сита. Некоторые частицы отбрасываются назад вверх по ситам и повторно проходят через разрыхлитель, а прошедшие встречают на своем пути последующие разрыхлители. Таким образом, большинство частиц зерновой смеси неоднократно занимает перпендикулярное положение по отношению к поверхности сита, в результате чего вероятность просеивания их значительно повышается. При отбрасывании частиц назад и переходе через разрыхлители зерновой слой интенсивно разрыхляется и равномерно распределяется по поверхности сита, независимо от условий и места подачи зерна на сито. Тем

самым создаются необходимые условия для самосортирования частиц в слое и более эффективно используется рабочая поверхность сита.

Сита с разрыхлителями целесообразно использовать не только в качестве подсевных, но также в качестве сортировочных и разгрузочных.

Оптимальные параметры для сепарирования риса-зерна были установлены по результатам очистки партий риса сортов Лиман и Акмаржан с исходным содержанием примесей в пределах 8,0...9,5%, в том числе сорной – 3,2...3,5% (курмака 2,4...2,7%), зерновой – 4,9...5,3%. Исследования проведены на наклонном сите в условиях возвратно – поступательного движения, а также на наклонном и горизонтальном ситах в условиях кругового поступательного движения, что позволяло моделировать процесс очистки на сепараторах ЗСМ, КДП и сите рассева. При этом для вычисления оптимальных параметров в качестве основных, влияющих на процесс сепарирования факторов, были приняты: частота колебаний сита « $n$ », амплитуда колебаний « $R$ », угол наклона сита к горизонту « $\alpha$ », угол направленности колебаний « $\xi$ » и удельная нагрузка на единицу площади сита « $q$ ». Полученные значения оптимальных метров приведены в таблицах 1.4 и 1.5.

Результаты сепарирования в условиях новых параметров и существующих параметров сепараторов ЗСМ показали, что параметры серийных сепараторов не обеспечивают необходимых условий для очистки риса. Для риса Лиманна и лучшие результаты обработки были получены при ускорении сита  $\varepsilon = 1^\circ$ , угле наклона сита  $\alpha = 12^\circ 30'$ , направленности колебаний  $\xi = 1^\circ$ . Для определения технологического эффекта извлечения курмака (в процентах) в зависимости от ускорения сита рекомендованы эмпирические формулы:

$$a) \text{ при очистке риса Лиман } (\alpha = 12^\circ, \varepsilon = 1^\circ); \quad (1.3)$$

или

(1.4)

б) при очистке риса Акмаржан ( $\alpha=10^\circ$ ,  $\varepsilon=7^\circ$ ):

(1.5)

или

(1.6)

где:  $j=\omega^2R$  – ускорение сита,  $\text{м/с}^2$ ;

$e=2,72$  – основание натурального логарифма.

Таблица 1.4 – Результаты очистки зерна в условиях существующих и оптимальных параметров при возвратно-поступательном движении сит сепаратора ЗСМ-100

Условия сепарирования	Параметры					Скорость движения зерна, м/с	Ускорение сита, м/с	Извлечение, %	
	n, об/мин	R, мм	q, кг/м <sup>2</sup> /ч	$\alpha$ , град	$\xi$ , град			Проходо вой фракции	курмака
Лиман									
Существующие параметры	500	5	2570	11	0	0,24	13,7	27,1	36,1
Оптимальные параметры	270	14	3070	12-13	1	0,23	11,1	46,6	63,4
Акмаржан									
Существующие параметры	500	5	2910	11	0	0,20	13,7	26,4	27,3
Оптимальные параметры	265	12,5	2800	9-10	7	0,14	9,65	44,2	42,4

Между значениями оптимальных параметров для очистки безостого риса (Лиман) и остистого (Акмаржан) имеются некоторые различия, обусловленные отличием сортов по физико-механическим свойствам.

Применение новых параметров позволило повысить извлечение компонентов примесей и увеличить удельную нагрузку на единицу площади сита в 1,6...1,7 раза, сравнительно с результатами очистки в условиях параметров сепаратора ЗСМ – 100.

Для определения технологического эффекта извлечения курмака из риса Лиман, в зависимости от удельной нагрузки на сито, получена следующая эмпирическая формула:

$$\eta = 2 \cdot 10^5 \cdot q^{-1,05} \quad (1.7)$$

где,  $\eta$  - технологический эффект очистки, %

$q$  – удельная нагрузка на сито, кг/м<sup>2</sup>/ч.

Задавшись величиной технологического эффекта извлечения курмака, по указанной формуле можно также определить величину удельной нагрузки на сито и, соответственно, производительность принятой зерноочистительной машины, при которой будет получена требуемая степень очистки зерна.

В условиях оптимальных параметров извлечение курмака из риса Акмаржан несколько ниже, чем из Лиман, при практически одинаковым извлечении других компонентов, но обрушенные зерна из сорта Акмаржан выделяются лучше.

В таблице 1.5 приведены некоторые результаты очистки риса Лиман в условиях новых параметров на сите с диаметром отверстий 3,5 мм с разрыхлителями.

Таблица 1.5 – Эффективность извлечения примесей из зерна риса Лиман на сите с разрыхлителями при скорости движения зерна 0,14 м/с.

Удельная нагрузка кг/м <sup>2</sup> /ч	Извлечение компонентов проходовой фракции, %		
	Всех примесей	в том числе	
		курмака	Обрушенных зерен
2470	95,7	84,5	98,0
2830	90,7	80,6	95,0
4670	67,4	59,7	83,0

Из данных таблицы следует, что применение разрыхлителей позволяет значительно повысить удельную нагрузку на сито и извлечение всех компонентов проходовой фракции, особенно обрушенных зерен риса. При новом кинематическом режиме на сите, оборудованном разрыхлителями,

67...69% примесей извлекается при удельной нагрузке 4200...4500 кг/м<sup>2</sup>/ч, или при 42...45 кг/ч на 1 см ширины сита. В условиях существующих параметров сепаратора ЗСМ 50...60% примесей извлекается только при нагрузке 17,5 кг/см<sup>2</sup>/ч.

На ситах с разрыхлителями скорость движения зерновой смеси по ситы снижается до 0,12...0,14 м/с против 0,23...0,24 м/с на обыкновенных ситах.

Для сравнения эффективности применения найденных параметров и сит с разрыхлителями были проведены опыты по извлечению курмака из риса Лиман и Акмаржан путем многократного пропуска зерновых смесей по ситы с отверстиями диаметром 3,5 мм. На основании опытов обнаружено, что по мере прохождения зерновой смеси по ситам концентрация курмака в зерне изменяется по гиперболическим кривым. Для определения содержания курмака (К) при различных условиях сепарирования и длине прохождения зерновой массы риса по подсевным ситам на сепараторе ЗСМ получены следующие эмпирические формулы:

Лиман

$$K=1,91*e^{-0,22l},\% \text{ (существующие параметры)} \quad (1.7)$$

$$K=2,12*e^{-0,45l},\% \text{ (оптимальные параметры)} \quad (1.8)$$

Акмаржан

$$K=1,08*e^{-0,17l},\% \text{ (существующие параметры)} \quad (1.9)$$

$$K=1,54*e^{-0,4l},\% \text{ (оптимальные параметры)} \quad (1.10)$$

где,  $l$  – суммарная длина сит, м;

$e$  – 2,72 –основание натурального логарифма.

Исследования показали, что если в зерновой примеси содержится до 2,5% курмака, то извлечение его 1 м длины подсевного сита примерно одинаково и не зависит от содержания его в исходной смеси, поступающей на сито. В условиях существующих параметров сепаратора ЗСМ извлечение курмака на каждом погонном метре сите, при удельной нагрузке 20 – 28 кг/ч на 1 см ширины находится в пределах 20...24%, а в условиях оптимальных параметров – 34...42%.

По формулам 1.7 – 1.10 можно определить необходимую суммарную длину сит зерноочистительных машин при очистке риса от курмака, исходя из условий сепарирования и требуемых результатов очистки (при удельной нагрузке 25 кг/см/ч и содержании курмака в зерне до 2,6%). Так, для снижения содержания курмака в рисе с 2,5 до 0,2...0,3% в условиях существующего кинематического режима сепаратора ЗСМ зерно должно пройти по подсевным ситам этих машин путь не менее 9...10 м. Примерно так обстоит дело в зерноочистительных крупозаводах при очистке зерна риса от курмака.

Результаты сепарирования и значения оптимальных параметров для очистки риса Лиман и Акмаржан в условиях кругового поступательного движения сита приведены в таблице 1.6.

Согласно полученным данным, существующие параметры сепаратора КДП-100 и отсева ЗРШ также отличаются от оптимальных. Наилучшие результаты сепарирования получены при ускорениях наклонного сита  $6,0 \text{ м/с}^2$  и горизонтального  $5,4...5,5 \text{ м/с}^2$ , в то время как ускорения сит сепаратора КДП-100 и отсева ЗРШ находятся в пределах  $14,2...15,8 \text{ м/с}^2$ . За счет применения оптимального кинематического режима извлечение курмака и других компонентов проходовой фракции на наклонном сите увеличилось в 2,1 раза по сравнению с результатами сепарирования в условиях существующих параметров сепаратора КДП-100, на горизонтальном – в 1,6 раза по сравнению с эффектом очистки в условиях параметров отсева ЗРШ.

При круговом поступательном движении (на ситах наклонном и горизонтальном) извлечение примесей ниже, чем при возвратно – поступательном. Как и при возвратно – поступательном движении сита, извлечение курмака из безостого риса Лиман выше, чем из остистого Акмаржан. При круговом поступательном движении на наклонном сите с отверстиями диаметром 3,5 мм из риса Лиман 80...82% курмака извлекается при удельной нагрузке  $1200 \text{ кг/м}^2/\text{ч}$ , а при возвратно – поступательном движении сита –  $1900 – 2000 \text{ кг/м}^2/\text{ч}$ .

Таблица 1.6 – Результаты очистки риса – зерна в условиях кругового поступательного движения сита

Условия сепарирования	Параметры				Скорость движения зерна, м/с	Ускорение сита, м/с	Извлечение, %	
	n, об/мин	R, мм	q, кг/м <sup>2</sup> /ч	α, град			Проходовой фракции	курмака
Сито наклонное								
Лиман Сепаратор КДП - 100	190	40	3000	4°00'	0,21	15,8	8,7	1,0
Оптимальные параметры Акмаржан	190	15	3090	4°40'	0,14	6,0	18,4	32,0
Оптимальные параметры	190	15	3060	4°40'	0,08	6,0	17,1	23,0
Сито горизонтальное								
Лиман Рассев ЗРШ	180	40	1750	-	0,06	14,2	16,6	27,9
Оптимальные параметры	140	25	1535	-	0,04	5,46	26,7	43,7

Аналогичное положение имеет место при очистке на ситах с разрыхлителями. В условиях кругового поступательного движения на этих ситах 80% курмака извлекается при нагрузке 1500 кг/м<sup>2</sup>/ч, что примерно в 1,5 раза ниже, чем в условиях возвратно – поступательного движения.

Следует отметить, что при круговом движении извлечение примесей на горизонтальном сите несколько ниже, чем на наклонном.

Следовательно, для очистки риса на хлебоприемных предприятиях целесообразно применять сепарирующие машины с возвратно – поступательным движением сит после соответствующей реконструкции приводных механизмов, обеспечивающей возможность установки новых кинематических параметров.

Для машин с круговым поступательным движением сита, переведенных на оптимальный режим очистки, извлечение курмака в зависимости от

ускорения сита и удельной нагрузки может быть определено по следующим эмпирическим формулам:

а) от ускорения

$$\eta = 15,6j e^{-0,18j}, \% \text{ (сито наклонное)} \quad (1.11)$$

$$\eta = 2,2j e^{-0,2j}, \% \text{ (сито горизонтальное)} \quad (1.12)$$

б) от удельной нагрузки

$$\eta = 290,9 - 31,56 \ln q, \% \text{ (сито наклонное)} \quad (1.13)$$

$$\eta = 204,5 - 22,5 \ln q, \% \text{ (сито горизонтальное)} \quad (1.14)$$

где,  $\eta$  - технологический эффект очистки, %;

$j$  -  $\omega^2 R$  – ускорение сита,  $m/c^2$ ;

$q$  – удельная нагрузка на сито,  $kg/m^2/ч$ ;

$\ln$  – натуральный логарифм.

Из данных таблицы 1.6 видно, что при круговом поступательном движении для очистки зерна риса более эффективны сита металлотканые с квадратными отверстиями размерами сторон 3,2x3,2 и 2,8x2,8 мм. При оптимальном режиме на сите со стороной квадрата 3,2 мм при удельной нагрузке 2160  $kg/m^2/ч$  извлекается 50% примесей, в том числе 55% всего курмака и 36% всех обрушенных зерен. Поэтому такие сита могут быть достаточно эффективными при установке их на рассевы в условиях крупозаводов.

Аналогичные результаты по выделению курмака получены на сите с отверстиями 2,8x2,8 мм, но эффект извлечения обрушенных зерен риса оказывается в два раза ниже, чем на сите 3,2x3,2 мм. Следовательно, первое сито целесообразно применять только при очистке риса от курмака. Установка разрыхлителей на сито с отверстиями 2,8x2,8 мм улучшает результаты сепарирования, приближая их к полученным на сите с отверстиями 3,2x3,2 мм без разрыхлителей.

Таблица 1.7 – Эффективность очистки риса Лиман на ситах при круговом поступательном движении

Сито	Размер отверстий, мм Нагрузка кг/м <sup>2</sup> /ч		Извлечение примесей, %					Содержание нормального зерна в отходах %
			сорная			зерновая		
			общая	всего	В т. ч. курмак	всего	в т. ч. обрушение зерен	
Штампованные с круглыми отверстиями диаметром	4,0	2880	68,4	66,0	63,6	70,3	58,3	11,5
	3,5	2630	24,8	35,4	33,4	16,4	7,4	0,12
	3,2	2630	23,2	40,2	39,8	8,3	2,4	0,11
Металлотканое со стороной квадратного отверстия	3,2	2760	50,3	56,0	54,8	45,5	35,6	1,41
	2,8	2730	42,2	55,2	52,8	29,8	17,2	0,67
	2,5	2270	27,3	43,3	40,9	15,0	5,8	0,05
Металлотканое с разрыхлителями квадратного отверстия	2,8	2230	42,2	53,5	52,8	41,6	34,6	1,73

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что параметры существующих зерноочистительных машин не соответствуют оптимальным условиям обработки зерна риса. При использовании их для очистки зерна риса необходимо произвести существующую модернизацию машин с целью достижения оптимальных параметров.

В условиях возвратно-поступательного движения необходимо применять сита с круглыми отверстиями диаметром 3,5мм и 3,2 мм, а при круговом поступательном движении – металлотканые с квадратными отверстиями размером 3,2x3,2 мм и 2,8x2,8 мм. В том и другом случаях целесообразно применять сита с разрыхлителями.

Так как размеры зерен риса несколько варьируют в зависимости от сорта и почвенно-климатических условий произрастания, необходимо подбирать

размеры отверстий сит по результатам пробного просеивания образцов зерна, подлежащего очистке.

## **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ ПО ПЕРВИЧНОЙ ОЧИСТКЕ ЗЕРНА РИСА**

### **2.1 Основные понятия по поточным линиям первичной очистки риса**

Одной из главных целей первичной очистки зерна риса является подготовка его к длительному хранению. Сохранность зерновой массы связана с его способностью поглощать (сорбировать) из окружающей среды пары различных веществ, особенно воды. При известных условиях, наблюдается обратные процессы выделения (десорбция) паров воды в окружающую среду. Влагообмен между воздухом и зерном прекращается, когда парциальное давление водяного пара в воздуха и над зерном равны. Влажность зерна, соответствующая этому состоянию, называется равновесной. Максимальная равновесная влажность зерна, устанавливающаяся при его пребывании в воздухе, насыщенном водяными парами (относительная влажность равна 100 %), является тем пределом, до которого зерно может сорбировать пары воды из воздуха. Дальнейшее увлажнение может происходить только в результате впитывания капельно-жидкой влаги. Исследованиями установлено, что встречающаяся в практике равновесная влажность зерна злаковых культур колеблется в пределах от 7 до 33...36 % . Влажность зерна в 7% является равновесной для воздуха, имеющего влажность 15...20 % влажность зерна в 33...36 % равновесной для воздуха предельно насыщенного водяными парами.

В условиях относительной влажности воздуха 75 % равновесная влажность зерна злаковых культур находится на уровне 15...16 % . Влажность зерна в колосе под влиянием температуры и относительной влажности воздуха в зависимости от времени суток.

А.В. Процеров предложил при выявлении влияния метеоусловий на влажность зерна и соломы и скорость высыхания их использовать обобщенный показатель метеорологических условий – дефицит влажности воздуха. Дефицит влажности определяется по нижеуказанной формуле.

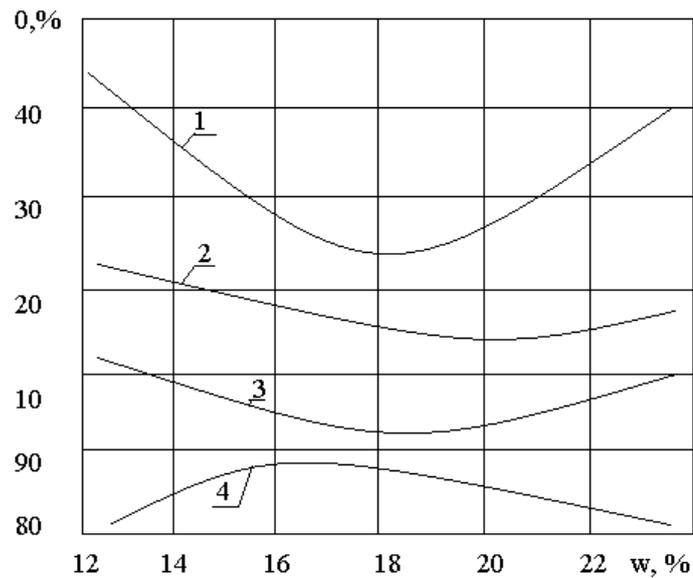
$$d = E - e \quad (2.1)$$

где  $E$  – парциальное давление водяных паров в воздухе при данной температуре и полном насыщении, гПа;

$e$  – парциальное давление водяных паров, находящихся в воздухе при той же температуре, гПа.

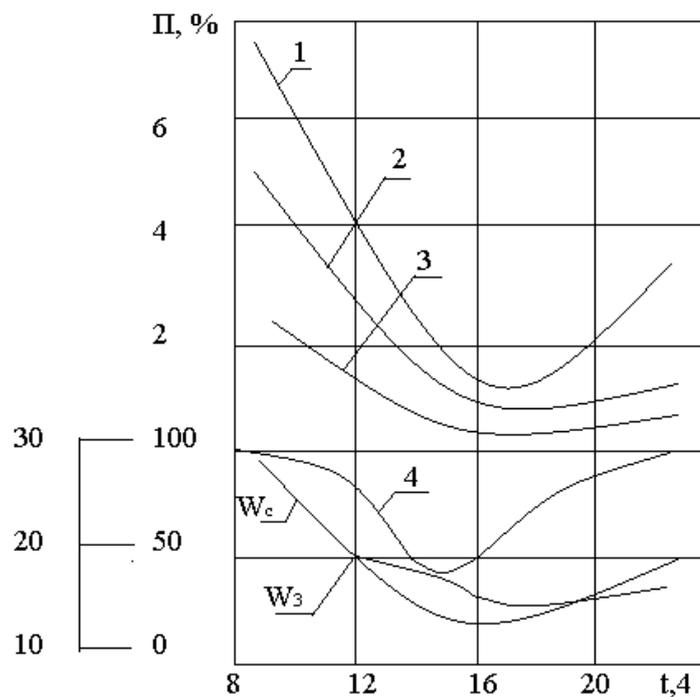
Изменение дефицита влажности воздуха в течение суток ведет к изменению влажности хлебной массы, что, в свою очередь, приводит к изменению производительности комбайна и величины потерь. При организации уборки хлебов высокой влажности необходимо также учитывать влияние влажности на повреждение зерна комбайном. По данным работ наименьшее повреждение зерна наблюдается при влажности 16...20 % , при этом получена наибольшая всхожесть. При повышении влажности зерна до 24 % всхожесть снижается до 80 % (рисунок 2.1). Наибольшая производительность комбайна и минимальные потери зерна достигаются в течение 2...4 часов второй половины дня для работы (рисунок 2.2). С повышением дефицита влажности воздуха свыше 3 гПа производительность комбайна возрастает и асимптотически приближается к паспортной. При дефиците влажности 4...8 % гПа условия уборки следует считать удовлетворительными, а свыше 8 гПа – хорошими. При дефиците влажности воздуха ниже 3 гПа работа зерноуборочного комбайна становится практически невозможной из-за наматывания хлебной массы на рабочие органы и больших потерь зерна.

Оптимальный срок уборки, когда сохраняется наиболее высокий биологический урожай, в условиях центральных областей Кызылорды составляет 7...10 дней. По мере затягивания сроков уборки увеличивается разрыв между биологическим и фактическим собранным урожаем.



1 – повреждение зерна; 2 – дробление и смятие; 3 – повреждение зародыша; 4 – всхожесть семян В

Рисунок 2.1 – Зависимость повреждения зерна б при облите от его влажности W (по Федосееву)



1 – суммарные потери за молотилкой; 2 – потери недомолотом; 3 – потери в соломе (по Федосееву).

Рисунок 2.2 – Потери зерна П, влажность  $W_3$  зерна и  $W_c$  соломы, относительная влажность воздуха при прямой уборке, в различное время суток

М.С. Рунчев, Э.И. Липкович, В.Я. Жуков и др. считают, что общий срок уборки зерновых культур (при сочетании отдельного и прямого комбайнирования) не должен превышать 10...12 дней. Уборка после истечения десяти дней от начала полной спелости, ведет к потерям, достигшим 18...20 %, а в более поздние сроки (через 15...20 дней) – до трети урожая.

В зерновом ворохе, поступающем от комбайнов, в условиях Кызылординской области, наблюдается значительные колебания влажности и засоренности. В зависимости от засоренности полей, погоды и качества работы комбайна, содержания зерна в ворохе колеблется в пределах 85...98 %. Остальную часть зернового вороха составляют стебли и листья основной культуры и сорняков, семена и соцветия сорных трав и культурных растений, комочки почвы, насекомые и т.д. С увеличением влажности зернового вороха, ввиду низкой его теплопроводности, наблюдается рост интенсивности дыхания и температуры. Так у ржи при повышении влажности от 14,4 до 20,6 % интенсивность дыхания возрастает в 80 раз. При повышении температуры от 4 до 25 °С (влажность зернового вороха 15%) интенсивность дыхания увеличивается в два раза, а повышение температуры до 45...55° С увеличивает интенсивность дыхания в 20...100%. Интенсивное дыхание зерна создает благоприятные условия развития плесневых грибов, бактерий, насекомых. В течение 1...2 суток температура влажного зерна может достигнуть 50° С, в результате полностью утрачиваются семенные качества зерна.

Поэтому зерновой ворох, доставленный от комбайнов, необходимо в течение нескольких часов очистить и законсервировать до сушки на установках активного вентилирования. Для основной массы зернового вороха, поступающего на послеуборочную обработку, при нормальной влажности 18...22 % и избыточной выше 22% и температуре 15...20° С, в условиях Кызылординской области, предельные сроки безопасного хранения после предварительной очистки до вентилирования, составляют 1...2 дня

(рисунок 2.3). В зерновом ворохе, не прошедшем предварительную обработку, с увеличением времени хранения, растут температура и влажность, снижается всхожесть (рисунок 2.4).

Вентилирование холодным (без подогрева) воздухом можно вести круглосуточно, если исходная влажность семян 21...22% , а относительная влажность воздуха – не менее 70 % .

Однако, длительное вентилярование зерна наружным воздухом не позволяют предохранить зерно от порчи. Семена, как посевной материал, характеризуется посевными качествами, влияющими на урожай. Требования на посевные качества семян определены ГОСТами, в соответствии с которыми семена зерновых культур делятся на три класса.

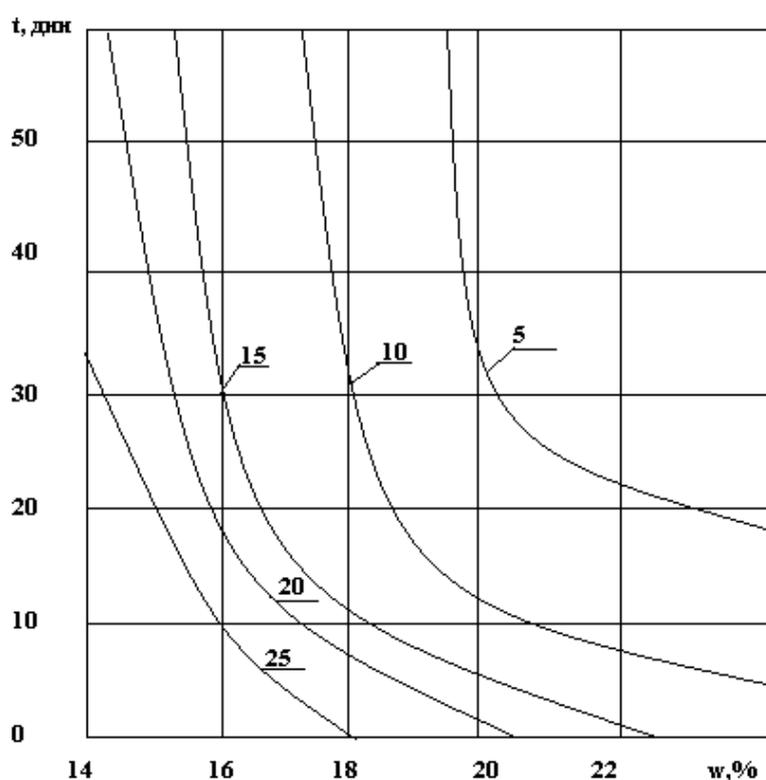


Рисунок 2.3 – Сроки безопасного хранения зерна  $\tau$  до вентилярования, по данным ВНИИЗАа.

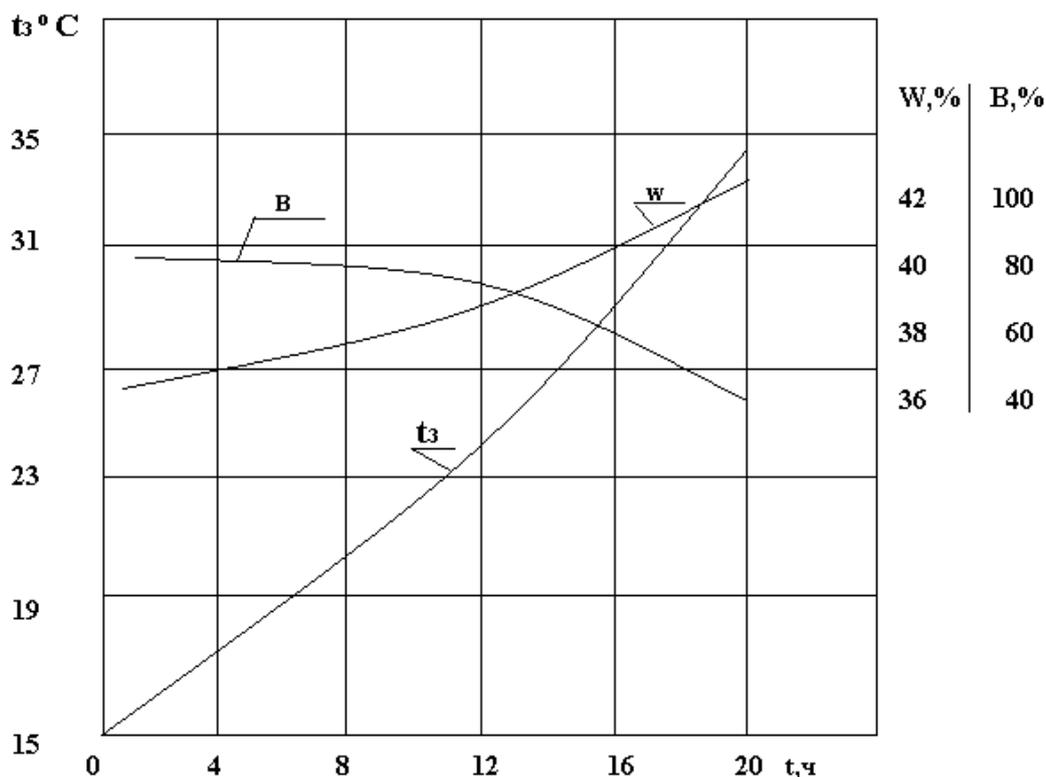


Рисунок 2.4 – Зависимость температуры  $t_3$ , влажности  $W$  и всхожести  $B$  семян в свежубранном зерновом ворохе от времени хранения  $\tau$  (по Кирееву)

По данным исследования, применение семян третьего класса, в сравнении с первым, снижает урожайность на 10...15% при благоприятных погодных условиях, а при неблагоприятных – приводит к необходимости пересева.

В зависимости от назначения зерна, требования к его качеству и исходя из зональных особенностей, технология послеуборочной обработки в условиях Нечерноземной зоны предусматривает выполнение следующих работ прием, предварительную очистку, хранение с вентилированием наружным воздухом, сушку (первый пропуск), отлежку с вентилированием наружным воздухом, сушку (второй пропуск), первичную воздушно - решетную очистку, триерование, очистку и отбор на пневмостоле, протравливание, воздушно – тепловой обогрев накануне сева. Если влажность зернового вороха, поступающего на послеуборочную обработку менее 20%, то сушка производится за один пропуск через зерносушилку.

В условиях Сибири нашла применение фракционная технология первичной обработки зерна, которая позволяет интенсифицировать послеуборочную обработку материала повышенной влажностей. Она включает разделение зернового вороха на целевые фракции и подготовку фракции до последующей обработки или реализации. При новой технологии, в частности, ворох делят на отходы, основную фракцию (семенную или продовольственную) и фуражную.

Фракции сушат с учетом их назначения и очищают фуражную фракцию до установленных требований. Традиционная первичная обработка зерна предусматривает получение основной и фуражной фракции из материала, прошедшего предварительную очистку и сушку. При одинаковой паспортной производительности сушилок в новом и базовом комплексах, первичной

обработке зерна суточная выработка первого из них выше, чем второго. Это достигается сушкой основной и фуражной фракции в новом комплексе при различных режимах, что повышает производительность комплекса и снижает затраты на обработку зерна.

## **2.2 Теоретические исследования по анализу поточных комплексов машин для первичной очистки риса**

Разработка и поставка машин и оборудования для первичной обработки зерна колхозам и совхозам осуществляется в соответствии с системой машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства.

В настоящее время в систему машин включены как поточные технологические линии, так и отдельные машины, используемые самостоятельно.

Поточные технологические линии подразделяются на зерноочистительно-сушильные комплексы, зерноочистительные агрегаты и семенные линии. Зерноочистительно-сушильные комплексы КЗС-10Ш, КЗС-20Ш, КЗС-10Б, КЗС-10-2Б, КЗС-40, КЗР-5 предназначены для очистки,

сушки и сортирования зерновых, крупяных и технических культур с доведением продовольственного зерна до базисных кондиции,

Зерноочистительные агрегаты ЗАВ- 10, ЗАВ-20, ЗАВ-40, АЗС-30М, ЗАР-5 предназначены для очистки и сортирования продовольственного и семенного зерна, до ведения продовольственного зерна до базисных кондиций. Машины и оборудование комплексов и агрегатов монтируют в специальном здании с каркасом из металлической арматуры, поставляемой в комплексе заводом – изготовителем.

В соответствии с системой машин на для обработки продовольственного и фуражного зерна освоен выпуск высокопроизводительных зерноочистительных агрегатов ЗАВ-5, ЗАВ-100, для сухой зоны, зерноочистительно-сушильных комплексов КЗС-50 – для увлажненной. Сезонная производительность одного комплекса – 8...80 тыс.т.

Для хозяйств с меньшим объемом производства предназначены зерноочистительный агрегат ЗАВ-25 для сухой зоны и зерноочистительно-сушильные комплексы КЗС-25Ш и КЗС-25Б – для увлажненной.

Их производительность равна соответственно 25 и 20 т/ч. Агрегат ЗАВ – 25 и КЗС – 25Ш доукомплектовывают семяочистительной приставкой СП-10А с модернизированной машиной СВУ-5А и новым пневмостолом СПС-5.

Предусмотрены также семяочистительные и семяочистительно-сушильные линии для подготовки семян зерновых культур производительностью 5 и 10 т/ч и семяочистительные приставки типа СП-10, СП-10А, СПЛ-5 к зерноочистительным агрегатам и зерноочистительно-сушильным комплексам. Монтируют приставку в двухэтажном здании, которое собирают из металлических конструкции, входящих в комплект. Для обеспечения сушки высокоувлажненных семян должны быть разработаны два типа сушильных установок: сушилка высокоувлажненных семян непрерывного действия производительностью 5 т/ч при снижении влажности с 26 до 14% и комплект оборудования для периодической сушки

высоковлажных семян производительностью 20 т/ч. Сушилка будет использоваться в составе поточных линии семяобработывающих предприятий. Для временного хранения зерна высокой влажности и его сушки подогретым воздухом предусмотрены отделения бункера активного вентилирования ОБВ-100, ОБВ-160, ОБВ-320, которые сообщаются с зерноочистительно-сушильными комплексами или зерноочистительными агрегатами. Для активного вентилирования зерна в складах с горизонтальными полами используются стационарные установки СВУ-1, СВУ-2У, СВУ-62, СВУ-63, а также аэрожелоба. В технологических линиях после уборочной обработки семенного зерна широко применяют установки принудительного вентилирования, изготавливаемые непосредственно в хозяйствах. При подаче неподогретого воздуха они используются в качестве резервной емкости для хранения влажного зернового вороха, а также для частичного удаления влаги и ускорения послеуборочного дозревания семян. В случае подачи подогретого воздуха, процесс сушки интенсифицируется, такая установка выполняет роль сушильного агрегата. Как правильно, такие установки устраивают в виде площадок к имеющим настил со щелями, закрытыми металлической сеткой. Поточная первичная обработка семян зерновых культур с каждым годом получает все большее распространение во многих хозяйствах построены и действуют современные линии обработки, пункты, заводы, позволяющие получать семена первого класса посевного стандарта при резком сокращении затрат труда и средств на их обработку по сравнению с простейшими токами и обособленными работающими машинами.

Зарубежом наблюдается тенденция к централизованной первичной обработки зерна на элеваторах и семенных заводах и использование машин высокой производительности. Так фирма «Симон Картер Ко.» (США) выпускает зерноочистительное оборудование с производительностью 240 т/ч.

В Австрии, как и в других странах Европы, посевной материал считается непригодным, если он не прошел сортирование по удельному весу.

Необходимой предпосылкой эффективности работы для сортирования по массе является предварительное сортирование зерен по размерам.

Фирмой «Fortschritt» для первичной обработки зерна выпускаются высокопроизводительные воздушные сепараторы К-527 производительностью до 75 т/ч на предварительной очистке, К-547А – для очистки зерна колосовых, масличных, семечковых культур с производительностью 10 т/ч, К-548А – для мелкосеменных культур, семяочистительную машину К-531 с производительностью 2,5 т/ч, триеры К-236А с производительностью 10 т/ч и К-236-01 с производительностью 1,5 т/ч. Машины производства Германии широко применяются и хорошо зарекомендовали себя и в нашей стране. Таким образом, выпускаемое промышленностью зерноочистительно-сушильное оборудование для неспециализированных хозяйств не приспособлено для одновременного получения семян и сушки фуражного зерна, реализует традиционную технологию обработки зерна. Кроме того, в выпускаемых комплексах и агрегатах отсутствует приемные отделения для временного хранения влажного зернового вороха с активным вентилированием, что требует изготовления непосредственно в хозяйствах напольных сушилок. В комплексах типа КЗС и агрегатах ЗАВ требуется увязать в поточную технологическую линию зерноочистительно-сушильное оборудование с семяочистительными машинами. В то же время, выпускаемое промышленностью оборудование позволяет реализовать широкий круг технологии первичной очистки зерна путем разработки индивидуальных проектов в зерноочистительно-сушильных пунктах в (ЗОСП) в хозяйствах и на его базе.

### **2.3 Структура комплекса для первичной очистки риса**

Технологическая схема работы поточной линии определяется её назначением, параметрами сырья и готовой продукции, перспективами

развития хозяйства, необходимой производительностью оборудования в час, смену, сезон. Исследованиями установлено, что производительность машин для первичной очистки зерна риса зависит от таких факторов, как вид обрабатываемой культуры, её назначением, начальная влажность и засоренность поступающего на обработку зернового вороха. В значительной степени производительность и качество работы воздушно-ситовых машин определяются (частота и амплитуда колебаний сит) и геометрическими (угол наклона, размеры и форма отверстий сит) параметрами. Для оценки производительности машин введено понятие паспортной производительности, под которой понимают максимальное количество определенного вида продукции требуемого качества, которое может быть получено в единицу рабочего времени машины при рациональных технологических и организационных условиях переработки исходного материала с определенными параметрами. Паспортную производительность зерноочистительных машин принято определять по пшенице нормальной влажности (до 15%) и средней засоренности (до 5 %) , сушилок – на пшенице при съеме влаги с 20 до 14 % на режиме сушки продовольственного зерна.

В работах необходимую производительность машин первичной очистки в час сменного времени определяют по нижеуказанной формуле:

$$\text{—————} \quad (2.2)$$

где  $G_r$  – сбор зерна за сезон, т;

$\Phi$  – сезонный фонд рабочего времени, ч;

$K_{ws}$  – поправочный коэффициент, учитывающий засоренность и влажности зерна;

$K_k$  – коэффициент, учитывающий вид обрабатываемого зерна.

Значения коэффициента  $K_k$  приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1– Значения поправочного коэффициента  $K_{ws}$  от влажности  $W$  и засоренности  $S$

Влажность, $W$ , %	Засоренность, $S$ %		
	5	10	15
15...18	1,0	0,9	0,8
18...22	0,9	0,8	0,7
22...26	0,8	0,7	0,6
26...30	0,7	0,6	0,5

Действительную производительность зерноочистительной машины определяется по формуле:

$$.. \quad (2.2)$$

где  $P_3$  – действительная производительность зерноочистительной машины, т/ч;

$P_{3п}$  – паспортная производительность зерноочистительной машины, т/ч;

$K_k$  – коэффициент, учитывающий вид очищаемой культуры;

$K_э$  – коэффициент эксплуатации, учитывающий равномерность загрузки, который для машин работающих в поточной линии равен 1,0; самоходных – 0,9; с подачей вручную – 0,8;

$K_t$  – коэффициент времени смены;

$K_{\omega}=0,03$  – коэффициент, учитывающий снижение производительности зерноочистительной машины в зависимости от увелечения влажности материала свыше 16 % на 1% в долях единицы;

$K_s=0,02$  – коэффициент, учитывающий снижение производительности зерноочистительной машины с увеличением засоренности материала свыше 2% на 1% в долях единицы;

$\omega$  – влажность зернового вороха выше 16 % , в %;

$s$  – засоренность зернового вороха выше 2 % , в %.

## 2.4 Определение основных конструктивных параметров комплекса для первичной очистки риса

Рассматриваемая задача в соответствии с системным подходом относится к седьмой подсистеме оптимизации и заключается в обосновании оптимального потребного числа очистительных и транспортных агрегатов, а также вместимости приемного и накопительного бункеров.

Как показано на рисунке, технологический процесс на приемно-очистительном пункте можно представить в виде разомкнутой двухфазной СМО с ожиданием. Исполнительными элементами в первой в первой фазе является очистительные агрегаты одной и той же марки ОВС-25 и транспортные средства для перевозки зерна на элеватор – во второй фазе.

Поток требований на обслуживание в данном случае связан с необходимостью обработки очистительными агрегатами прибывшего от комбайнов зерна риса.

Поскольку транспортные агрегаты с зерном риса прибывают от комбайнов через случайные промежутки времени, то будет иметь место вероятный поток требований в виде порций зерна риса, который согласно исследованиям принимается простейшим или пуассоновским.

Интенсивность этого потока  $\lambda_5$  с учетом определяется из равенства

$$\text{—————}, \quad (2.3)$$

где  $\lambda_5$  – интенсивность потока требования, 1/ч;

$F_{\Pi}$  – общая площадь посевов риса, га;

$D_k$  – календарные сроки очистки зерна, дни;

$\Phi_k$  – коэффициент использования календарного времени;

$\omega$  – масса зерна, соответствующая одному требованию, т.

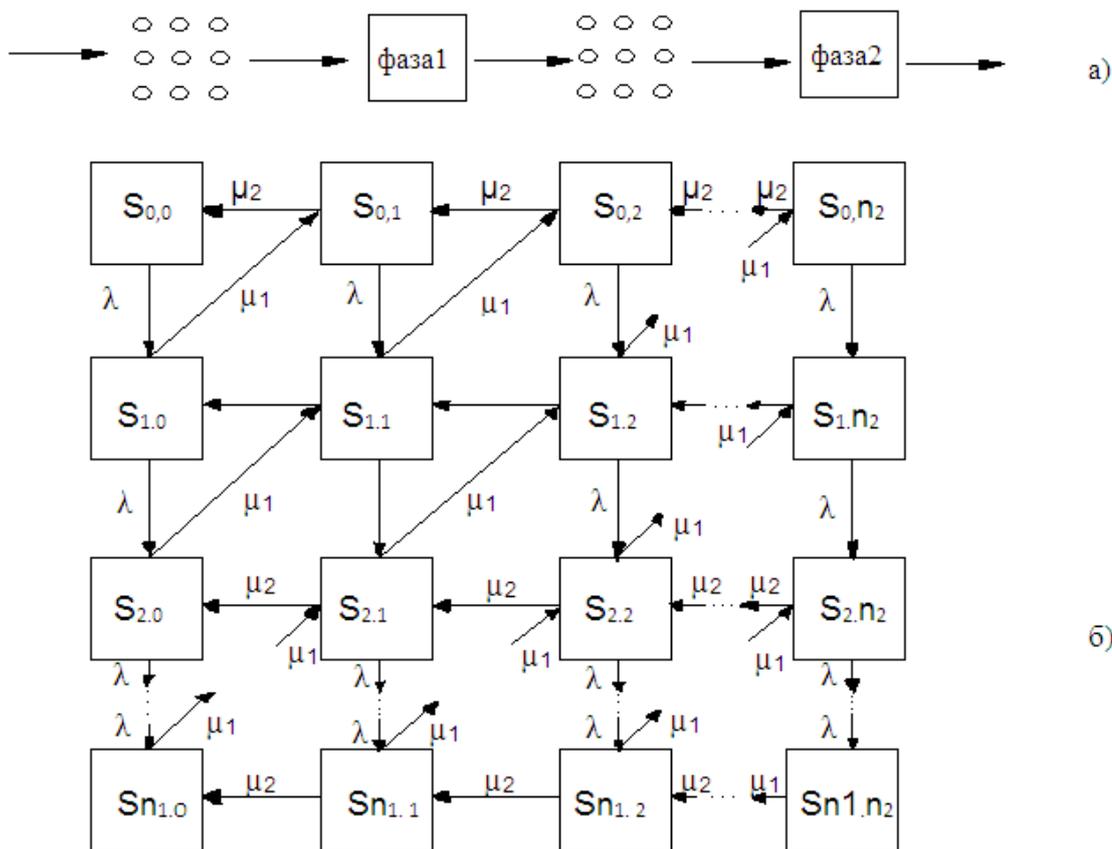


Рисунок 2.5 – Принципиальная схема функционирования (а) и граф состояний (б) двухфазной системы массового обслуживания с ожиданием.

Если при поступлении груженого зерном прицепа на приемно-очистительный пункт (ПОП) бункер для приема зерна окажется заполненным, то зерно будет выгружаться на резервную площадку (ВРП-1) и ожидать своей очереди на обслуживание.

## 2.5 Расчет кинематических параметров комплекса для первичной очистки риса

Как отмечалось выше, производительность зерноочистительной машины и технологический эффект очистки зерна зависят не только от соответствия выбранных кинематических параметров ситового устройства оптимальным условиям сепарирования данной культуры, но и от многих других факторов. При одинаковых условиях сепарирования показатели работы машины изменяются в зависимости от влажности зерновой смеси, от количества и

характера содержащихся в ней примесей, назначения зерна после очистки (семенное, продовольственное), местоположения машины в технологической схеме очистки по отношению к другим зерноочистительным машинам (первичная очистка, вторичная и т.д.). Поэтому существующими инструкциями по очистке зерна рекомендуется перед началом очистки производить пробную очистку небольшой партии зерна (весом до 5 т) на конкретной зерноочистительной машине с целью определения фактической ее производительности и технологического эффекта очистки.

Согласно временной инструкции по очистке зерна и эксплуатации зерноочистительных машин на хлебоприемных предприятиях, до начала пробной очистки обязателен лабораторный анализ зерна на влажность и засоренность.

Для выбора необходимого набора сит для зерноочистительной машины по размерам их отверстий на соответствующем наборе лабораторных сит или на зерновом лабораторном сепараторе ЗЛС, оборудованном идентичными ситами, просеивают образец зерна, подлежащего очистке. По результатам подбирают сита с соответствующими размерами отверстий и укомплектовывают ими зерноочистительную машину.

Для установления технологического эффекта работы машины снимают одноминутные балансы со взвешиванием всех продуктов. Их снимают в течение одной минуты при установившемся режиме работы машины и не менее трех из партии, подвергающейся пробной очистке. По всему полученному зерну и отходам определяют производительность зерноочистительной машины.

Технологический эффект очистки зерна устанавливают по результатам анализа полученных фракции на содержание в очищенном зерне отделимых примесей, а в отходах – полноценного зерна, для чего из одноименных фракций зерна и отходов составляют пробы. Из проб выделяют навески в 1 кг и пропускают через сепаратор ЗЛС, а при отсутствии сепаратора используют набор лабораторных сит, которые должны соответствовать

ситам, установленным в контролируемой зерноочистительной машине. Показатель технологического эффекта очистки зерна – отношение количества отделимой примеси, содержащейся в отходах, к количеству такой примеси, содержащейся в исходной смеси до очистки:

$$\text{---} \quad (2.4)$$

где А- содержание отделимой примеси в исходной смеси, кг;

В - содержание отделимой примеси в зерне после очистки, кг;

К отделимым относятся примеси органического и минерального происхождения, семена сорных растений и другие, которые могут быть отделены рабочими органами зерноочистительной машины.

Например, требуется определить фактическую производительность и технологический эффект очистки на сепараторе типа ЗСМ, укомплектованном ситами: приемным с круглыми отверстиями диаметром 14 мм, сортировочным с отверстиями диаметром 7 мм и подсевным с продолговатыми отверстиями шириной 1,7 мм. После снятия одноминутного баланса зерно и отходы были взвешены, из полученных фракций изъяты пробы и отобраны образцы весом в 1 кг каждый. В результате анализов зерно основной культуры было обнаружено только в аспирационных относах, поэтому через лабораторный сепаратор ЗЛС были пропущены эти относы для выделения зерна. На сепараторе ЗЛС установлены сита, идентичные установленным на ЗСМ. Пропущен также образец ошущенного зерна для определения в нем оставшейся отделимой примеси.

Пропуск очищенного зерна через сепаратор ЗЛС показал, что в нем содержится 4% отделимой примеси, в том числе 2% в проходе через сито с отверстиями шириной 1,7 мм и 2% в аспирационных относах. После пропуска через ЗЛС образца аспирационных относов от сепаратора ЗСМ в них было обнаружено 33,6% зерна.

В результате снятого баланса всех фракций и их анализа получены данные, приведенные в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты очистки зерна на сепараторе ЗЛС

Фракция	Выход фракций, кг/мин	Содержание		
		Отделимой примеси		Зерна (сход с сита 1,7мм), %
		кг/мин	%	
Зерно после очистки	500,0	20,0	4,0	96,0
Сход с приемного и сортировочного сит	5,4	5,4	100,0	-
Проход подсевного сита 1,7мм	21,0	21,0	100,0	-
Аспирационные отходы	11,3	7,5	65,4	33,6
Итого (исходная смесь)	537,7	53,9	10,0	90,0

Фактическая часовая производительность зерноочистительной машины определяется по формуле:

$$\text{---} \quad (2.5)$$

где  $\text{---}$  - количество зерновой смеси, поступающей в машину, кг/мин.

В данном случае  $\text{---}$  .

Зная содержание отделимых примесей во фракциях, определяют содержание их в исходной смеси, которое в данном примере составляет  $A=53,9$  кг/мин. Следовательно технологический эффект работы сепаратора ЗСМ при содержании отделимой примеси в зерне после очистки  $B=20$  кг равен:

$$\text{---} \quad (2.6)$$

Производительность зерноочистительной машины может быть определена без проведения пробной очистки зерна со снятием одноминутных балансов, расчетным путем, с использованием для этого данных по влажности и содержанию отделимых примесей в зерновой массе, подлежащей очистке. Производительность, определенную таким образом, называют расчетно-эксплуатационной.

Во временной инструкции по очистке зерна и эксплуатации зерноочистительных машин на хлебоприемных предприятиях рекомендуются формулы для определения расчетно-эксплуатационной производительности воздушно-ситовых зерноочистительных машин при очистке продовольственного и семенного зерна в зависимости от его влажности и содержания примесей. Расчетные формулы рекомендованы на

основании результатов исследований, а также испытаний различных воздушно-ситовых зерноочистительных машин. Статистическая обработка материалов машиноиспытательных станций показала, что при очистке зерна с качеством в пределах ограничительных кондиций, средняя фактическая производительность составила 60% от паспортной при очистке продовольственного зерна и 20% при очистке семян. В соответствии с этим при очистке зерна расчетно-эксплуатационную производительность рекомендуется определять по формулам:

для продовольственного зерна:

$$; \quad (2.7)$$

для семенного зерна:

$$; \quad (2.8)$$

где, 0,6 – отношение фактической производительности к паспортной при очистке продовольственного зерна;

- паспортная производительность машины при очистке пшеницы, т/ч;

0,2 – отношение фактической производительности к паспортной при очистке семенного зерна;

К – поправочный коэффициент, зависящий от культуры зерна, влажности и содержания отделимой примеси. (Значения коэффициентов К приводятся в таблицах инструкции).

Ориентировочную расчетную производительность воздушно-ситовых триерных машин (ОС-3, ОСМ – 3У, ОС – 4,5, ОКС – 4 и другие) при очистке семенного зерна рекомендуется определять по аналогичной формуле:

$$; \quad (2.9)$$

где, - поправочный коэффициент из таблицы инструкции;

- паспортная производительность машины при очистке семенного зерна.

Приведенные формулы для определения расчетно-эксплуатационной производительности приближенны, так как влияние на производительность

влажности зерна, содержания отделимой примеси и других факторов, учитываемых коэффициентами  $K$ , пока еще достаточно не исследовано.

По ГОСТу 5883 – 63 принято, что за каждый процент увеличения влажности примесей в зерне риса сверх 10% производительность воздушно – ситовых машин снижается на 2%, а за каждый процент увеличения влажности зерна сверх 16% - на 5%. Это положение и заложено в таблицах инструкции для определения величины коэффициента  $K$ .

Если обозначить количество отделимых примесей через  $S$ , а влажность исходной смеси через  $W$ , то поправочный коэффициент по снижению производительности на засоренность  $\alpha$  и поправочный коэффициент на влажность  $\beta$  определяются из формул:

$$; \quad (2.10)$$

$$; \quad (2.11)$$

Наряду с указанными поправочными коэффициентами, согласно ГОСТу 5888-74 и ГОСТу 5036-75, вводятся коэффициенты  $\delta$  эквивалентности производительности для очистки других культур, которые учитываются при определении коэффициента  $K$ . Коэффициент эквивалентности  $\delta$  представляет собой отношение производительности сита при очистке обрабатываемой культуры к производительности сита при очистке пшеницы. Коэффициент эквивалентности для пшеницы с объемным весом  $760 \text{ кг/м}^3$ , влажностью до 16% и засоренностью до 10% принят равным единице. Для других культур с такими же показателями влажности и засоренности он равен: для ржи – 0,9, ячменя – 0,8, риса – 0,6, гречихи – 0,7 и т.д.

При влажности зерновой массы до 16% и засоренности отделимыми примесями до 10% коэффициент  $K$  в формулах 16 и 17 равен коэффициенту эквивалентности, при увеличении коэффициент  $K$  равен произведению всех поправочных коэффициентов, то есть  $K = \alpha \cdot \beta \cdot \delta$ . Для удобства все поправочные коэффициенты объединены в обобщенный коэффициент  $K$ , значения которого для риса зерна в зависимости от влажности и засоренности приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Значения поправочного коэффициента К для риса – зерна

Влажность риса,%	Содержание отделимой примеси (сорной и зерновой),%		
	До 10	10-15	15-20
До 16	0,6	0,54	0,48
16-17	0,57	0,51	0,46
17-20	0,48	0,43	0,38
20-22	0,42	0,37	0,34
22-25	0,33	0,30	0,26

Из таблицы 2.3 следует, что при очистке продовольственного риса влажностью до 16% и содержанием отделимой примеси до 10% коэффициент  $K=0,6$ . Тогда расчетно-эксплуатационная производительность сепаратора ЗСМ – 50, согласно формуле 2.9, равна:

Однако, по результатам исследований и производственных испытаний Кустанайской МИС и Кубанского филиала ВНИИЗ, фактическая производительность сепаратора ЗСМ- 50 при очистке риса-зерна находится в пределах 3,5-5,0 т/ч, а сепараторов ЗСМ-100 и КПД-100 с паспортной производительностью по 100 т/ч – в пределах 6...7 т/ч. Аналогичные результаты по производительности при очистке риса-зерна на указанных воздушно-ситовых машинах получены при очистке риса-зерна на хлебоприемных предприятиях. Таким образом фактическая производительность сепаратора при очистке риса-зерна в 10...14 раз ниже паспортной, а не в 3 раза, согласно проведенному расчету. В связи с этим очевидно, что принятый для риса коэффициент эквивалентности, равный 0,6, значительно завышен и требует корректировки. Соответственно требуют корректировки, в части риса-зерна, данные таблиц для определения обобщенных коэффициентов К, приведенные во времени инструкции по очистке зерна. Но поскольку инструкция широко применяется на хлебоприемных предприятиях, то до внесения корректировок можно пользоваться данными таблиц без их изменения, однако при этом необходимо соответственно изменить числовые величины (0,6, 0,2 1,0), входящие в формулы 2.7, 2.8 и 2.9. В этом случае формулы для определения

расчетно-эксплуатационной производительности серийно выпускаемых воздушно – ситовых зерноочистительных машин при очистке зерна риса принимают вид:

$$\text{для очистки продовольственного зерна} \quad (2.11)$$

$$\text{для очистки семенного зерна} \quad (2.13)$$

$$\text{При очистке семян на воздушно-ситовых триерных машинах} \quad (2.14)$$

Например, требуется определить производительность сепаратора ЗСМ-50 при очистке продовольственного риса влажностью 14%, содержащего 12% отделимых примесей, определенных на лабораторном сепараторе ЗЛС. Тогда при влажности риса до 16% и засоренности до 10% коэффициент К равен 0,6, а при засоренности 15% - 0,54. Для зерна с засоренности 12% коэффициент К приближенно будет равен среднему значению:

$$\text{—————} \quad (2.15)$$

По формуле 2.13 расчетно-эксплуатационная производительность сепаратора составит:

$$Q=0.14*0.57*50=4 \text{ т/ч.}$$

При очистке риса- зерна на модернизированном сепараторе без увеличения ярусов сит в ситовых корпусах и оборудованном ситами с разрыхлителями расчетно-эксплуатационная производительность ориентировочно может быть посчитана по формуле:

$$\text{.} \quad (2.16)$$

## 2.6 Обоснование режимов работ поточного комплекса для первичной очистки зерна риса

Как показали проведенные исследования, производительность существующих машин и эффективность извлечения примесей из зерна риса могут быть значительно повышены за счет перевода машин на новые кинематические режимы, а также использования для каждого вида движения наиболее рациональных конструкций сит и применения для очистки риса специальных сит с разрыхлителями.

Наибольший технологический эффект очистки риса на сите, совершающем возвратно – поступательное движение, достигается при амплитуде колебаний 12,5...14,0 мм и частоте колебаний сита 265...270 в минуту. При этом для очистки безостого риса угол наклона сита должен быть равным 12...13° при угле колебаний в 1°, а для остистого – соответственно 9-10° и 7°.

Согласно этим данным, на Алматинской МИС Министерства сельского хозяйства РК был впервые реконструирован сепаратор ЗСМ-50 применительно к очистке безостой и остистой разновидностей риса. Реконструкция сепаратора заключалась в установке требуемых параметров (частоты и амплитуды) работы колебателя и увеличении расстояния между верхним и нижним ситовыми корпусами до 45 мм. Необходимая амплитуда колебаний сит (14 мм) обеспечивалась за счет установки в колебателе ситовых корпусов приводного вала с эксцентриситетом, равным 28 мм (вместо существующего с эксцентриситетом 10 мм). Привод колебателя остается неизменным и осуществляется через клиноременную передачу от электродвигателя мощностью 1,0 кВт, 950 мин<sup>-1</sup>.

Для получения частоты колебаний сит 265-270 в минуту на приводном валу колебателя устанавливается шкив диаметром 300...310 мм, а на валу электродвигателя – диаметром 85 мм. Увеличение расстояния между верхним и нижним ситовыми корпусами до 45 мм необходимо для

предотвращения их соударения после увеличения амплитуды колебаний сит с 5 до 14 мм. Его осуществляют путем перестановки кронштейнов крепления подвесок нижнего корпуса на станине сепаратора по высоте. В реконструированном сепараторе угол наклона сит оставался равным  $11^\circ$ , а направленность колебаний – горизонтальной, так как существующая конструкция сепаратора не позволяет без значительных переделок установить необходимые углы наклона сит и изменять наклон подвесок при регулировке направленности колебаний.

Такая реконструкция дала положительные результаты при производственных испытаниях сепараторов, проведенных кустанайской МИС Министерства сельского хозяйства Казахстана. При испытаниях очистке подвергался остистый рис сорта Акмаржан влажностью 14,8% с содержанием примесей 9,1%, в том числе сорной – 4,8% (курмака – 3,12%) и зерновой – 4,3%. Производительность реконструированного сепаратора ЗСМ-50 оказалась в два раза больше производительности серийного. Одновременно общий технологический эффект очистки повысился на 11,6%, в том числе по извлечению сорной примеси – на 10,7%, по курмаку – на 15%, а содержание нормального зерна в отходах при очистке на сите с отверстиями диаметром 3,5 мм снизилось с 2,18% до 1%.

При очистке риса – зерна в условиях нового кинематического режима на сепараторе ЗСМ-100 производительность его возрастает до 20...25 т/ч, с общим технологическим эффектом очистки 65...75%.

Следовательно, одно из мероприятий, обеспечивающих повышение технологической эффективности очистки риса-зерна перевод сепарирующих машин на новые кинематические режимы.

Реконструкция сепараторов описанным способом отличается простотой и может быть проведена в любом хозяйстве или на хлебоприемном предприятии.

Таким же способом следует производить реконструкцию всех других машин с возвратно – поступательным движением сит, используемых для очистки зерна-риса.

При реконструкции зерноочистительных машин с круговым поступательным движением сит, например, рассевов, необходимо, кроме установления оптимального параметров, придавать ситам наклон к горизонту в пределах 4-5°.

Производительность зерноочистительных машин и эффективность извлечения примесей из зерна риса в значительной мере зависят от рационального подбора сит по форме и размерам отверстий.

По результатам исследований, штампованные сита с продолговатыми и треугольными отверстиями, при установке их в качестве подсевных, не могут эффективно извлекать основные примеси из зерна риса (курмак, обрушенные зерна), поэтому применять их для очистки нецелесообразно.

Семенной и продовольственный рис следует обрабатывать на ситах штампованных, с круглыми отверстиями диаметром 3,5 мм, 3,2 мм и металлотканых, с квадратными отверстиями размерами сторон 3,2 мм и 2,8 мм. Их необходимо использовать в качестве подсевных. Сита с круглыми отверстиями устанавливаются на зерноочистительных машинах с возвратно-поступательным движением. На сите с отверстиями диаметром 3,5 мм наряду с курмаком достаточно эффективно извлекаются обрушенные зерна риса, поэтому оно может применяться при очистке как продовольственного, так и семенного зерна. На сите с отверстиями диаметром 3,2 мм хуже выделяются обрушенные зерна. Его целесообразно применять при необходимости извлечения из семенного зерна курмака. Окончательный подбор сит по размерам должен производиться по результатам пробной очистки конкретных образцов зерна.

Независимо от вида движения сита целесообразно разрыхляющие устройства на ситах, так как, помимо повышения эффекта извлечения примеси, они обеспечивают равномерное распределение зерновой смеси по

поверхности сита. Такие сита следует устанавливать не только в качестве подсевных, но также в качестве сортировочных и разгрузочных.

По результатам испытаний Кустанайской МИС, при использовании подсевных сит с разрыхлителями технологический эффект сепарирования риса повышается примерно в 1,3 раза, даже при очистке в условиях существующих параметров сепаратора ЗСМ-50. Наряду с повышением общего технологического эффекта, при очистке на ситах с разрыхляющими устройствами потери нормального зерна в отходы снижаются на 0,4% (с 2,18% до 1,78%). Извлечение примесей на ситах с разрыхлителями в виде стержней и гофр одинаково.

Сита с разрыхлителями в виде гофр треугольной формы были изготовлены на специальном станке, разработанном монтажно-наладочным трестом Министерством сельского хозяйства РК. Станок представляет собой двухвалковую прокатную установку с электроприводом. Один из валков по всей длине снабжен тремя выступами равносторонней треугольной формы, другой – соответствующими углублениями. Высота выступа 5 мм, расстояние между выступами по длине окружности 100 мм, диаметр валка 95 мм. Необходимый зазор между валками устанавливается винтовыми устройствами. При пропуске ситового полотна между вращающимися валками на нем образуются треугольные гофры.

ВНИИЗ разработал машину для изготовления гофр на ситах зерноочистительных сепараторов (МГС) аналогичной конструкции, которая успешно прошла испытания на Кустанайской машиноиспытательной станции. Машина позволяет получать сита с разным шагом гофр: 75, 100, 150 и 300 мм, для чего на верхнем валу укреплены сменные пуансоны, а на нижнем сделаны соответствующие матрицы. Специальная заслонка дает возможность получать первый гофр на определенном расстоянии от краев сита. Верхний и нижний валы связаны между собой зубчатой передачей и вращаются навстречу друг другу. Привод валов – от электродвигателя через клиноременную передачу, редуктор и цепную передачу. Производительность

машины 50 шт. сит в час, длина прокатываемых сит 1450 мм, ширина – 710 и 790 мм, толщина – 0,6 и 1,2 мм.

Технологический эффект работы любой ситовой зерноочистительной машины зависит не только конструкции применяемых сит. Важнейшее значение имеет также постоянная очистка их отверстий от засевных частиц зерновой смеси, без чего сита быстро забиваются и эффект сепарирования становится низким. Для этой цели в существующих сепараторах типа ЗСМ и других машинах установлены очистители сит инерционного типа, которые работают ненадежно и неэффективно, а при обработке риса оказываются неработоспособными. Поэтому при реконструкции сепараторов следует вместо инерционных очистителей устанавливать очистители с принудительным приводом или предусматривать очистку сит каким – либо другим надежным способом.

Во многих зерноочистительных машинах ребра жесткости ситовых рамок разделяют поверхность сита по длине на отдельные каналы. При неравномерной подаче на сито зерно может переходить из одного канала на другой. Поэтому один из них перегружается зерном, а в других поверхность сит оказывается незагруженной и, таким образом, сита используются нерационально. В связи с этим со стороны поступления зерна на сито, в ребрах жесткости ситовых рамок, необходимо устраивать вырезы, через которые зерно будет перераспределяться по ширине сита. Такому перераспределению способствуют специально уложенные в вырезах стержни или разрыхлители на ситах. Длина каждого выреза 300-350 мм, высота от поверхности сита 30 мм.

Большое значение при очистке зерна риса имеет правильный подбор зерноочистительных машин по их типам и количеству с таким расчетом, чтобы зерно за один пропуск через машины было доведено до норм качества требуемых кондиций. Так как производительность ситовой зерноочистительной машины зависит от величины ее ситовой поверхности, на хлебоприемных предприятиях целесообразно применять машины многоярусные с возвратно – поступательным движением сит пакетного типа, аналогичные ситовой части

машины СЗА-40, а также производить реконструкцию зерноочистительных машин не только в направлении измерения кинематических параметров, но также с целью увеличения их ситовых поверхностей. На рисоперерабатывающих предприятиях, наряду с таковыми, рационально использовать рассевы ЗРМ с переводом их на оптимальный режим для очистки риса.

Во всех случаях зерноочистительные машины нужно подбирать в зависимости от содержания примесей в зерне до обработки и конечного назначения зерна – послеуборочная обработка с целью доведения до кондиционных норм, подготовка семян, очистка риса на крупозаводах с целью снижения содержания примесей от норм крупяных кондиций до норм ведения технологического процесса.

В расчетах потребности зерноочистительных машин могут быть использованы проведенные эмпирические формулы. Например, на крупозаводах для снижения содержания курмака в рисе крупяных кондиций с 15% до норм ведения технологического процесса – 0,3...0,4% в условиях существующих параметров сепаратора ЗСМ при удельной нагрузке 25 кг/см/ч зерно должно пройти по подсевным ситам сепараторных систем путь, равный 5,5...6,0 м. Для этого при длине подсевного сита 1500 мм проводится четырехкратное сепарирование зерна риса (без учета пневмосепарирования). Применение нового кинематического режима и сит с разрыхлителями позволят снизить суммарную длину подсевных сит до 2,5...3,0 м, то есть получить тот же эффект очистки при двукратном сепарировании.

Аналогично, с учетом абсолютного веса 1000 зерен курмака, для очистки семенного риса, содержащего 500 шт. зерен курмака на 1 кг, требуется, чтобы в условиях существующих параметров сепаратора ЗСМ зерно прошло по стандартным подсевным ситам сепараторов 8...9 м (при производительности линии из сепараторов ЗСМ-50, раной 6 т/ч). Новый режим очистки на ситах с разрыхлителями дает возможность сократить суммарную длину подсевных сит до 3...4 м.

### **3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ УЧАСТКА ЛИНИИ**

Результаты экспериментальных исследований позволили построить «статистическую модель» наиболее полно учитывавшую характеристики машин и потока материала. Она предусматривала оценку влияния допущений (нормальные законы распределения параметров зерна, линейные статические характеристики машин, выбор без запасов производительности ограничивающей машины существенное различие удельных стоимостей бункера и остальных машин) при аналитическом расчете на конечные результаты. В основу математической модели положен блочный принцип (рисунок 3.1). В соответствии с ним статистическая модель оптимизации работы пары машин делится на отдельные блоки, отражающие работу машин в соответствии с изменяющимися характеристиками зернового материала и процесс поиска оптимальных параметров машин с использованием стоимостного критерия оценки функционирования поточной линии.

#### **3.1. Модель внешних условий**

В первом блоке воспроизводится имитация непрерывных процессов изменения параметров зернового материала с заданными статистическими характеристиками путем дискретизации этих процессов. Процессы  $W(t)$  и  $\Psi(t)$  изменения влажности и засоренности с непрерывным временем с заданной точностью заменяются соответствующими процессами  $W(n_1\Delta t_1)$  и  $\Psi(n_2\Delta t_2)$  с дискретным временем  $t_{n1} = n_1\Delta t_1$  и  $t_{n2} = n_2\Delta t_2$  соответственно, где  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$  — шаги дискретизации,  $n_1, n_2$  - целочисленные аргументы, количество дискрет случайных процессов  $W(t)$  и  $\Psi(t)$ .

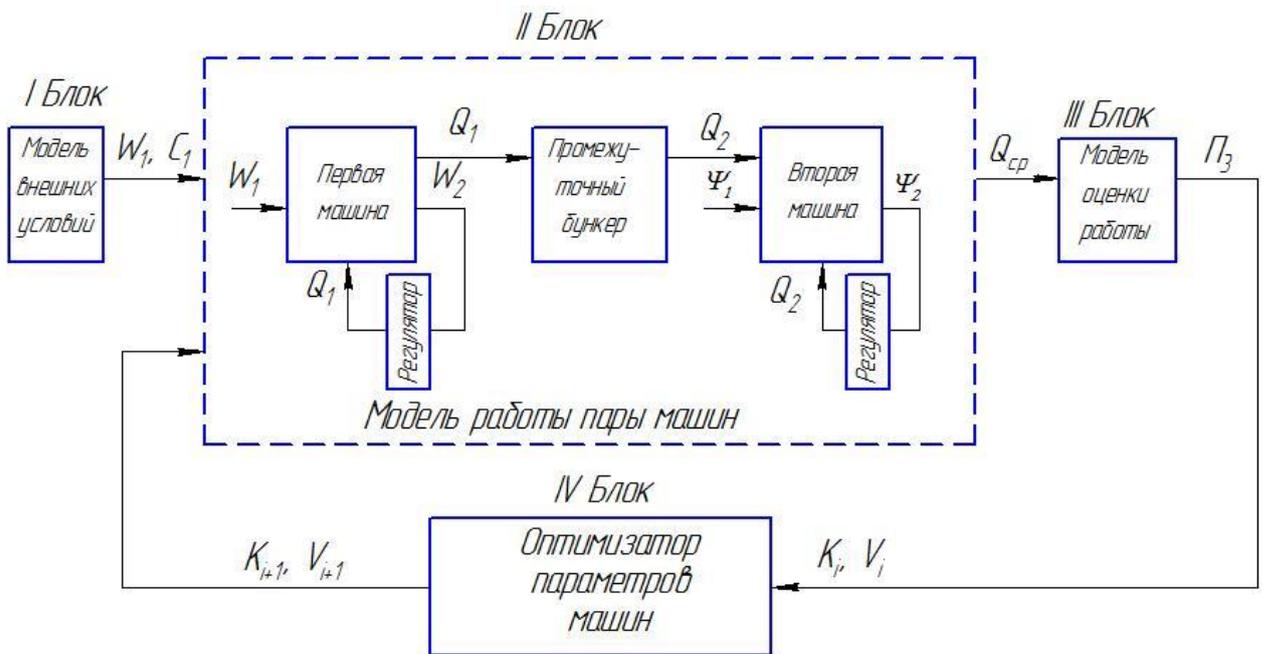


Рисунок 3.1 – Блок-схема моделирования взаимодействия машин поточной линии

В программе предусмотрено использование программного обеспечения равномерно распределенных в интервале  $(0,1)$  случайных чисел так как при поиске оптимальных параметров машин необходимость в повторном воспроизведении одних и тех же условий. Для преобразования случайных чисел с равномерным распределением в случайные числа с заданным законом распределения использован табличный метод, так как при этом можно формировать случайные величины, полученные в результате натуральных испытаний, не прибегая к аппроксимации этих данных.

Принимая выборку из равномерного распределения за ординаты функции  $F(W)$  и  $F(\Psi)$ , определяются соответствующие значения  $W_1, W_2, W_3 \dots W_n$  и  $\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3 \dots \Psi_n$ . Таким образом строятся обменные таблицы, где значения  $W$  и  $\Psi$  располагается в порядке возрастания с постоянным шагом. Эти таблицы вводятся в оперативную память машины и процедура получения последовательности случайных чисел с функциями распределений  $F(W)$  и  $F(\Psi)$  сводятся к выработке последовательности равномерно распределенных случайных чисел и отыскании в таблице соответствующих

значений  $W$  и  $\Psi$ . При разбиении интервала  $(0,1)$  на  $n$  равных отрезков нужно исходить из характера функций плотностей распределений влажности и засоренности. При этом необходимо выполнение условия:

$$(3.1)$$

$N_1$  - целое число, меньшее или равное количеству двоичных разрядов чисел, вырабатываемых датчиком случайных чисел.

Параметры зернового материала меняются из года в год, а также и в течение суток, поэтому возникает необходимость в получении функций распределений  $F(W)$  и  $F(\Psi)$  с произвольными значениями математических ожиданий  $m_w$  и  $m_\psi$ . С этой целью вводятся обращенные таблицы распределения значений влажности и засоренности с параметрами  $m_w = 0$ ,  $\sigma_w = \pm 1$  и  $m_\psi = 0$ ,  $\sigma_\psi = 1$ , а потом производится перерасчет по формуле:

$$(3.2)$$

$m_x$  — математическое ожидание параметра материала;

$\sigma_x$  - среднеквадратическое отклонение его;

$X_i$  - нормально распределенные  $t$  случайные величины с параметрами распределения  $m_x = 0$ ,  $\sigma_x = 1$

Для получения  $\zeta(n)$  случайных чисел, коррелированную по заданному закону, использовано линейное преобразование последовательности независимых нормально распределенных случайных чисел с параметрами  $(0,1)$  (дискретный белый шум). В виде оператора линейного преобразования использовано рекуррентное уравнение вида:

$$(3.3)$$

где  $\xi_i$  - последовательность независимых нормальных случайных чисел (дискретный белый шум);

$\xi_{i-1}$  - предыдущие значения последовательности

$\xi_{i-2}$  - предыдущие значения последовательности ,

$\rho$  - параметры, определяемые видом корреляционной функции.

В частности, для экспоненциально-косинусной корреляционной

функции, наиболее характерной для процессов изменения влажности и засоренности зернового материала, эти параметры находятся из выражения:

---

(3.4)

(3.5)

(3.6)

(3.7)

Рекуррентное уравнение вида позволяет моделировать случайные процессы практически со всеми встречающимися видами корреляционных функций в процессах послеуборочной обработки зерна путем соответствующего подбора коэффициентов

При выборе начальных условий в этом уравнении, т.е. предыдущих значений последовательности  $\zeta(n)$ , нулевыми для вычисления первого значения этой последовательности имеет место некоторый переходный процесс, в результате которого начальные участки моделируемых процессов  $F(W)$  и  $F(\Psi)$  искажаются. Однако длительность переходного процесса несоизмеримо мала по сравнению с длительностью моделируемого процесса послеуборочной обработки зерна. После окончания переходного процесса последовательность становится стационарной. Поэтому задание начальных условий нулевыми не отражается на конечных результатах моделирования.

### **3.2 Модель работы пары машин**

Блок II воспроизводит работу каждой из машин в соответствии с изменяющимися характеристиками зернового материала. Управление производительностью производится соответственно изменениям параметров зерна. Управление машинами принято безинерционным, обеспечивающим стабильное значение требуемых показателей качества работы машин.

Моделями машин являются зависимости, отражающие влияние характеристик зернового материала на производительность машин, в частности, для пары сушилка-машина первичной очистки моделями служат следующие формулы:

$$\text{-----} \tag{3.8}$$

$$\tag{3.9}$$

При рассмотрении изменения производительности сушилки и ЭОМ обычно принимают, что управляющие воздействия зависят лишь от влажности  $W$  и засоренности  $\Psi$ . Однако фактически возможная производительность  $Q_{ф.с}$  сушилки не может быть больше подачи зерна  $q_1$  в нее. При недостатке зерна, поступающего на обработку, т.е. при  $Q_{д.с} > q_1$  производительность сушилки не будет определяться только влажностью, т.е. алгоритм управления производительностью изменится и управляющее воздействие будет обеспечивать условие  $Q_{ф.с} \leq q_1$  путем поддержания постоянного количества зерна в приемном бункере сушилки.

С другой стороны, если производительность сушилки  $Q_{д.с}$  превосходит в данный момент возможную загрузку ЭОМ  $Q_{д.з}$  и бункер переполнен, то величина  $Q_{д.с}$  должна быть снижена до  $Q_{д.з}$  через управляющее воздействие на сушилку. Это также можно осуществить, поддерживая постоянный уровень в бункере изменением производительности. Поэтому во избежание пересушивания зерна можно использовать воздействие на тепловой режим, снизив температуру теплоносителя.

Аналогичное рассмотрение можно провести и для управляющего действия загрузкой зерноочистительной машины.

Таким образом, фактически возможные производительности машин зависят от вместимости бункера между ними и количества зерна в нем:

Эти условия являются общими для любых пар машин поточной линии, разделенных бункерами. Они позволяют учесть потери производительности

пары машин как от несоответствия действительной производительности машин, так и от неправильного выбора промежуточной емкости.

Количество зерна в бункере вычисляли последовательным суммированием через интервал времени  $\Delta t$  разности фактической производительности машин:

$$(3.10)$$

Среднюю производительность пары машин определяли из выражения:

$$— (3.11)$$

Где  $R$  - суммарная производительность пары машин за время моделирования;

$R$  - количество дискрет случайного процесса.

Шаг дискретизации  $\Delta t$  процессов  $F(W)$  и  $F(\Psi)$  определяли с учетом спектрального состава внешних воздействий и динамических характеристик машин поточной линии. Исходя из стремления к более точному воспроизведению внешних условий рекомендуется минимальное значение  $\Delta t$ , дальнейшее уменьшение которого не приведет к более точному воспроизведению поведения выбирать из условия:  $\Delta t_{\min} = \Delta t_1$

Где  $\Delta t_1 \sim$  максимально-возможное значение, в пределах которого с заданной погрешностью можно принять условно постоянным само динамичное воздействие.

Зависимость точности ступенчатой аппроксимации колебаний параметров зерна от интервала замера  $\Delta t$  оценивали по формуле:

$$- — (3.12)$$

где  $\sigma_{\text{ош}}$  - заданная среднеквадратическая ошибка измерения.

Необходимый интервал  $\Delta t_1$  определяли графически и аналитически по корреляционной функции. Для процессов изменения влажности и засоренности при  $\sigma_{\text{ош}} = \pm 0,3\%$  интервал  $\Delta t$  составляет от 2,5 до 8 минут.

Ошибка дискретной аппроксимации непрерывных систем тем меньше,

чем меньше шаг дискретизации  $\Delta t_1$ . В пределе при  $\Delta t \rightarrow 0$  процессы в непрерывной и эквивалентной дискретной системах совпадают. Однако при уменьшении шага дискретизации увеличивается объем вычислений, поэтому шаг  $\Delta t$  целесообразно выбирать как можно большим, но удовлетворяющим заданной точности делений.

В интервале  $\Delta t$  реакция машин на изменения внешних условий считается мгновенной. В связи с этим величину  $\Delta t_{\min}$  нецелесообразно выбирать меньше максимальной возможной длительности входного процесса элемента с наименьшей инерционностью.

Согласно результатам проведенных экспериментальных исследований-динамики машины первичной очистки зерна, длительность переходного процесса составляет менее одной минуты. На основании вышесказанного шаг дискретизации принят равный 5 мин.

Таким образом, в блоке II определяется средняя производительность участка поточной линии.

### 3.3 Модель оценки эффективности работы

Блок III воспроизводит оценку эффективности работы пары машин по части приведенных затрат, зависящей от стоимостей элемента участка линии и непосредственно участвующей при оптимизации параметров  $K$  и  $V$

$$\text{-----} \tag{3.13}$$

$$\text{---}; \tag{3.14}$$

$$\text{---} \tag{3.15}$$

где  $\dots$  - доли отчислений от стоимости соответственно сушилки, ЗОМ и промежуточного бункера, руб.

В приведенных затратах, как было указано выше, преобладают

отчисления от капитальных затрат, поэтому в функцию  $\Pi_3$  включены только зависимости стоимости машин от их производительности.

Каждый раз, при изменении соотношения производительностей машин и вместимости бункера, оценка работы участка поточной линии сводится к воспроизведению работы пары машин в течение сезона при измененных  $K$  и  $V$ . Поэтому важно выбрать эффективный метод экстремума функции.

### **3.4. Модель оптимизатора функционирования участка линии**

С целью определения оптимальных сочетаний соотношения номинальных производительностей машин и вместимости промежуточного бункера необходимо минимизировать функцию  $\Pi_3$ . Для этого нужно иметь в явном виде зависимости средней производительности  $Q_{с.р}$  пары машин от  $K$  и  $V$ , а также внешних условий (характеристик зерновой массы). Аналитическое определение  $Q_{с.р}$  возможно, если характеристики условий работы машин подчинены нормальному закону и являются дифференцируемыми эргодическими процессами, а характеристики объектов линейны. Поскольку в действительности эти условия не всегда выполняются, функцию  $\Pi_3$  минимизировали использованием статистической модели работы пары машин, которая позволяет определять  $Q_{с.р}$  с учетом указания факторов, а также влияния на нее вместимости бункера и наличия зерна в нем.

#### **3.4.1. Обоснование метода оптимизации**

Выбор метода оптимизации любой функции полностью определяется ее свойствами. С целью получения характеристик функции  $\Pi_3$ , путем статистических испытаний модели выявлены одномерные зависимости приведенных затрат на тонну обработанного зерна от соотношения  $K$  номинальных производительностей зерноочистительной машины и сушилки при различных фиксированных значениях вместимости бункера (рисунок

3.2).

Анализ полученных кривых показывает, что оптимизируемый  $\Pi_3$  чувствителен к изменениям переменных  $K$  и  $V$ .

С изменением одного из параметров оптимизации существенно изменяется значение другого. Так, при  $V = 0$  оптимальное соотношение  $K = 1,4$ . При тех же условиях, но при  $V=0,8$  оптимальное соотношение  $K=1,25$ , т.е. переменные  $K$  и  $V$  нормированы между собой. Из рисунка 3.2 видно также, что функция  $\Pi_3$  непрерывна и унимодальна, т.е. имеет один экстремум, так как выполняется условия:

$$\Pi_3(1,4) < \Pi_3(1,4 > K > 1,4) \text{ при } V=0$$

$$\Pi_3(1,25) < \Pi_3(1,25 > K > 1,25) \text{ при } V=0,8$$

$$\Pi_3(1,2) < \Pi_3(1,2 > K > 1,2) \text{ при } V=1,2$$

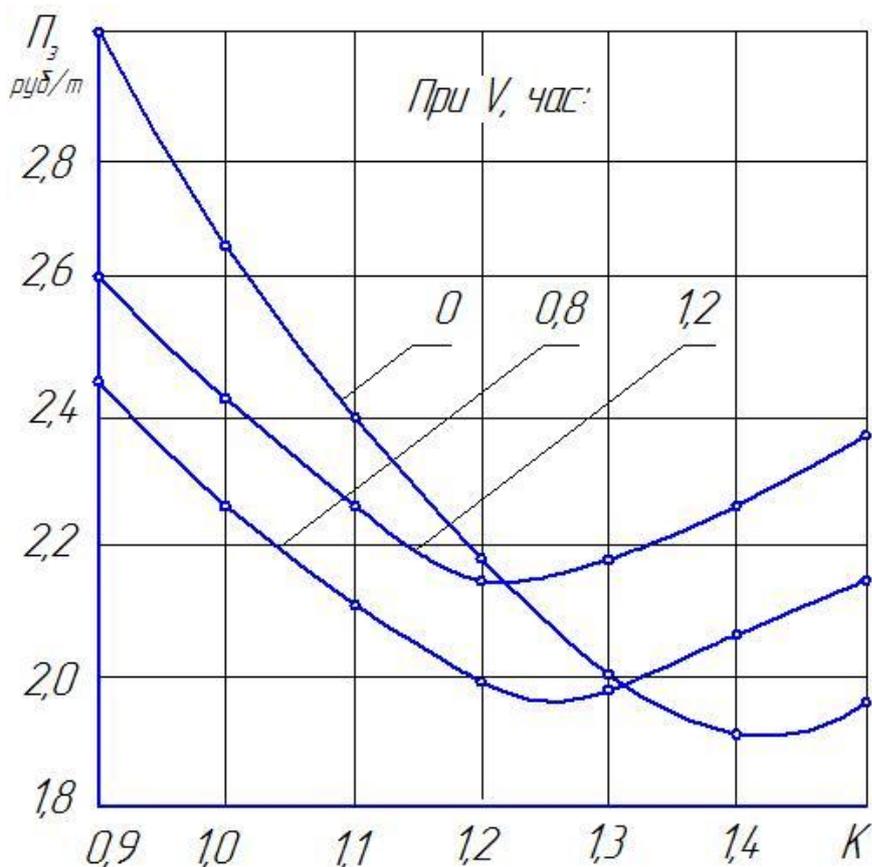


Рисунок 3.2 – Зависимость приведенных затрат от соотношения  $K$  производительности машин и относительной вместимости  $V$  бункера

Анализ приведенных затрат на эксплуатацию сушилки и ЗОМ указал

хорошую масштабированность коэффициентов уравнения (3.13): все они имеют приблизительно один и тот же порядок. А это важно с той точки зрения, что функция  $\Pi_3$  одинаково чувствительна к изменениям переменных  $K$  и  $V$ .

Так как оптимизируются параметры реального процесса, переменные  $Q_{\text{ср}}$ ,  $K$ ,  $V$  связаны физическими законами, которые должны быть включены в задачу минимизации функции  $\Pi_3$  как ограничения в виде равенства и неравенств. Первую группу ограничений, состоящую из функциональных связей, составляет самостоятельный блок в программе оптимизации работы пары машин (блок II - модель работы пары машин), который отражает зависимость средней производительности  $Q_{\text{ср}}$  от параметров  $K$  и  $V$ , а также характеристик зернового материала. Ко второй группе ограничений, включающие заданные предельные значения переменных  $K$  и  $V$ , обеспечивающие их физическую реализуемость и совместимость с технологическим процессом послеуборочной обработки зерна, относятся ограничения в виде неравенств:  $V \geq 0$ ,  $K > 0$ .

Исходя из вышеизложенного, при выборе метода минимизации функции  $\Pi_3$  исходили из следующих ее свойств: унимодальности, непрерывности, корреляции между переменными  $K$  и  $V$ , масштабированности оптимизируемых параметров.

К числу важных критериев, исходя из которых нужно выбирать наилучшую среди методов, отвечающих этим требованиям, относятся следующие: затраты, необходимые для практической реализации данного метода, степень сложности, точность решения по отношению к оптимальным параметрам значений  $K$  и  $V$ , простота практического использования.

Наиболее прост и пригоден для нахождения экстремума функции  $\Pi_3$ , метод перебора. Однако применение его неэффективно в смысле объема вычислений. Это видно из следующих соображений. Пусть  $\Delta K$  и  $\Delta V$  - заданные погрешности определения соотношения  $K$  и емкости  $V$ , а  $(K_{\text{в}}-K_{\text{а}})$  и  $(V_{\text{в}}-V_{\text{а}})$  - допустимые интервалы изменения этих параметров. Тогда для

реализации указанной погрешности следует определить функцию  $P_3$  в точках ( $K_a = K_1, K_2 \dots K_n = K_d$  равномерно отстоящих друг от друга на расстоянии при различных фиксированных уровнях.

$$\text{—————} \quad \text{—————} \quad (3.16)$$

Для определения минимума функции  $P_3$  с погрешностью 4% от интервалов ( ) и ( ) изменения параметров оптимизации  $K$  и  $V$ , нужно произвести 102 измерения. А каждое измерение функции  $P_3$  связано с воспроизведением работы машин поточной линии в течение сезона при фиксированных  $K$  и  $V$ . Чтобы не ошибиться при определении оптимума функции, необходимо задаться достаточно большими интервалами изменения оптимизируемых параметров, что, в свою очередь, приводит к снижению точности решения.

Использование аналитических методов для минимизаций функции  $P_3$  затруднено, так как для этого прежде всего необходимо определить зависимость  $Q_{c.p} = f(K, V)$  с целью задания функции  $P_3$  в явном виде. Определение этой зависимости усложняется тем, что характер ее протекания помимо управляемых переменных  $K$  и  $V$  существенное влияние оказывают характеристики входного потока зернового материала: математические ожидания, дисперсии корреляционные функции процессов изменения влажности и засоренности. Поэтому, каждый раз, при оптимизации работы машин поточной линии для конкретной зоны, необходимо определение зависимостей  $Q_{c.p} = f(K, V)$

Использование экспериментальных методов, основанных на испытании непосредственно реальных объектов, исключено, так как строительство линий исчисляется годами, а результаты экспериментальных исследований полученные на одной линии используются для планирования другой линии, позволяющей получить улучшенные результаты. К тому же для выбора оптимальных параметров машин необходимо исследовать работу их в течение нескольких сезонов, ибо характеристики параметров зернового материала в течение одного сезона могут быть чисто случайными и не

характерными для данной зоны.

На целесообразность применения численных методов нелинейного программирования для минимизации функции  $\Pi_3$  указывает тот фактор, что переменные  $K$  и  $V$  не требуют масштабирования. Применение методов нелинейного программирования использующие производные нежелательно, во-первых, из-за трудности получать производные от функции  $\Pi_3$  в виде аналитических функций, необходимых для градиентного алгоритма или алгоритма, использующего производные второго порядка. Во-вторых, при использовании методов оптимизации, основанных на вычислении первых и при необходимости вторых производных, потребовалось бы больше времени на подготовку задачи к решению из-за возникшей необходимости в определении зависимостей  $Q_{c,p} = f(K, V)$  для различных условий послеуборочной обработки зерна. Результаты испытаний показали, машинное время, необходимое для получения зависимости  $Q_{c,p} = f(K, V)$  применительно к какой-либо одной зоне, составляет 30...40 минут. Использование прямых методов поиска экстремума позволяет сократить это время до 5...15 минут.

Экстремум функции  $\Pi_3$  находится в области положительных значений  $K$  и  $V$ , поэтому ограничения ( $V > 0, K > 0$ ) не являются определяющими условиями при выборе метода оптимизации, то есть в данном случае применимы методы минимизации без ограничений.

Методы поиска простейшего типа не дают нужного эффекта из-за взаимодействия между переменными  $K$  и  $V$ . Следовательно, для оптимизации функции  $\Pi_3$  наиболее приемлем прямой метод поиска экстремума.

### **3.4.2. Алгоритм прямого поиска**

Воспроизводится анализ качества работы пары машин путем изменения оптимизируемых параметров  $K$  и  $V$  и выбор их такими, чтобы обеспечивался

минимум приведенных затрат с соблюдением требований, предъявляемых к обработке зернового материала (рисунок 3.3).

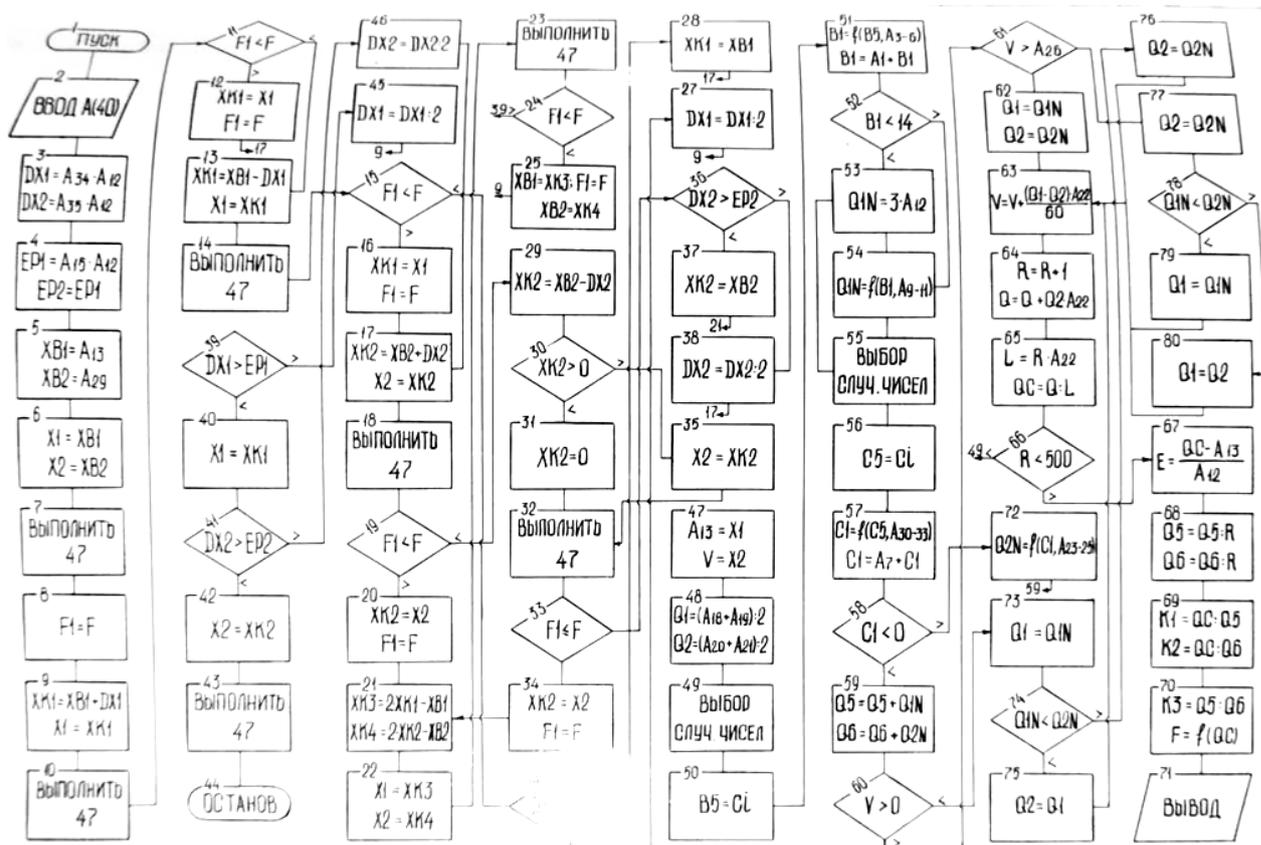


Рисунок 3.3 – Алгоритм оптимизации параметров участков поточной линии

Задаются начальные значения оптимизируемых параметров:  $K_0$  и  $V_0$  также начальные приращения  $\Delta K_0$  и  $\Delta V_0$ .

Чтобы начать «исследующий поиск», следует вычислить значения функции  $\Pi_3$  в базисной точке. Затем в циклическом порядке каждый из  $K$  и  $V$  поочередно увеличивается на величину  $\Delta K$  и  $\Delta V$ . Если приращение не уменьшает функцию,  $K_0$  изменяется на  $\Delta K$  и проверяется значение  $\Pi_3$ . Если значение  $\Pi_3$  не уменьшают ни  $K_0 + \Delta K$ , ни  $K_0 - \Delta K$  то  $K_0$  оставляют без изменений. Затем  $V_0$  изменяют на величину  $\Delta V_0$ , что завершает один "исследующий поиск". На каждом шаге или сдвиге по переменным  $K$  и  $V$  значение функции  $\Pi_3$  сравнивается с ее значением в предыдущей точке. Если функция уменьшается на данном шаге, то ее старое значение заменяется на новое при последующих сравнениях. Если же произведенное возмущение по

К или V неудачно, то сохраняется прежнее значение  $\Pi_3$ .

После проведения одного "исследующего поиска" применяется стратегия поиска по образцу. Удачные изменения переменных в последующем поиске (т.е. те изменения K и V, которые уменьшили  $\Pi_3$ ), определяют вектор направления минимизации. Серия ускоряющих шагов, или поиск по образцу, проводится вдоль вектора до тех пор, пока  $\Pi_3$  уменьшается при каждом таком поиске. Длина шага при поиске по образцу в данном координатном направлении приблизительно пропорциональна числу удачных шагов, имевших место ранее в этом координатном направлении во время "исследующих поисков" за несколько предыдущих циклов. Исследующий поиск проводимый после поиска по образцу, называется исследующим поиском типа II, успех или неудачу этого поиска нельзя установить до завершения поиска. Если  $\Pi_3$  не уменьшается в процессе исследующего поиска типа II, то данный поиск неудачен, и проводится новый исследующий поиск типа I, для определения нового удачного направления. Если последующий поиск типа I не дает нового направления, то последовательно уменьшаются  $\Delta K_0$  и  $\Delta V_0$ , пока либо можно будет определить новое удачное направление либо  $\Delta K_i$  и  $\Delta V_i$  не станут меньше, чем некоторые установленные допустимые величины DK и DV. Значения DK и DV обуславливаются необходимой точностью деления параметров K и V. Невозможность уменьшить  $\Pi_3$  когда  $\Delta K_i$  и  $\Delta V_i$  достаточно малы, указывает на то, что достигнут оптимум.

Пример процесса поиска параметров K и V (рисунок 3.4). параметры K и V представлены в виде двумерного вектора. Оптимизацию параметров участка (сушилка-машина первичной очистки) проводили при следующих исходных данных: распределения значений влажности и засоренности было принято нормальным и имеющим корреляционные функции вида

математическое ожидание влажности  $m_w = 20\%$ , засоренности  $m_\psi = 7\%$ , среднеквадратическое отклонение влажности  $\sigma_w = \pm 2\%$ , засоренности  $\sigma_\psi = \pm 3\%$ ; доли отчислений от стоимостей отделений  $a_1 = 712$ ,  $a_2 = 4,2$ ,  $a_3 = 51$ ;

базисные значения переменных  $K_0 = 1$ ,  $V_0 = 0,7$ ; начальные приращения  $\Delta K_0=0,1$ ,  $\Delta V_0 = 0,1$  часа; точность определения параметров  $DK = 2\%$ ,  $DV=2\%$ .

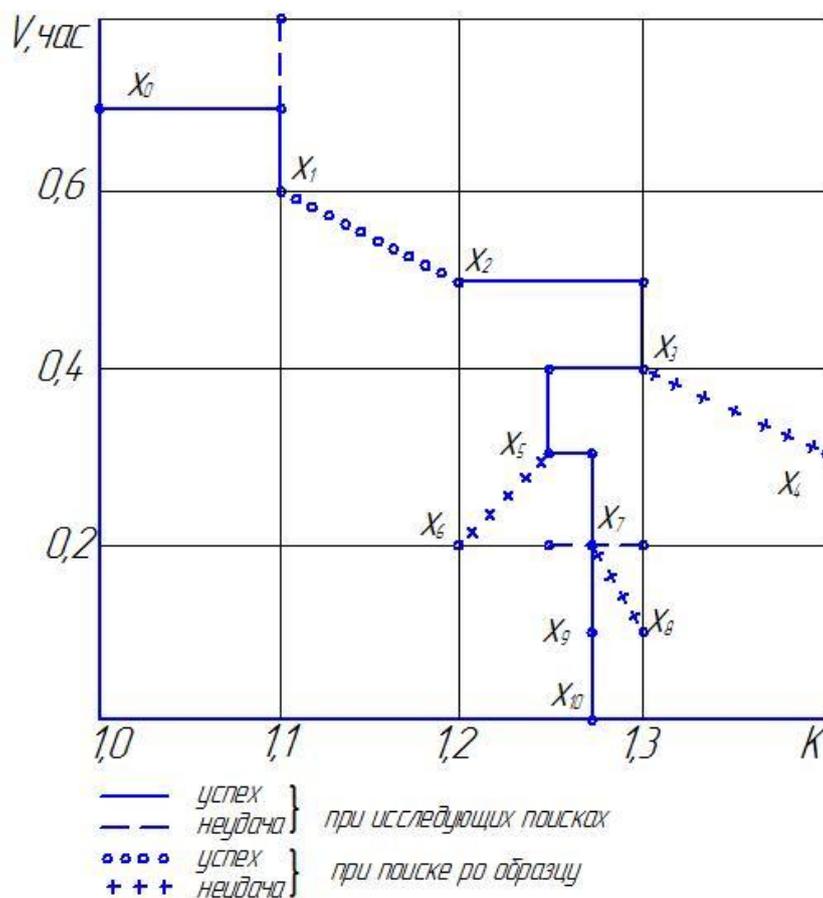


Рисунок 3.4 – Оптимизационный поиск соотношения  $K$  производительностей машин и относительной вместимости  $V$  бункера

### 3.5 Оценка адекватности модели и реального процесса

Математическая модель участка поточной линии послеуборочной обработки зерна строится на принципах функционального объединения элементов, отображающих и характеризующих некоторые, определенные процессы принятия решений в ходе выполнения реальной системой своего целевого назначения. Оценка адекватности модели реальной системе и сводится к оценке точности функционального объединения отдельных машин линии. При этом модели элементов обоснованные результатами натуральных экспериментов, считаются адекватными объектам.

Модель считается адекватной реальной системе в том случае, когда доказано, что выборки моделируемых и реальных значений показателей эффективности системы имеют одинаковые законы распределения или принадлежат к одной и той же генеральной совокупности.

В качестве показателя эффективности функционирования участка поточной линии обработки зерна при оценке адекватности принята производительность пары машин, определяемая производительностью зерноочистительной машины. Натурные испытания проводили на комплексе КЗС-20Ш. При этом через каждые полчаса определяли производительность участка линии и характеристики зернового материала по влажности и засоренности (таблица 3.1). При статистических испытаниях модели воспроизводили те же внешние условия, что и при натуральных. Изменения производительности  $Q_{cp}$  при испытании натуральных (кривая 2) и на модели (кривая 1) показаны на рисунке 3.5.

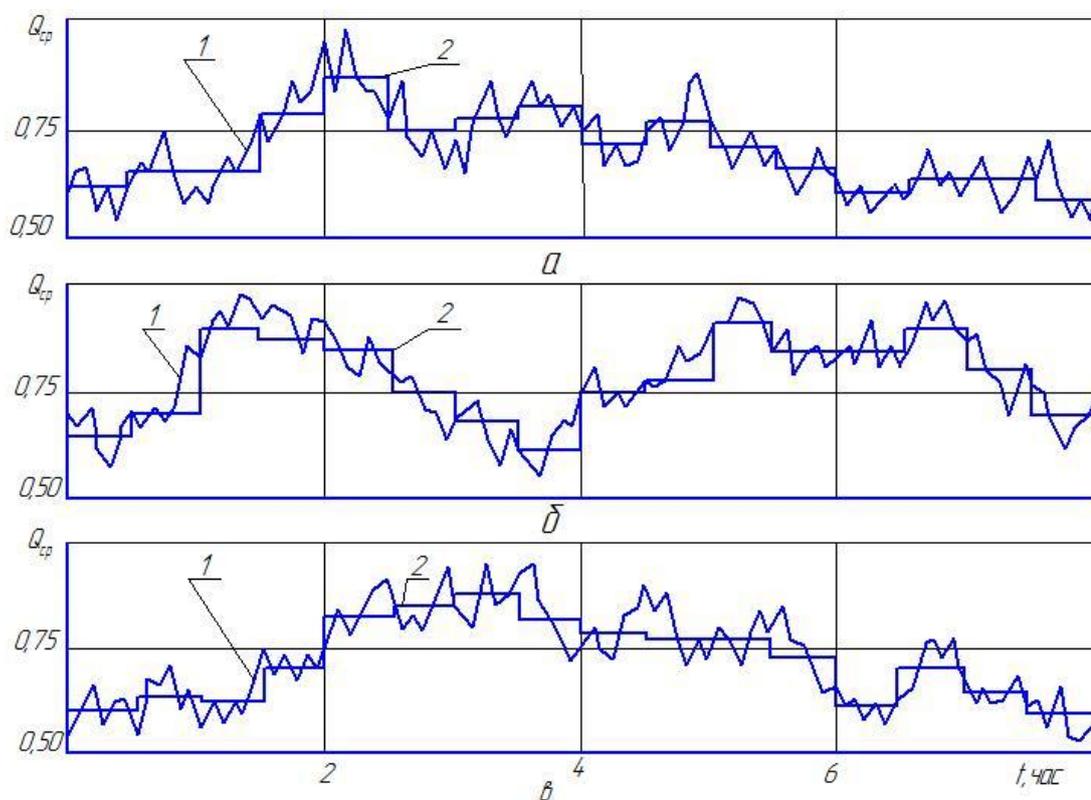


Рисунок 3.5 – К оценке адекватности модели и реального технологического процесса

Таблица 4.1– Результаты испытаний натурной и статистической моделей

	$\sigma_w$	$\Psi_3$	$\sigma_3$	$\Psi_m$	$\sigma_m$	$\Psi_k$	$\sigma_k$	$Q_{ср.н}$	$Q_{ср.н}$	$P(x^2)$
23,7	1,4	4,5	1,2	2,3	0,6	1,3	0,4	0,71	0,73	0,809
22,5	1,7	3,8	1,1	2,1	0,5	1,4	0,6	0,78	0,82	0,903
23,5	1,6	4,0	1,4	2,5	0,6	1,6	0,3	0,78	0,75	0,831

Принадлежность выборок моделируемых и реальных значений производительности пары машин к одной и той же генеральной совокупности проверяли по критерию Пирсона

————— — — —

где  $N_1$  и  $N_2$  - объемы выборок.

Проверка показала, что обе выборки с вероятностью 0,809... 0,903 принадлежат одной совокупности, т.е. результаты моделирования пригодны для практического использования. Завышенные значения средней производительности участка линии при моделировании по отношению к средней производительности при натурных испытаниях объясняется тем, что при экспериментировании на реальной поточной линии заведомо работали на пониженных производительностях, стремясь получить кондиционное зерно (влажность зерна на выходе из сушилки поддерживалась в пределах 12...14,5%).

Погрешность воспроизведения производительности участка поточной линии не превышает 0,03 от номинальной ее производительности.

### 3.6 Выводы к главе 3

Статистическая модель функционирования и оптимизации участка поточной линии рекомендуется для исследования линий с любыми характеристиками машин и внешних условий. Погрешность воспроизведения работы линии не превышает 3% номинальной ее производительности.

Выбранный метод поиска экстремума функции позволяет учесть свойства критерия функционирования поточной линии и определить оптимальные параметры  $K$  и  $V$  практически с любой заданной точностью и с наименьшими затратами.

Логические условия управления машинами, отраженные в модели являются общими для любых пар машин поточной линии с непрерывным технологическим процессом, разделенных бункерами, поэтому статистическая модель рекомендуется при оптимизации их работы.

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

### 4.1 Оценка влияния допущений на результаты расчета

До оценки аналитического метода расчета параметров  $K$  и  $V$  был выбран такой вариант входных параметров алгоритма, при которых исследуемая задача допускает простое аналитическое решение. Затем сравнивали результаты аналитического решения с результатами решения на ЦВМ при тех же параметрах. В качестве меры погрешности была выбрана величина расхождения этих результатов.

Сравнительный расчет проводили при следующих исходных данных: распределение влажности и засоренности нормальное с параметрами распределения:  $m_w = 20\%$ ,  $m_\psi = 10\%$ ,  $\sigma_\psi = \pm 2\%$ ,  $\sigma_w = \pm 2\%$ , корреляционные функции процессов изменений  $W$  и  $\Psi$  имеют вид:

$$- \tag{4.1}$$

где  $\alpha = 1,1/\text{час}$ ,  $\beta = 1,5$  1/час - при изменении влажности зерна;  $\alpha = 1,5$  1/час,  $\beta = 2,0$  1/час - при изменении засоренности зерна; статические характеристики машин приняты линейными; коэффициент соотношения удельных стоимостей сушилки, машины первичной очистки и промежуточного бункера равен  $C_c:C_3:C_v = 50:10:1$ ; при поиске оптимальных параметров  $K$  и  $V$  доли отчислений от стоимостей изменяются пропорционально изменению их производительности и вместимости бункера.

Параметры  $a_0, a_1, v_0, v_1$  рекуррентном уравнении корреляционной функции вида определяются из соотношений с использованием дополнительно формул:

$$- \tag{4.2}$$

$$- \tag{4.3}$$

Результаты аналитического расчета показывают, что наилучшие показатели работы пары машин с точки зрения минимума приведенных

затрат обеспечиваются при  $K = 1$  и  $V = 0,95$  часа. Оптимизацией параметров машин путем статистического моделирования работы при указанных выше исходных данных установлено, что оптимум достигается при  $K= 1$  и  $V = 0,82$ .

Заниженное значение вместимости бункера указывает на то, что аналитический метод расчета параметров  $K$  и  $V$  не учитывает возможности ограничения производительности дорогой машины. Для машин, близких по стоимости, необходимая емкость занижается до  $V=0,24$  часа. При коэффициенте соотношения удельных стоимостей сушилки и зерноочистительной машины равном десяти, результаты аналитического расчета и расчета на статистической модели (рисунок 4.1,б) достаточно близки к 0,88 (0,95 и 0,88, расхождение составляет 7%).

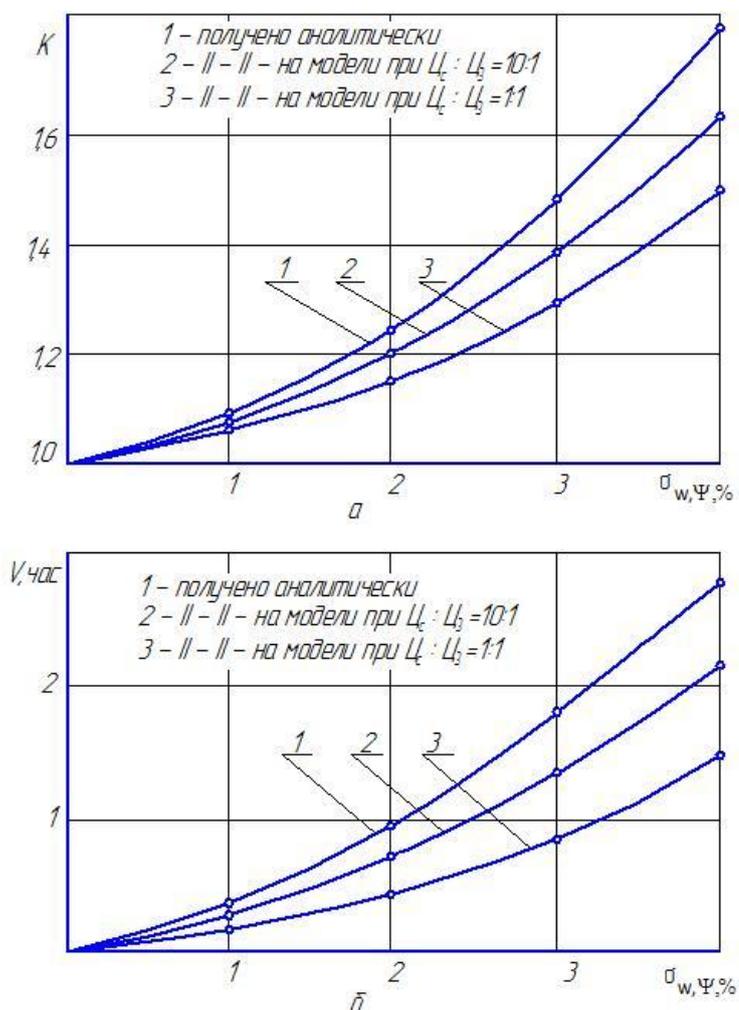


Рисунок 4.1 – Зависимость соотношения  $K$  (а) и относительной вместимости  $V$  (б) от среднеквадратических отклонений параметров зерна и соотношений стоимостей машин

Статистическими испытаниями модели установлено, что с изменением коэффициента соотношения удельных стоимостей зерноочистительной машины и бункера изменяется и сочетание соотношения  $K$  и  $V$ , т.е. возможны и промежуточные варианты, когда и  $K \neq 1$  и  $V = 0$ . Аналитический же метод расчета построен в предположении, что могут быть только два граничных случая - либо прямоточная линия ( $K \neq 1$ ,  $V = 0$ ) либо линия с межоперационными емкостями ( $K = 1$ ,  $V \neq 0$ )

Выявлено, что зависимость между оптимизируемыми переменными  $K$  и  $V$  (рисунок 4.2, кривая 1) линейна только в случае независимости значений параметров обрабатываемого материала (белый шум). При этом оптимум находится либо на оси  $K$ , либо на оси  $V$  в зависимости от коэффициента соотношения стоимостей зерноочистительной машины и бункера. Однако в реальных условиях процессы  $W(t)$  и  $\Psi(t)$  имеют корреляционные функции, отличные от  $R_{w,\psi}(\tau) = 0$ . В этом случае зависимость между  $K$  и  $V$  нелинейна (рисунок 4.2, кривая 2). Следовательно, при поиске оптимума функции  $\Pi_3$ , если  $\Pi_3:\Pi_v = 1:1$  возможно движение по двум переменным сразу. Нелинейность характеристик оборудования поточной линии значительно отражается на выборе параметров  $K$  и  $V$ . Так, при нелинейной статической характеристике сушилки, но при прочих указанных выше исходных данных, испытаниями модели выявлено, что необходимая вместимость промежуточного бункера завышается до  $V = 0,98$  часа.

В некоторых случаях экспериментально наблюдаемые законы распределения параметров зерна имеют отклонения от нормального, т.е. величины асимметрии и эксцесса отличаются от нуля. С целью оценки влияния этих отклонений на результаты расчета вводились обращенные таблицы, характеризующие функции распределения влажности и засоренности, и изменяли значения асимметрии и эксцесса от -3 до 3. Путем экспериментирования на модели при прочих равных условиях установлено, что, значение требуемой вместимости бункера при этом колеблется в пределах 0,71...0,92. Причем, большие значения предела в случае

отрицательной асимметрии и положительного эксцесса, а меньшие – при противоположных их значениях.

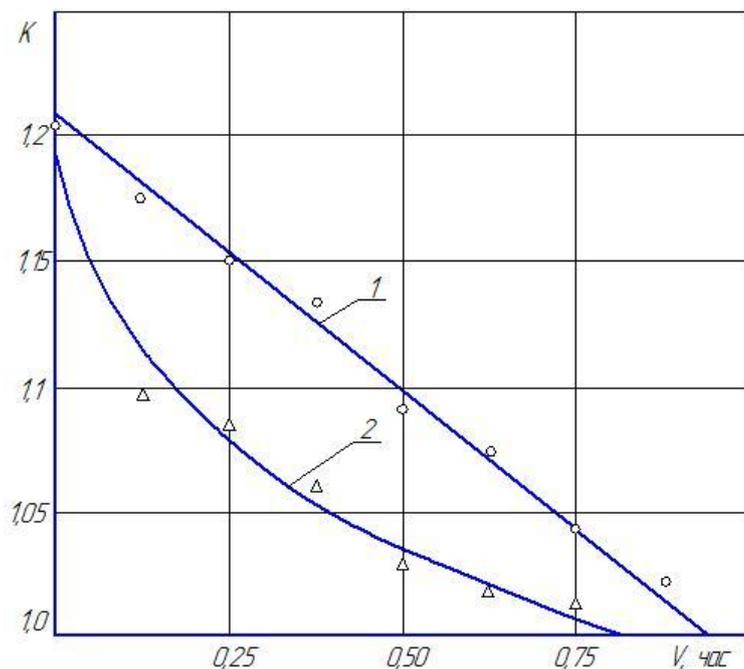


Рисунок 4.2 – Зависимость соотношения K производительности машин от относительной вместимости V бункера

Расчет погрешности разбиения поточной линии на участки проводили в следующей последовательности.

С одинаковыми характеристиками машин и одинаковыми условиями работы ( $m_x = 20\%$ ,  $\sigma_x = 2\%$ ) определяли динамическую вставляющую  $K_{дин}$  соотношения номинальных производительностей машин соответствующих участков по программе "Поточная линия", предназначенной для оптимизации работы линии из n элементов, включающей ограничивающее звено.

Для тех же условий и с теми же характеристиками машин определяли  $K_{дин}$  для первого участка по программе "ПМ-4". При этом удельную стоимость первой машины принимали в 20 раз большей второй машины. Это позволяло определять параметры  $K_{дин}$  и V такими, чтобы производительность первой машины была без запасов. То есть условия оптимизации на модели для участка брали соответствующими условиям, при которых возможна оптимизация линии из n элементов.

С учетом сказанного выше, а также средней производительности первого участка и распределения его результирующей производительности определяли  $K_{\text{дин}}$  для второго участка по программе "ПМ-4".

Статистическими испытаниями моделей "Поточная линия" и "ПМ-4" получены значения  $K_{\text{дин}}$  для первого участка - 1,22 и 1,20, а для второго участка 1,26 и 1,23. Расхождение между ними является мерой погрешности разбиения поточной линии на расчетные участки, которая не превышает 3%.

#### **4.2. Влияние условий работы и характеристик машин на фактическую производительность и оптимальные параметры участка линии**

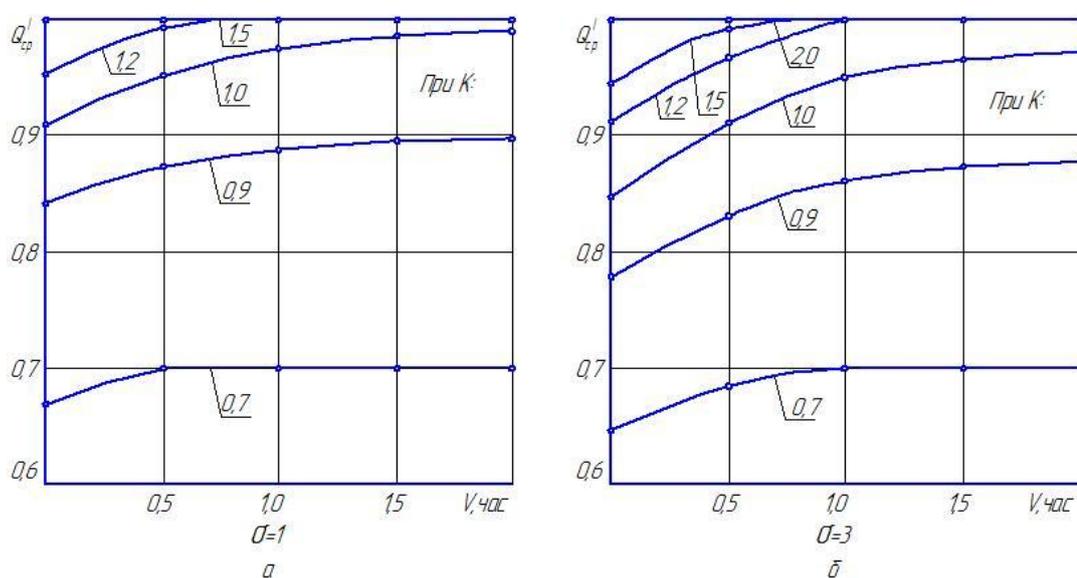
Основными характеристиками, влияющими на фактическую производительность участка линии, являются: соотношение номинальных производительностей машин, вместимость промежуточного бункера, средние квадратические отклонения параметров обрабатываемого материала, характеристики распределения (асимметрия  $A$ , эксцесс  $E$ ), параметры корреляционных функций, характеристики машин.

Фактически возможная производительность участка линии не может быть больше действительной производительности первой машины, поэтому средняя производительность  $Q_{\text{ср}}$  пары машин в пределе стремится к единице, несмотря на то, что соотношение  $K$  увеличивается более единицы (рисунок 4.3). С увеличением соотношения  $K$  увеличивается  $Q_{\text{ср}}$ : при  $V = 0$  и  $K = 0,9$   $Q_{\text{ср}}=0,77$ , а уже при  $K = 1$   $Q_{\text{ср}} = 0,85$  (рисунок 4.3,а). Завышение  $K$  более чем в 1,5 раза при  $\sigma_{w,\psi} = 1\%$  и более чем в 2 раза при  $\sigma_{w,\psi} = 3\%$  не приводит к возрастанию  $Q_{\text{ср}}$ .

Влияние вместимости  $V$  бункера на  $Q_{\text{ср}}$  сказывается существенно при  $K=1\pm 0,2$ . Увеличенные значения  $V$  (свыше одного часа) не дают значительного эффекта возрастания производительности. Так, при  $K=1$ ,  $\sigma_{w,\psi}=1,3\%$  и изменении вместимости бункера от 0 до 1 часа и от 1 до 2 часов средняя производительность изменяется соответственно на 0,1 и 0,02.

Исследование влияния колеблемости параметров зерна на  $Q_{cp}$  указывает, что чем выше колебания, тем ниже средняя производительность участка. При  $K=1$  и  $V=0$ , изменении среднеквадратических отклонений влажности и засоренности от 1 до 3%  $Q_{cp}$  изменяется от 0,91 до 0,85.

При изменении параметров распределения значений влажности и засоренности (асимметрии и эксцесса) от -3 до 3  $Q_{cp}$  изменяется от 0,93 до 0,96. Причем, чем выше разница  $A$ ,  $E$  для влажности и засоренности, тем ниже  $Q_{cp}$ .



а –  $\sigma_{w,\psi}=\pm 1\%$ ;

б –  $\sigma_{w,\psi}=\pm 3\%$

Рисунок 4.3 – зависимость производительности участка линии от соотношения  $K$  производительностей машин к относительной вместимости  $V$  бункера

Значительное влияние на  $Q_{cp}$  оказывает вид корреляционной функции. Так, при экспоненциальных корреляционных функциях параметров зерна  $Q_{cp}=0,95$ . При идентичных исходных данных, но экспоненциально-косинусной корреляционной функции влажности зерна  $Q_{cp}=0,89$ . Исследование влияния изменения параметров  $\alpha$  (интенсивности затухания) и  $\beta$  (средней частоты периодических составляющих случайного процесса)

корреляционной функции в пределах (влажность -  $\alpha = (1,6-2,5) 10^4$  1/сек;  $\beta=(2,6-3,0 10^4$  1/сек; засоренность -  $\alpha (1,8-4,2) 10^4$  1/сек;  $\beta = (5,6-6,5) 10^4$  1/сек) на  $Q_{cp}$  показывает, что для рассмотренных в работе хозяйств они незначительно влияют на  $Q_{cp}$  ( $Q_{cp}$  изменяется не более чем на 0,02). Время спада корреляционной функции для влажности (102-140 мин) и до засоренности (35...52 мин), полученное нами, типично и для зон, исследованных другими авторами [29,35]. Поэтому рекомендуемая номограмма может быть использована при оптимизации параметров участка очистительно-сушильного комплекса применительно к условиям этих зон.

Характеристики машин также влияют на среднюю производительность участка линии. Так, при линейных характеристиках машин

$$Q_{д.с}=Q_{н.с}(2,62-0,081W_{вх}) \quad (4.4)$$

$$Q_{д.з.}=Q_{н.з.}(1,15-0,018\Psi_{к} 0,017\Psi_{м}+0,026\Psi_{з}+0,021\Psi_{п}) \quad (4.5)$$

$Q_{cp}$  составляет 0,97, а при характеристике сушилki, соответствующей формуле (3.5), и прочих равных условиях  $Q_{cp}= 0,91$ .

Это обусловлено тем, что распределение результирующей производительности участка линии отлично от нормального даже в случае нормального распределения параметров обрабатываемого материала из-за нелинейности характеристики сушилki (рисунок 4.4).

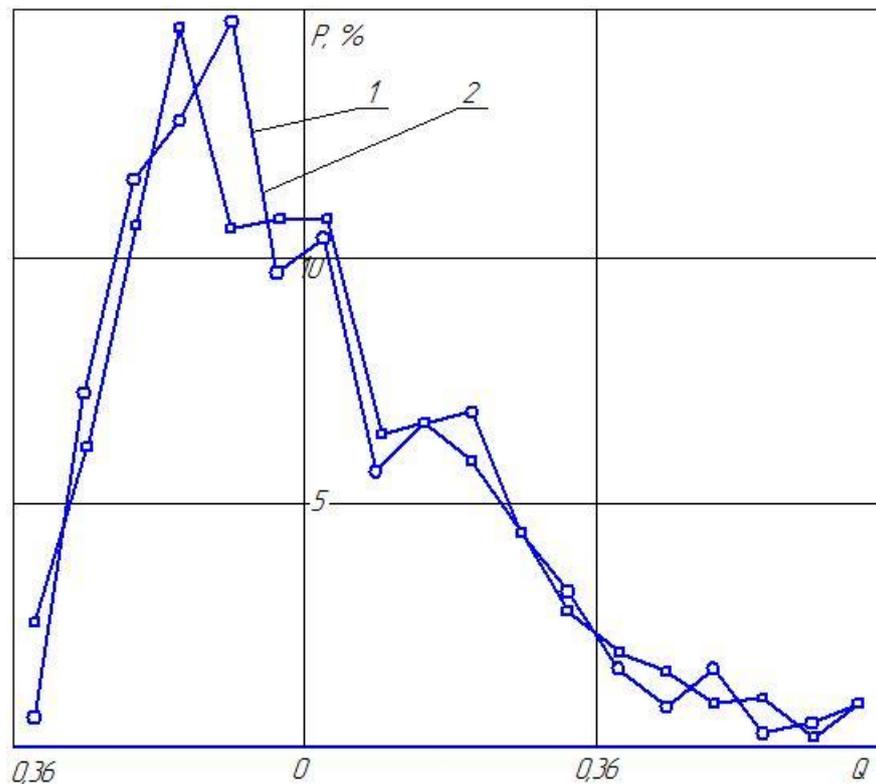


Рисунок 4.4 – Плотность распределений производительности сушилки (1) и результирующей производительности

Кривые плотностей распределений производительностей получены для участка (Сушилка (СЗШ-16) - машина первичной очистки (ЗАВ10.30.000)) при нормальном распределении исходной влажности и засоренности зерна. При этом моделями машин служили соотношения (3.5) и (3.6). Вид нелинейности функции, присущей характеристике сушилки, снижает производительность участка линии.

Как видно из рисунков 4.2 и 4.3, введение бункера позволяет несколько повысить  $Q_{ср}$  и снизить приведенные затраты  $\Pi_3$ . В дальнейшем, с увеличением вместимости бункера, прирост  $O_{ср}$  снижается и увеличение стоимости бункера не компенсируется приростом производительности. Такие же рассуждения можно привести и относительно соотношения  $K$ . Например, при  $V=0,8$   $\Pi_3$  снижается от 245 руб/т до 195 руб/т при изменении  $K$  от 0,9 до 1,25. Дальнейшее увеличение  $K$  приводит к возрастанию  $\Pi_3$  (рисунок 3.2). Оптимальное значение  $K$  различно при различных  $V$ :  $V=0$  –  $K=1,4$ ,  $V=0,8$

часа – К- 1,25.

На выбор оптимальных параметров К и V влияют указанные выше факторы, а также коэффициент соотношений удельных стоимостей ЗОМ и сушилки ( $\Pi_3:\Pi_c$ ), ЗОМ и бункера ( $\Pi_3:\Pi_v$ ). Испытаниями статистической модели (ПМ-4) функционирования участка (сушилка- машина первичной очистки) зерноочистительно-сушильного комплекса с учетом всех этих факторов получена номограмма (рисунок 4.6), позволяющая выбирать параметры К и V для условий конкретных зон (пунктирными линиями на рисунке изображено протекание кривых  $\sigma_{w,\Psi}=1\%$ , а сплошными при  $\sigma_{w,\Psi}=3\%$

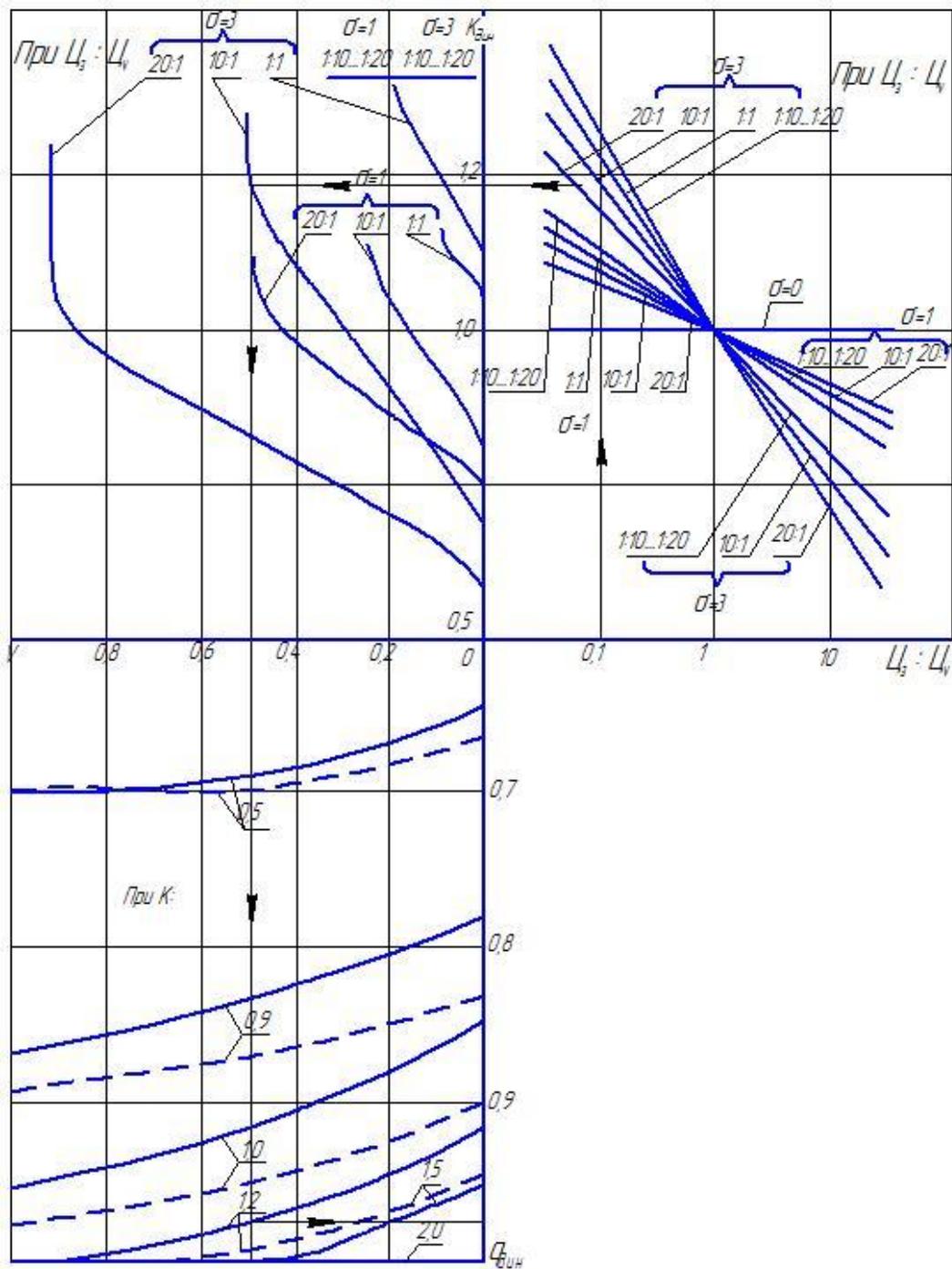


Рисунок 4.5 – Номограмма для выбора  $K_{дин}$  и  $V$ , а также коэффициента  $Q_{дин}$ , учитывающего взаимодействие машин в линии, в зависимости от характеристик зерна и коэффициента соотношения удельных стоимостей звеньев

С увеличением средних квадратических отклонений параметров зерна требуются большее завышение производительностей машин и большая вместимость промежуточного бункера, обеспечивающие минимум

приведенных затрат на обработку зерна. В случае, когда удельные стоимости машин поточной линии равны между собой целесообразно подбирать машины равной паспортной производительности ( $K=1$ ,  $V=0$ ). Если же стоимость сушилки больше стоимости ЗОМ в десять раз, требуемое соотношение  $K$  при изменении  $\sigma_{w,\psi}$  от 1 до 3% изменяется от 1,07 до 1,28.

При коэффициенте соотношения удельных стоимостей бункера и зерноочистительной машины (4 и более) необходимо линию делать прямоточной при любых соотношениях стоимостей сушилки и ЗОМ и характеристиках обрабатываемого материала.

С изменением коэффициента соотношения  $\Pi_3$  и  $\Pi_v$  требуемое завышение  $K$  изменяется от 1,07 до 1,12 при  $\sigma_{w,\psi}=1\%$  и от 1,16 до 1,28 при  $\sigma_{w,\psi}=3\%$ . Изменение  $K$  компенсируется за счет промежуточного бункера с целью получения минимума функции  $\Pi_3$ .

Потребная вместимость промежуточного бункера в зависимости коэффициента соотношения  $\Pi_3$  и  $\Pi_c$ , а также  $\Pi_3$  и  $\Pi_v$  составляет от 0 до 0,9 часа. Причем, наибольшие ее значения  $\Pi_3$ :  $\Pi=20$  равно 0,9 часа ( $\sigma_{w,\psi}=3\%$ ) и 0,47 ( $\sigma_{w,\psi}=1\%$ ).

Таким образом, для выбора оптимальных параметров участка (сушилка-машина первичной очистки) очистительно-сушильного комплекса необходимо иметь; средние квадратические отклонения влажности и засоренности, характеристики распределения, параметры корреляционной функции, характеристики сушилки и ЗОМ, соотношение стоимостей машин.

#### 4.3. Рекомендации по выбору оптимальных параметров

Соотношение номинальных производительностей машин складывается из статического  $K_{ст}$  и динамического  $K_{дин}$  составляющих, обусловленные соответственно средними значениями параметров зерна и динамикой их изменения:

$$K=K_{ст} \cdot K_{дин} \quad (4.6)$$

Статическая составляющая определяется отношением действительных производительностей ЗОМ и сушилки:

$$\frac{Q_{\text{ЗОМ}}}{Q_{\text{сушилки}}} = \dots \quad (4.7)$$

где  $K_c$   $K_z$  - коэффициенты, учитывающие изменения производительностей сушилки и ЗОМ в зависимости от математического ожидания соответственно исходной влажности и засоренности зерна.

На основании формул (4.6) и (4.7) можно написать:

$$\frac{\dots}{\dots} \quad (4.8)$$

Динамическая составляющая обусловлена протеканием процессов и  $W(t)$  и  $\Psi(t)$  при равенстве  $Q_{\text{дс}}$  и  $Q_{\text{дз}}$  и определен по номограмме (рисунок 4.5) в зависимости от средних квадратических отклонений параметров зерна и коэффициента соотношение удельных стоимостей элементов участка.

При оптимизации параметров последующего участка необходимо учитывать результаты работы предыдущего участка: ее среднюю производительность и закон распределения. Средняя производительность определяется в зависимости от  $K_{\text{дин}}$  и  $V$  по рисунку 4.3. Закон распределения производительности участка линии можно подучить, используя программу ПМ-4.

После установления оптимальных параметров  $K_{\text{дин}}$  и  $V$  можно определить коэффициент для ввода в формулу сезонной производительности, например, при расчете нормативов потребности сельского хозяйства в очистительных агрегатах и очистительно-сушильных комплексах для послеуборочной обработки зерна в хозяйствах, учитывающий снижение производительности линии из-за случайного характера изменения производительностей машин:

$$\frac{\dots}{\dots} \quad (4.9)$$

где  $Q_{\text{н.л}}$  - номинальная производительность линии в плановых тоннах за

час;

$\eta$  - коэффициент использования рабочего времени;

$T$  - нормативные сроки работы линии в сезон;

$K_w$  - коэффициент, учитывающий уборочную влажность зерна;

$\beta$  - коэффициент, учитывающий неравномерность поступления зерна и компенсирующее действие вентилируемых бункеров;

$K_k$  - коэффициент учитывающий вид обрабатываемого зерна;

$K_p$  - коэффициент учитывающий режим сушки;

$q_{\text{дин}}$  - коэффициент, учитывающий изменения производительностей машин.

Коэффициент  $q_{\text{дин}}$  определяется в зависимости от  $K_{\text{дин}}$  по номограмме (рисунок 4.5).

Величине вместимости бункера (абсолютная) с учетом номинальной производительности линии может быть определена по формуле:

$$V_{\text{абс}} = V \cdot Q_{\text{н.с}} \quad (4.10)$$

Для получения необходимых данных с целью оптимизации последующих участков нужно использовать программу "ПМ4". При этом необходимо руководствоваться следующим.

Количество шагов, необходимых для достижения оптимума, зависит от следующих факторов: базисных значений  $K_0$  и  $V_0$ , начальных приращений  $\Delta K_0$  и  $\Delta V_0$ , заданной точности  $DK$  и  $DV$  определения параметров.

В исследующих поисках типа I и типа II итерационные шаги предусмотрены в сторону уменьшения и увеличения базисных значений  $K_0$  и  $V_0$  (рисунок 4.4). Следовательно, при завышенных значениях  $K_0$  и  $V_0$  будет наблюдаться увеличение количества шагов, необходимых для достижения оптимума, т.к. в программе предусмотрено вначале изменение  $K_0$  на  $+\Delta K_0$ , а затем на  $-\Delta K_0$ . На это указывает резкое изменение крутизны кривых на рисунке 4.6 после достижения оптимальных базисных значений  $K = 1,12; 1,27; 1,42$  при соответствующих характеристиках зерновой массы. Поэтому желательно задаваться заниженными значениями  $K_0$  в пределах  $1,1 \dots 1,2$ .

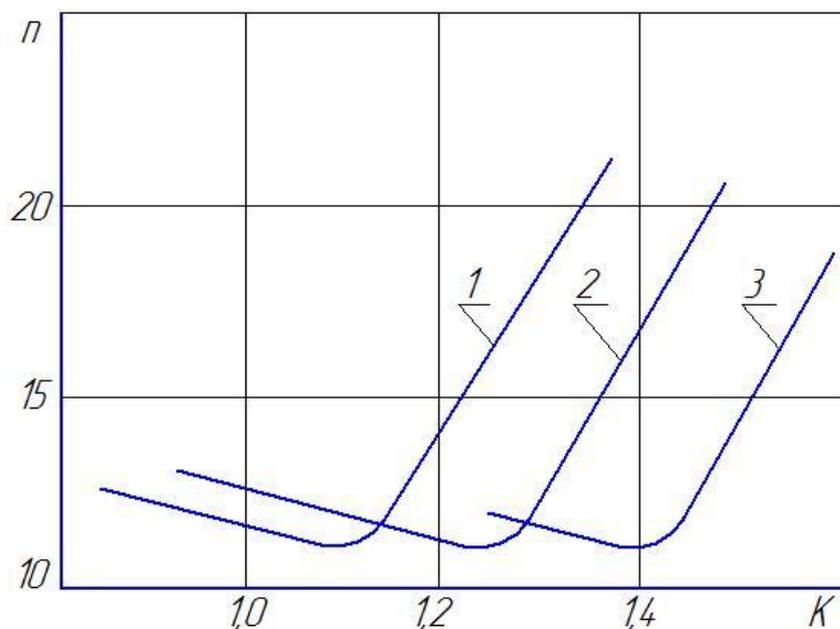


Рисунок 4.6 – Количество шагов, необходимое для достижения оптимума в зависимости от базисных значений

Как показали испытания модели с различными значениями  $\Delta K_0$  и  $\Delta V_0$  начальных приращений при фиксированных оптимальных базисных значениях переменных  $K$  и  $V$ , наименьшее количество шагов, необходимое для достижения оптимума будет при  $\Delta K_0=0,1 \dots 0,2$  и  $\Delta V_0=0,08 \dots 1,0$  часа

Выбор значений  $K_0$ ,  $V_0$ ,  $\Delta K_0$  и  $\Delta V_0$  в указанных пределах при погрешности определения параметров  $K$  и  $V$  ( $2 \dots 4\%$  от базисных значений) позволяет достигнуть оптимум в среднем за 10-15 итерационных шагов (см. рисунок 4.6).

#### 4.4 Расчет экономической эффективности

При определении годового экономического эффекта основывались на сопоставлении приведенных затрат по базовому и предлагаемому вариантам согласования работы машин поточной линии

$$(4.11)$$

Где  $C_1$  и  $C_2$  - себестоимость единицы продукции, производимой с помощью базовой и новой техники, руб.;

$K_{уд1}$ ,  $K_{уд2}$ -удельные капитальные вложения в производственные фонды, руб.;

$Q_{год}$  - годовая производительность линии, т/год.

Применительно к рассматриваемому участку формулу (4.11) можно переписать в виде:

$$\frac{\dots}{\dots} \quad \frac{\dots}{\dots} \quad (4.12)$$

Расчет оптимальных параметров  $K$  и  $V$  проводили для участка очистительно-рушильного комплекса КЗС-20Ш применительно к условиям Нечерноземной зоны при следующих исходных данных: среднемноголетние условия сезона - влажность зерна 20%, засоренность поступающего на первичную очистку вороха 5%, средние квадратические отклонения характеристик зерна 2,5%; коэффициент соотношения удельных стоимостей машин первичной очистки (529 руб.час/т) и сушилки (4375 руб.час/т) 0,12, а машины первичной очистки и бункера (400 руб/т) 1,3.

Параметрами участка базового варианта комплекса являются производительности сушилки 16 т/час и ЗОМ 20 т/час, вместимость бункера между ними 12 т.

На основании формулы (4.6) при указанных выше исходных данных определяем  $K_{ст} = 0,98$ ,  $K_{дин} = 0,2$  час,  $Q_{ср} = 0,96$ .

Определяем  $Q_{ср}$  участка с параметрами серийных машин с учетом фактического соотношения номинальных производительностей ЗОМ и сушилки.

Расчеты по формуле 4.12 показали, что годовой экономический эффект составляет 96235 рублей применительно к указанной выше зоне

Эффект от комплектования поточной линии с рекомендуемыми параметрами значительно колеблется в зависимости от условий зоны. В качестве примера определим  $\mathcal{E}$  применительно к условиям Кызылординского

района Казахстана.: в среднем многолетние условия сезона  $W=18,0\%$ ,  $\Psi = 5\%$ ,  $\sigma_{w,\Psi}=\pm 2\%$

Статическая составляющая соотношения  $K$  равна 1,343, динамическая  $K_{\text{дин}}=1$ , вместимость бункера  $V$  0,15 час.

Соотношение  $W$  должно быть равно 1,313 динамическая  $K_{\text{дин}}=1,444$ , а вместимость бункера с учетом номинальной производительности линии - 2,4 т.

Определяем  $Q_{\text{ср}}$  участка с параметрами серийных машин. Годовой экономический эффект, рассчитанный по формуле 4.12 составляет 347671 рублей.

Таким образом, в Кызылординском районе наибольшая эффективность комплексов КЗС-20ША и КЗС-50 с сушилками производительностями 20; 40 т/час обеспечивается при комплектовании машинами первичной очистки 22;44 т/час и промежуточными емкостями в 4;8 т., а в Центрально-Черноземном районе - зерноочистительными машинами - 29; 58 т/час и бункерами в 3; 6 т.

#### 4.5 Выводы по главе 4

Влияние вместимости бункера на среднюю производительность участка сказывается существенно при  $K = 1\pm 0,2$ . Увеличение  $V$  более чем одного часа не дает значительного эффекта возраста производительности.

Чем менее стабильны внешние условия, тем ниже  $Q_{\text{ср}}$ . При изменении параметров распределения значений влажности и засоренности (асимметрии и эксцесса) от -3 до 3  $Q_{\text{ср}}$  изменяется от 0,93 до 0,96. Причем, чем выше разница  $A$ ,  $E$  для влажности и засоренности, тем ниже  $Q_{\text{ср}}$ .

Влияние изменений параметров корреляционной функции процессов  $W(t)$  и  $\Psi(t)$  в пределах их значений для рассмотренных в работе хозяйств Нечерноземной зоны на  $O_{\text{ср}}$  незначительно. Время спада корреляционной функции для влажности (102-140 мин) и для засоренности (35-52 мин) типично для различных зон. Поэтому рекомендуемая номограмма может быть использована и при оптимизации параметров участка комплекса

применительно к условиям разных зон.

При коэффициенте соотношения удельных стоимостей сушилки и ЗОМ, равном 10, требуемое соотношение  $K$ , при изменении  $\sigma$  от 1 до 3% изменяется от 1,07 до 1,28. С изменением коэффициента соотношения удельных стоимостей ЗОМ и бункера требуемое завышение  $K$  изменяется от 1,07 до 1,12 при  $\sigma_{w,\psi}=1\%$  и от 1,16 до 1,28 при  $\sigma_{w,\psi}=3\%$ . В случае, когда удельные стоимости машин поточной линии равны между собой целесообразно подбирать машины равной паспортной производительности.

При оптимизации работы поточной линии послеуборочной обработки зерна, можно использовать декомпозиционные методы т.е. разбивать ее на расчетные участки. Погрешность получаемых параметров при этом не превышают 3%.

Сезонную производительность линии необходимо определять с учетом динамики изменения производительностей машин. Предложена номограмма для выбора коэффициента с целью ввода в формулу  $Q_{сез}$ , учитывающий указанный фактор. Эту формулу рекомендуется использовать при расчете нормативов потребности сельского хозяйства в очистительных агрегатах и очистительно-сушильных комплексах для послеуборочной обработки зерна в хозяйствах.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Фактическое соотношение производительностей сушилки и машины первичной очистки зерноочистительно-сушильного комплекса изменяется в течение суток, сезона уборки, а также общего срока службы оборудования в пределах 0,5...1,5 в зависимости от условий уборочного сезона. Поэтому оптимальные соотношения производительностей машин и промежуточных емкостей должны быть выбраны с учетом изменения условий работы.

2. Метод аналитического расчета, учитывающий случайное изменение характеристик обрабатываемого материала, непрерывность технологического процесса, а также возможность установки бункера между звеньями, целесообразно использовать для поточной линии из  $n$  машин, включающих ограничивающее звено, превосходящее по удельной стоимости некоторого максимума (примерно 10 раз) остальные звенья.

3. Статическая модель функционирования участка поточной линии описывает ее работу с погрешностью, не превышающей 3% номинальной производительности, при любых характеристиках машин и соотношениях их стоимостей.

4. Изменения влажности, поступающего в сушилку зерна и примесей, выделяемых колосовым, подсевным и сортировальным решетками зерноочистительной машины, удовлетворительно аппроксимируются нормальным законом распределения и экспоненциально-косинусной корреляционной функцией, параметры которой для влажности  $\alpha = (1,6...2,5) \cdot 10^{-4}$  1/сек,  $\beta = (2,6...4,0) \cdot 10^{-4}$  1/сек,  $\tau = 102-140$  мин; для засоренности  $\alpha = (2,8...4,2) \cdot 10^{-4}$  1/сек,  $\beta = (5,6...6,5) \cdot 10^{-4}$  1/сек,  $\tau = 35...52$  мин. Влияние их изменений в указанных пределах на выбор оптимального соотношения производительностей машин участка линии и промежуточной емкости значительно (расхождение не более 2%). Поэтому основной характеристикой зоны являются среднемноголетние значения влажности и засоренности и их средние квадратические отклонения. Связи между влажностью на входе в сушилку и засоренностью на входе в машину первичной очистки как общей,

так и по видам засорителей практически отсутствуют: коэффициент корреляции 0,09-0,18.

5. Определяющее влияние на производительность зерноочистительной машины оказывает род и количество засорителей исходного зерна. Зависимость производительности от общей засоренности в пределах 3...12% коррелятивная с коэффициентом корреляции 0,4...0,6. Многофакторная зависимость производительности от содержания примесей в материале, выделяемых колосовым при существующей области определения 0,4...3,0%, подсевным 0,8...6%, сортировальным 1,2...9,0 реме теми, и воздушным потоком 0,3...2,0%\$ описывается линейной моделью со средней квадратической ошибкой приближения, не превышающей 2% номинальной производительности. Производительность машины первичной очистки обуславливается содержанием примеси, выделяемой сортировальным решетом.

6. Статистическими испытаниями модели установлено, что при близких к друг-другу удельных стоимостях звеньев целесообразно машины в линии подбирать равной паспортной производительности. Если же машины различаются по стоимости, то предпочтительно комплектовать из равной паспортной производительности или устанавливать промежуточные бункера в зависимости от соотношения удельных стоимостей зерноочистительной машины и бункера.

7. Для определения оптимальных параметров участка в зависимости от характеристик зоны и соотношения стоимостей машин рекомендуется номограмма. Её целесообразно использовать при корректировке норм технологического проектирования предприятий послеуборочной обработки зерна.

8. Сезонная производительность линии должна рассчитываться с учетом производительности машин при их взаимодействии в потоке. Коэффициент, учитывающий этот фактор, определяется по предложенной номограмме. Формулу рекомендуется использовать при расчете нормативов потребности

сельского хозяйства в очистительных агрегатах и очистительно-сушильных комплексах для послеуборочной обработки зерна в хозяйствах.

9. В Нечерноземной зоне наибольшая эффективность комплексов КЗС-2СШ и КЗС-50 с сушилками производительностями 20; 40 т/час обеспечивается при комплектовании машинами первичной очистки 22, 44 т/час и промежуточными бункерами вместимостью 4и 8т.

10. Экономический эффект от комплектования поточной линии машинами с параметрами, рассчитанными по предложенной методике, по сравнению с серийным комплексом КЗС-20Ш в зависимости от условий зоны составляет 96-347 тыс. рублей/сезон.

### Список использованной литературы

1. Аниканова В.Ф., Тарасова Л.Е. Рис: сорт, урожай, качество. М.: Агропромиздат, 1988, 112б.
2. Апрод А.И., Баллод З.И., Конохова В.П. Заготовка и хранение риса. М.: Колос, 1977, 160б.
3. Anonymous. Strengthening of INGER activities in West and Central Asia including Former Soviet Union Countries/ IRRI. 1995, 33б.
4. Алешин Е.П., Конохова В.П. Краткий справочник рисовода. М.: Агропромиздат, 1986, 253б.
5. Алшынбаев С.М. Выбор и обоснование параметров валкооборачивающего приспособления для двухфазной технологии уборки риса в условиях юга Казахской ССР. Дисс... канд. техн. наук. Л, 1986, 144б.
6. Вентцель Е.С. Исследование операции. М.: Советское радио, 1972, 552б.
7. Воронов Ю.И., Ковалев Л.Н., Устинов А.Н. Сельскохозяйственные машины. М.: Агропромиздат, 1990, 255б.
8. Власов Н.С. Методика экономической оценки сельскохозяйственной техники. М: Колос, 1968, 223б.
9. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука, 1966, 431б.
10. Гельман Б.М., Москвин М.В. Сельскохозяйственные тракторы и автомобили. М.: Агропромиздат, 1987, 287б.
11. Дидманидзе О.Н. Теоретические основы ресурсосбережения в чаеводстве. М: Колос, 1997, 227б.
12. Дидманидзе О.Н. Оптимизация по критериям ресурсосбережения состава и режимов работы средств для сбора, транспортировки и переработки чайного листа. Дисс... докт. техн. наук. М: 1995, 301б.
13. Жалнин Э.В. Механизация уборки риса. М.: Россельхозиздат, 1977, 127б.

14. Жалнин Э.В., Савченко А.И. Технология уборки зерновых комбайновыми агрегатами. М.: Россельхозиздат, 1985, 205б.
15. Зангиев А.А. Комплектование ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов. Учебное пособие М.: МИИСП, 1990, 88б.
16. Иофинов С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка. М. Колос, 1974, 479б.
17. Карпенко А.Н., Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины. М.: Агропромиздат, 1983, 495б.
18. Каталог Сельскохозяйственная техника. Том I, II, III. Москва ФГНУ «Росинформагротех», 2005, 292б.
19. Конохова В.П. Учебная книга рисовода. М.: Агропромиздат, 1990, 238б.
20. Киреев М.В. Послеуборочная обработка зерна в хозяйствах. Л.: Колос, 1981, 224б.
21. Комаристов В.Е., Дунай Н.Ф. Сельскохозяйственные машины. М.: Колос, 1984, 478б.
22. Локшин А.Л. Индустриальная технология уборки риса. Алматы.: Кайнар, 1988, 268б.
23. Логинов Л.Н., Серый Г.Ф., Косилов Н.И. Зерноуборочные комбайны двухфазного обмолота. Москва, 1999, 336б.
24. Листопад Г.Е. и др. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Учебник для сельхозвузов. М.: 1986, 688б.
25. Морозов А.Ф. Зерноуборочные комбайны. М.: Агропромиздат, 1991, 246б.
26. Мачихина Л.И. Очистка риса – зерна. М.: Колос, 1981, 127б.
27. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столяров Е.М. Методы оптимизации. М.: Наука, 1978, 352б.
28. Новиков О.А., Петухов С.И. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. М.: Советское радио, 1969, 399б.

29. Пенкин М.Г. Новые технологии уборки зерновых культур. Алма-Ата.: Кайнар, 1988, 280б.
30. Пучин Е.А., Дидманидзе О.Н., Новиков В.С., Очковский Н.А., Корнеев В.М., Кравченко И.Н., Кононенко А.С., Гаджиев А.А. Технология ремонта машин. I часть. М. УМЦ Триада, 2006, 346б.
31. Погорелый Л.В., Бильский В.Г., Кононенко Н.П. Научные основы повышения производительности сельскохозяйственной техники. Киев. Урожай, 1989, 237б.
32. Рахатов С.З. Научные основы проектирования производственных процессов уборки риса по критериям ресурсосбережения. Монография. Кызылорда, 2002, 168б.
33. Рабинович А.Ш. Сравнение затрат на сбор зерна. Тракторы с/х машины, 1989, №12.
34. Сельскохозяйственные машины. /Под ред. А.Г. Рыбалко. М.: Колос, 1992, 448б.
35. Сабликов И.В. Сельскохозяйственные машины. М.: Колос, 1968, 343б.
36. Сергеев М.Ф., Сычугов Н.П. Сельскохозяйственные машины. М.: Агропромиздат, 1986, 223б.
37. Сборник агротехнических требований на тракторы и сельскохозяйственные машины. Том 37. М. АгроНИИТЭИИТО, 1986, 305б.
38. Салихов Н.К., Шакиров К.Т. Машины для уборки риса. Ташкент.: Мехнат, 1989, 289б.
39. Скотников В.А и др Основы теории и расчета трактора и автомобиля. М: Агропромиздат, 1986, 383б.
40. Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложение. М: Сов.радио, 1971.
41. Сүй Сян. Оптимизация технологического обслуживания зерноуборочных комбайнов в условиях КНР. Дисс... канд. техн. наук. М: 1993, 174б.

42. Серый Г.Ф., Косилов Н.И. Зерноуборочные комбайны. М: Агропромиздат, 1986, 234б.
43. Стефанский В.В. Обоснование технологических режимов работы комбайнов для разработки операционной технологии уборки риса в условиях Украинской ССР. Дисс... канд. техн. наук. М: 1986, 195б.
44. Сергеева Л.М. Оптимизация системы механизации уборочных работ РАПО. Дисс... канд. техн. наук. Зерноград, 1987, 155б.
45. Табашников А.Т. Оптимизация уборки зерновых и кормовых культур. М.: Агропромиздат, 1985, 159б.
46. Фере Н.Е., Бубнов В.З., Еленев А.В., Пильщиков Л.М. Пособие по эксплуатации машинно-тракторного парка. М. Колос, 1978, 254б.
47. Шахмаев М.В. Экономическая эффективность применения сельскохозяйственной техники. М: Россельхозиздат, 1983, 208б.
48. Шаров Н.М. Основы проектирования оптимальной организации сельскохозяйственных производственных процессов. М: МИИСП, 1971, 194б.
49. Конохова В.П. Учебная книга рисовода. – М.: Агропромиздат, 1990. – 229 с
50. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1963. – 356 с.
51. Вентцель Е.С. Исследование операций.-М: Советское радио, 1972-552с.
52. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М: Наука, 1964-576с.
53. Зыков А.А. Основы теории графов.-М: Наука. Гл. Ред. Физмат. лит, 1987-384с.
54. Тищенко А.М. Введение в проектирование сложных систем автоматики.-М: «Энергия», 1976-304с.
55. Бородин И.Ф., Кириллин Н.И. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. М: Колос, 1977-328

56. Табак Д. Кур Б. Оптимальное управление и математическое программирование. /Пер. С англ.—М: Наука. 1975-280с.
57. Червоный А.А., Лукьященко В.И., Котин Л.В. Надежность сложных систем. Изд. 2-е перераб. и доп.-М: Машиностроение, 1976-288с.
58. Ермольев Ю.М. Методы стохастического программирования. – М.: наука, 1976. – 240 с.
59. Моисеев Н.Н., Иванюков Ю.П., Столяров Е.М. Методы оптимизации. – М.: Наука, 1978. – 242 с.
60. Anonymous Strengthening of INGER activities in West and Central Asia including Former Soviet Union Countries/ IRRI. – 1995. – 33 с.
61. Новиков О.А., Петухов С.И. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. – М.: Советское радио, 1969. – 339 с.
62. Аниканова В.Ф., Тарасова Л.Е. Рис: сорт, урожай, качество. – М.: Агромиздат, 1988. – 112 с.
63. Апрод А.И., Баллод З.И., Конохова В.П. Заготовка и хранение риса. – М.: Колос, 1977. – 160 с.
64. Жалнин Э.В. Механизация уборки риса. – М.: Россельхозиздат, 1977. – 127с.
65. Зангиев А.А. Комплектование ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов. Учебное пособие. – М.: МИИСП, 1990. – 88 с.
66. Митков А.П., Кардашевский С.В. Статические методы в сельхозмашиностроении. – М.: Машиностроение, 1978. – 360 с.
67. Сюй Сян. Оптимизация технологического обслуживания зерноуборочных комбайнов в условиях КНР. Диссертация кандидата технических наук. – М.: 1993. – 174 с.
68. Кропп Л.И. Разработка системы сельскохозяйственных зерно и кормоперерабатывающих объектов промышленного типа методами оптимального технологического проектирования. Диссертация доктора технических наук. – М.: 1985. – 387 с.

69. Скидан Ю.Ф. Технические системы возделывания рассады и овощных культур. Учебное пособие. Алматы, 1990. – 70 с.

70. Алшынбаев М.Р. Технологические основы механизации возделывания и уборки риса в Казахской ССР. Диссертация доктора технических наук. – Л.: 1969. – 247 с.

71. Шахмаев М.В. Экономическая эффективность применения сельскохозяйственной техники. – М.: Россельхозиздат, 1983. – 208 с.

72. Локшин. А.Л. Индустриальная технология уборки риса. Алма-Ата. Издание Кайнар, 1988. – 12 с.

73. Александров М.А. Влияние сроков и способов уборки на урожай риса. Диссертация кандидата технических наук. – Краснодар, 1968. – 191 с.

74. Ноздровицкий Л. Исследование и оптимизация уборочно-транспортного процесса при уборке зерновых культур. Автореферат диссертации кандидата технических наук. – М.: 1975. – 116 с.