

Лекция 1.- 2ч.

Введение.

Научно-технический прогресс в технологии и оборудовании зерновых производств. Машиностроение - основа создания материально-технической базы перевооружения пищевых производств. Основные направления развития зерноперерабатывающей промышленности. Роль отечественных ученых, инженеров, техников и передовиков производства в совершенствовании существующих и разработке новых конструкций высокопроизводительного оборудования для переработки зерна в продовольственные и кормовые продукты.

Задачи и содержание курса. Его связь с основными дисциплинами общенаучного и общинженерного комплекса. Значение курса в подготовке инженеров-механиков.

## **Рабочая программа**

**по дисциплине ДС.04.02. Технологическое оборудование отрасли.**

**(наименование дисциплины)**

для специальности 170600 Машины и аппараты пищевых производств

для направления 655800 Пищевая инженерия

Курс 5

Семестр 9

Часов в неделю 5

Курсовая работа \_\_\_\_\_ семестр

Курсовой проект 9 семестр

Расчетно-графическая работа \_\_\_\_\_ семестр

Контрольная работа \_\_\_\_\_ семестр

Экзамен 9 семестр

Зачет \_\_\_\_\_ семестр

### **1. Цели и задачи дисциплины, ее место и учебном процессе.**

1.1. Цель преподавания дисциплины:

Курс "Технологическое оборудование отрасли" является основной профилирующей дисциплиной для подготовки инженеров-механиков по специальности 170600 (специализация по оборудованию предприятий по хранению и переработке зерна).

Цель преподавания этой дисциплины является формирование у студентов комплекса теоретических знаний, практических навыков и методических основ

разработки и эксплуатации технологического оборудования предприятий для хранения и переработки зерна.

### 1.2. Задачи изучения дисциплины:

Основными задачами дисциплины являются:

- воспитание у будущих специалистов деловых качеств и необходимого уровня общей технической культуры;
- обучение студентов экономически грамотно и методически правильно исследовать и формулировать актуальные проблемы совершенствования технологического оборудования и реализуемых производственных процессов, правильно определять и технически целесообразно обосновывать методы их решения, квалифицированно анализировать и эффективно использовать результаты достижений науки и техники;
- привитие студентам практических навыков самостоятельной творческой работы при решении инженерных задач;
- ознакомление студентов с общими принципами конструирования, технологическими и кинематическими основами конструирования оборудования.

1.3. Перечень дисциплин, усвоение которых студентами необходимо для усвоения данной дисциплины: «Высшая математика», «Физика», «Теоретическая механика», «Детали машин», «Подъемно-транспортные установки», «Теория машин и механизмов», «Сопrotивление материалов», «Технология мукомольных и крупяных производств», «Основы расчета и конструирования машин»

## 2. Требования к знаниям и умениям студентов по дисциплине.

Студент должен знать: - технологическое оборудование, его конструкции, принципы работы и условия высокоэффективной производственной эксплуатации;

- технические характеристики машин, системы их регулирования и настройки на оптимальные режимы;
- теоретические зависимости между параметрами рабочего процесса, кинематикой и динамикой рабочих органов;
- основные направления развития отраслевого машиностроения путем разработки нового и модернизации существующего оборудования.

Студент должен уметь: - обоснованно разрабатывать задачи в области конструирования технологического оборудования;

- правильно выбирать пути для достижения поставленной цели, разрабатывать структурные схемы машин и аппаратов с предварительным определением оптимальных режимов её работы;
- грамотно осуществлять технологические, кинематические, энергетические и прочностные расчеты деталей машин и аппаратов;

- квалифицированно организовать и проводить испытание машин с обоснованием анализа полученных результатов,

Такое направление курса дает возможность уделить внимание технологическим режимам оборудования на конкретных примерах с учетом специфики его работы и повысить теоретическое и практическое значение курса в подготовке инженеров-механиков пищевых отраслей промышленности.

## **10. Список основной и дополнительной литературы по дисциплине.**

### **Основная:**

1. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна, - М»: Колос, 1973, 496с.
- 2.-Соколов А.Я. Комбикормовые заводы. - М.: Колос, 1970, 431с.
3. Золотарев С.М. Проектирование мукомольных, крупяных и комбикормовых заводов. - М.: Колос, 1976, 226с.
4. Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин Н.А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. - М.:Стройиздат, 1980, 304с.
5. Борискин М.А. и др. Сепарирующие машины зерноперерабатывающих предприятий, - М.Машиностроение, 1979, 109с.
6. Соколов В.Н. Основы расчета и конструирования деталей и узлов пищевого оборудования. – М.: Машиностроение, 1970, 423с.
7. Харламов С.В. Конструирование технологических машин пищевых производств. - М.: Машиностроение, 1979, 224с.
8. Харламов С.В. Практикум по курсу. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств. - Л.: Машиностроение, 1971, 199с.

### **Дополнительная:**

1. Вальковский З.Г., Тартаковский М.А. Монтаж и наладка оборудования элеваторов, зерноперерабатывающих и комбикормовых предприятий, 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1983, 349с
2. Демских А.М, и др. Справочник по оборудованию зерноперерабатывающих предприятий. - М.: Колос, 1970, 193с.
3. Постоянные магниты. Справочник. - М.: Энергия, 1971, 376с
4. Анурьев В.И. Справочник конструктора. Машиностроение I;2;3 т.-М.: Машиностроение, 1979.
- 5.Бутковский В.А.,Мельников Е.М. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства.- М.: Агропромиздат, 1989, 464с.
- 6.Бутковский В.А. и др. Эксплуатация оборудования мельниц и крупозаводов. М.: Колос, 1974, 305с.
- 7.Справочник по оборудованию зерноперерабатывающих предприятий.( А.Б.Демский, М.А.Борискин.Е.В.Тамаров и др.)- Изд. 2-е, перераб. И доп.- М.: Колос, 1980, 383с.

8. Мороз В.К. Курсовое и дипломное проектирование по курсу "Эксплуатация оборудования предприятий пищевой промышленности".- М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984, 200с.

9. Курсовое и дипломное проектирование технологического оборудования пищевых производств. ( О.Г.Лунин, В.Н.Вельтищев, Ю.М.Березовский и др.)- М.: Агропромиздат, 1990, 269с.

10. Технологическое оборудование пищевых производств. (Б.М.Азаров, Х.Аурих, С.Дичев и др.) Под ред. Б.М.Азарова. М.: Агропромиздат, 1988, 463с.

11. Птушкина Г.Е., Товбин Л.И. Высокопроизводительное оборудование мукомольных заводов. Уч.пос. для ВУЗов, М.: Агропромиздат, 1987, 288с.

12. Проектирование зерноперерабатывающих предприятий с основами САПР. (Уч.пос. для ВУЗов), под ред. И.Т.Мерко, М.: Агропромиздат, 1989, 367с.

13. Проектирование комбикормовых заводов с основами САПР., М.: Агропромиздат, 1988, 303с.

14. Технологическое оборудование отрасли. Методические указания к курсовому проектированию для студентов 5-го курса специальности 170600. С.Н.Никоноров, Г.И.Старшов. Саратов.: 1981, 20с.

15. Определение технических характеристик мельничных сит. Методические указания к лабораторной работе по курсу "Технологическое оборудование отрасли" для студентов специальности 170600., Г.И.Старшов, С.Н.Никоноров. Саратов.: 1989, 23с.

16. Изучение оборудования для упаковки пищевых продуктов и построение циклограммы. Руководство к лабораторной работе по курсу "Технологическое оборудование отрасли" для студентов специальности 170600., Г.И.Старшов, С.Н.Никоноров. Саратов.: 1985, 30с.

17. Исследование макаронного прессы вальцового типа. Руководство к лабораторной работе по курсу "Технологическое оборудование Методические указания к лабораторной работе по курсу "Технологическое оборудование отрасли" для студентов специальности 170600., Г.И.Старшов, С.Н.Никоноров. Саратов.: 1989, 23с.

18. Исследование тестомесильной машины. Методические указания к учебно-исследовательской лабораторной работе по курсу "Технологическое оборудование отрасли" для студентов специальности 170600., Г.И.Старшов, С.Н.Никоноров. Саратов.: 1983, 15с.

Рассмотрим основные стадии производственного процесса в элеваторах, мельницах, крупозаводах, комбикормовых заводах и заводах по обработке гибридных и сортовых семян.

#### Основные стадии производственного процесса на зерновом элеваторе.

1. Прием зерна и размещение его в силосном корпусе по сортам, географическим районам произрастания и основным технологическим

признакам — по типовому составу, влажности, засоренности и общей стекловидности.

2. Тепловая сушка зерна как мера обеспечения сохранности его путем изменения физических, физиологических и химико-биологических свойств зерновой массы.

3. Предварительная очистка зерновой массы от сорных примесей, отличающихся от основного зерна линейными размерами и аэродинамическими свойствами.

4. Формирование партий зерна по определенным физическим и химико-биологическим признакам, необходимое как для образования зерновых смесей с наиболее высокими технологическими свойствами, так и для обеспечения выработки муки и крупы с пищевыми достоинствами, отвечающими требованиям государственных стандартов.

На хлебоприемных предприятиях посредством поточно-технологических линий производят механизированный прием и обработку продовольственно-фуражной кукурузы, также подразделяемый на стадии.

1. Прием и обработка — очистка и сушка кукурузы, поступающей в зерне.

2. Прием и обработка кукурузы, поступающей в початках с предварительной сушкой (в шахтных и камерных сушилках или другими средствами), однократным либо двукратным обмолотом.

#### Основные стадии производственного процесса на мельницах.

1 этап — очистка зерна и подготовка его к помолу.

1. Прием и размещение в зерноочистительном отделении партий зерна, подготовленных в элеваторе.

2. Очистка зерна от примесей, отличающихся от основного зерна линейными размерами (длиной, шириной и толщиной); морфологическими признаками: формой зерновок, макрорельефом их поверхности и физическими свойствами (аэродинамическими, гидродинамическими, фрикционными, электрическими и др.).

3. Сухая очистка покрова зерновок главным образом от плотных

пылевых отложений.

4. Мойка зерна в воде для очистки его от пылевых отложений, плесеней и микроорганизмов, а также от гидродинамически тяжелых и легких засорителей.

5. Обработка увлажненного зерна теплом для направленного изменения физико-технологических и химико-биологических свойств эндосперма и оболочек.

6. Дозирование и смешивание зерна с различными физико-химическими свойствами для получения смеси, обладающей наиболее высокими технологическими и пищевыми достоинствами.

7. Доувлажнение и кратковременное отволаживание зерна перед помолом для дифференцированного распределения влаги между оболочками и эндоспермом.

II этап — размол зерна в муку. 1. Измельчение зерна и промежуточных продуктов.

2. Сортирование смеси промежуточных продуктов размола зерна по крупности, аэродинамическим и фрикционным свойствам ее составляющих для последовательного образования потоков концентратов с превалирующим содержанием эндосперма либо оболочек.

3. Вымол отрубистых продуктов для отделения краевых частей эндосперма от оболочек.

4. Контроль крупности муки, манной крупы и отрубей.

На многих мельницах организована витаминизация муки — введение в нее тонко измельченных витаминов В<sub>1</sub> (тиамина), В<sub>2</sub> (рибофлавина) и РР (никотиновой кислоты). Эта стадия производственного процесса включает также операции:

1) приготовление витаминной смеси;

2) микродозирование витаминной смеси и смешивание ее с мукой.

Основные стадии производственного процесса на крупяном заводе.

I этап — очистка крупяного зерна и подготовка его к шелушению.

1. Очистка зерна от примесей.

2. Водно-тепловая обработка зерна для повышения его шелушимости (она способствует повышению выхода крупы высших сортов, а также улучшает физико-механические свойства крупы, в частности, ускоряет развариваемость ее).

3. Сортирование зерновой смеси по крупности для повышения технологической эффективности процесса шелушения отдельных фракций зерна и, в частности, увеличения выхода крупы высших сортов.

Этап — шелушение крупяного зерна.

1. Механическое отделение оболочек от ядра под действием импульса ударной силы либо путем приложения нормальных и касательных усилий к зернам.

В настоящее время внедряется аэродинамический способ шелушения потока зерна воздухом со скоростью 500—520 м/сек.

2. Сортирование продуктов шелушения для выделения дробленых частиц, лузги и муки, а также разделения смеси ошелушенных и неошелушенных зерен на составные части.

3. Измельчение ошелушенных зерен для образования некоторых видов резаных либо дробленых круп (перловой, ячневой, пшеничной, кукурузной, овсяной).

4. Шлифование и полировка ошелушенного зерна для удаления остатков оболочек и зародыша при выработке цельных круп.

5. Сортирование ядра по крупности исходя из требований ГОСТ.

Основные стадии производственного процесса на комбикормовом заводе.

1. Очистка исходного и измельченного сырья от комков и металломагнитных примесей.

2. Шелушение фуражного зерна.

3. Измельчение крупнокускового, волокнистого и зернистого сырья.

4. Рецептурное дозирование и смешивание сыпучих и жидких компонентов, исходя из зоотехнического назначения комбикорма, включая

обогащение комбикормов микроэлементами, антибиотиками и витаминами.

5. Прессование комбикорма для повышения стойкости его при хранении и улучшения транспортабельности.

Основные стадии производственного процесса на заводе по обработке гибридных и сортовых семян кукурузы.

1. Прием и кратковременное хранение семенной кукурузы в початках.

2. Снятие оберток с початков.

3. Отделение дефектных початков.

4. Сушка доброкачественных початков.

5. Обмолот очищенных и просушенных початков.

6. Очистка кукурузы от примесей, отличающихся геометрически ми признаками и аэродинамическими свойствами, калибрование зерна по форме и размерам применительно к диаметрам отверстий в высевающих дисках квадратно-гнездовых сеялок.

7. Протравливание семян для обеззараживания их от вредителей и возбудителей болезни.

Кроме основных стадий производственного процесса, на указанных зерноперерабатывающих предприятиях реализуются также вспомогательные стадии.

1. Поточное взвешивание зерна и продуктов его переработки, не обходимое для ведения количественно-качественного учета товарно-материальных ценностей в сфере производства, а также для контроля хода производственного процесса.

2. Попутная очистка промежуточных продуктов и окончательная очистка готовой продукции и отходов производства от металломагнитных примесей, являющихся продуктами износа металлических рабочих поверхностей либо посторонними включениями.

3. Технологический контроль эффективности действия отдельных машин и систем взаимосвязанных машин.

4. Вентилирование машин в технологических и санитарно-гигие-

нических целях, а также для обеспечения пожаро-взрывной безопасности.

5. Механизация межоперационного и межцехового перемещения сырья на гравитационной, механической либо пневматической основе.

6. Расфасовка, упаковка продукции в матерчатую, бумажную либо картонную тару.

7. Размещение и хранение продукции и отпуск ее потребителям.

Ниже рассматривается основное технологическое оборудование, посредством которого производят целесообразное изменение физических и химико-биологических свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Рассматривается и вспомогательное оборудование, предназначенное для обслуживания основного оборудования либо отдельных технологических процессов.

Мука — ценный пищевой продукт. Используют муку для производства большого ассортимента хлебобулочных, кондитерских и макаронных изделий. В небольших количествах ее применяют в текстильной и химической промышленности.

Род зерна, из которого выработана мука, определяет ее вид (мука пшеничная, ржаная и т. д.). Наиболее распространена пшеничная и ржаная мука (табл. 1).

Кроме муки, при переработке пшеницы и ржи получают отруби и кормовую мучку, а при переработке пшеницы в сортовую муку отбирают манную крупу.

Переход от менее к более сложным видам помола обуславливает следующие изменения в схеме: увеличение числа систем и соотношения длин вальцовой линии размольных и драных систем, развитие процесса обогащения крупок и дунстов.

## Нормы качества муки при сложных помолах пшеницы

Готовая продукция	Зольность, %	Крупность		Клейковина, %	Цвет муки
		Остаток № сита	Проход, № сита		
Мука хлебопекарная: Крупчатка	0,60	23/2	35/10, не более	30	Белый или кремоватый с желтоватым оттенком
Высший сорт	0,55	43/5	—	28	Белый или белый с кремовым оттенком
Первый сорт	0,75	35/2	43/80, не менее	30	Белый; белый с желтоватым оттенком
второй сорт	1,25	27/2	38/65, не менее	25	Белый с желтоватым оттенком
Мука макаронная из твердой пшеницы:					
высший сорт (крупка)	0,75	140/3	27/12, не более	30	Кремовый с желтым оттенком
первый сорт (полукрупка)	1,10	190/3	43/40, не более	32	Светло-кремовый
второй сорт	1,75	27/2	38/65, не менее	28	Кремовый с желтоватым оттенком
Мука макаронная из мягкой пшеницы:					
высший сорт (крупка)	0,55	150/3	27/15, не более	28	Белый с желтоватым оттенком
первый сорт (полукрупка)	0,75	190/3	43/50, не более	—	Белый с кремовым оттенком
Крупа манная:					
марка М	0,60	23/8	38/2, не более	—	Преобладает непрозрачная мучнистая крупка белого цвета
марка Т	0,85	23/5	38/1, не более	—	Полупрозрачная ребристая крупка кремового или желтоватого цвета
марка МТ	0,70	23/5	38/1, не более	—	Преобладает непрозрачная мучнистая крупка белого цвета с наличием полупрозрачной ребристой крупки кремового или желтоватого цвета

## ПОСТРОЕНИЕ СХЕМ ПОМОЛОВ

Под помолом зерна следует понимать состоящий из отдельных операций технологический процесс, при котором стремятся наиболее полно извлечь из зерна эндосперм в виде муки либо измельчить зерно в муку с отбором или без отбора отрубей. Технологический процесс выработки муки изображают в виде схемы помола, на которой последовательно указывают операции и технические характеристики рабочих органов машин, применяемых на каждой системе.

Основные принципы построения схем помолов — это непрерывность, прямоточность, последовательность и параллельность ведения технологических операций. Помолы могут быть простыми и сложными.

Простые помолы характеризуются менее развитой технологической схемой и состоят из одного драного либо из драного и сокращенного размольного процессов.

Сложные помолы состоят из развитых драного (крупнообразующего) и размольного процессов либо из драного, обогатительного, шлифовочного и размольного процессов. Сложные помолы более совершенны и предназначаются для получения высококачественной сортовой муки.

Структура помолов непрерывно совершенствуется, вводятся новые, наиболее эффективные способы и технологические приемы, направленные на улучшение качества продукции и повышение производительности при наиболее полном использовании потенциальных ресурсов зерна.

Таблица 1

Культура	Вид помола	Вид продукции (мука)	Выход продукции, %
Пшеница (мягкая)	Трехсортной	Крупчатка	Всего 75 (78)
		Высший сорт	
		Первый сорт	
	Второй сорт		
	Манная крупа		2
	Односортной	Второй сорт	85
	Односортной	Обойная	96

Пшеница (твердая)	Двухсортовой	Первый сорт Второй сорт	Всего 72
	Макаронный помол	Крупка (высший сорт)	Всего 72 30
		Полукрупка (первый сорт)	30
		Второй сорт	12
Рожь	Двухсортовой	Сеянная	80
	Односортовой	Обдирная	80
		Обойная	95
Односортовой	Обдирная	87	
		Сеянная	63
Пшеница-рожь (70% – 30%)	Односортовой	Пшенично-ржаная Обойная	96
Рожь-пшеница (60% – 40%)	Односортовой	Ржано-пшеничная Обойная	96

Крупа в пищевом рационе человека составляет от 8 до 13 % от общего потребления зерновых. На крупяных заводах перерабатываются различные виды крупяных культур. Ассортимент крупяной продукции достаточно широк – это крупа из целого или дробленого ядра, хлопья и т.д.

Таблица 2.

Культура	Вид крупы	Выход крупы,%
Просо	Пшено шлифованное:	65,0
	Высшего сорта	5,0
	Первого сорта	58,0
	Второго сорта	2,0
Гречиха	Всего крупы	67
	Крупа ядрица:	
	Первого сорта	59,0
	Второго сорта.	3,0
	Продел	5,0
Рис	Рис шлифованный	65,0
	Высшего сорта	5,0
	Первого сорта	45,0
	Второго сорта	5,0
	Дробленный	10,0
Овес	Крупа шлифованная всего	45,0
	Высший сорт	10,0

	Первый сорт	29,5
	Хлопья	5,5
	Толокно	52
Ячмень	Крупа перловая всего	40,0
	№ 1-2	28,0
	№ 3-4	10,0
	№ 5	2,0
	Крупа ячневая всего	62,0
	№ 1	15,0
	№ 2	42,0
	№ 3	5,0
Пшеница	Крупа всего	63,0
	Крупа полтавская	
	№ 1 +№ 2	8,0
	№ 3+ № 4	43,0
	Артек	12,0
Горох	Горох шелушенный	73,0
	полированный	
	Целый	35,0
	Колотый	38,0
Кукуруза	Крупа шлифованная	40,0
	Для хлопьев	30,0
	Для палочек	10,0
	Крупа для палочек	40,0

Перед пищевой промышленностью поставлена задача коренного повышения качества продукции, а также разработка и внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий и технологического оборудования, улучшение санитарно-гигиенических условий производства, техники безопасности, последовательное сокращение применения ручного и тяжелого физического труда, особенно в погрузочно-разгрузочных, складских и других вспомогательных работах, а также использование новых конструкционных материалов.

Отмечена необходимость внедрения в народное хозяйство промышленно новых технологий—лазерных, биологических, мембранных и других, позволяющих значительно повысить производительность труда и снизить энергоемкость процессов.

Обращено также особое внимание на организацию гибких, достаточно быстро перенастраиваемых производств в машиностроении, создание и

внедрение станков и машин с использованием микропроцессорной техники, станков с числовым программным управлением, робототехнических и роторно-конвейерных комплексов.

Все эти задачи в равной мере стоят и перед пищевой, муко-мольно-элеваторной и рыбной промышленностями. В частности, эти отрасли должны осуществить техническое перевооружение предприятий на основе оснащения поточными линиями и оборудованием, обеспечивающими комплексную переработку продукции и сырья. Должен быть увеличен выпуск продукции в расфасованном виде. Более высокими темпами следует осуществлять механизацию трудовых процессов путем разработки новых видов технологического оборудования, расширения бестарных, контейнерных и пакетных перевозок, сырья, готовой продукции и других грузов.

Решение поставленных задач научно-техническими работниками, инженерами и техниками возможно на основе глубоких теоретических знаний и практического опыта, освоения всех новейших достижений науки и техники. И это накладывает особую ответственность на будущих инженеров-механиков, теперешних студентов механических факультетов.

Повышение эффективности работы и качества продукции, совершенствование технологических процессов подготовки и размола зерна на современных мукомольных заводах идут по пути реализации следующих комплексных мероприятий.

- Внедрение прогрессивных способов и приемов подготовки и размола зерна;
- Внедрение высокоэффективного комплексного оборудования;
- Увеличение выработки макаронной муки;
- Техническое перевооружение мукомольных заводов;
- Автоматизация системы управления технологическим процессом.

В последнее время широкое распространение в нашем регионе и за его пределами получили малые предприятия для переработки зерна производительностью от 100 до 1500 кг/ч. Случилось это по той причине, что

многим хозяйствам, занимающимся выращиванием зерновых выгоднее приобрести оборудование для переработки зерна. Это решает вопрос дорогостоящего транспортирования сырья и готовой продукции. Кроме того это позволяет обеспечивать свой регион местной продукцией, которая с вычетом затрат на транспортировку имеет более низкую стоимость.

Лекция – 2. -2ч.

Назначение, классификация и структура оборудования предприятий для хранения и переработки зерна.

Физико-технологические свойства зерновых продуктов и их влияние на конструкцию машин для переработки зерна.

Основы классификации технологического оборудования и принципы выбора определяющего признака в зависимости от назначения. Классификация оборудования предприятий для хранения и переработки зерна. Основы проектирования машин и аппаратов для зерноперерабатывающих предприятий. Критерии оценки технологической эффективности оборудования.

Пути и методы повышения эксплуатационной надежности оборудования.

### Зерно злаковых и бобовых культур и его примеси

Зерно злаковых и бобовых культур является сырьем мукомольной и крупяной промышленности. По своему строению зерна представляют анизотропные, твердые, коллоидные, капиллярно-пористые тела из весьма разнородных веществ: крахмала, белков, клетчатки и жира. Крахмал, количественно преобладающий в эндосперме, имеет кристаллическую структуру, белки — аморфны и как бы образуют каркас для крахмала. Клетчатка, входящая в состав оболочек, также имеет кристаллическую структуру.

В зависимости от назначения (для посева либо для продовольственных и фуражных целей) к зерну предъявляются различные требования.

Крупные, полновесные, выровненные семена обладают наиболее высокой энергией прорастания и дают дружные и сильные всходы. Поэтому при посеве очищенными и отсортированными семенами значительно повышается урожайность и, кроме того, снижается засоренность полей.

Семена, используемые для посева, оцениваются по сортовым и посевным качествам: по сортовой чистоте, по составу и количеству примесей, по влажности, всхожести, по зараженности болезнями и вредителями, по жизнеспособности и энергии прорастания, силе роста. Сортовую оценку семян проводят путем полевой апробации и анализа в контрольно-семенных лабораториях.

Продовольственное и фуражное зерно, поступающее на хлебоприемные пункты, элеваторы и предприятия по переработке зерна в продовольственные и кормовые продукты, должно удовлетворять определенным требованиям, регламентированным соответствующими государственными стандартами и техническими условиями.

Продовольственное и фуражное зерно пшеницы, ржи, ячменя и овса должно содержать не менее 85% зерен основной культуры.

Заготовленное продовольственное зерно делится на две группы: первая — удовлетворяющая базисным кондициям, вторая — удовлетворяющая требованиям ограничительных кондиций.

К числу основных показателей, характеризующих качество продовольственного и фуражного зерна, следует отнести его влажность и степень засоренности различными примесями.

Чтобы обеспечить нормальные условия хранения продовольственного и фуражного зерна и получить технологически оптимальные показатели при его переработке в продовольственные и кормовые продукты, влажное и сырое зерно подвергают искусственной сушке.

В продовольственном и фуражном зерне различают две группы примесей — сорную и зерновую.

К сорной примеси относят: а) минеральную (земля, песок, галька, шлак); б) органическую (части стеблей, листьев, стержни колосьев, солома, пленки); в) частицы, получаемые проходом при просеивании зерна через сито с определенными размерами отверстий: например, при просеивании пшеницы и ржи через сито с отверстиями  $\varnothing = 1$  мм, а ячменя и овса 1,5 мм; г) семена дикорастущих растений; д) поврежденные зерновки основной культуры — прогнившие, проплевневшие, обуглившиеся, поджаренные с явно испорченным ядром; е) зерновки, изъеденные вредителями. В состав сорной примеси входит также вредная примесь: головня, спорынья, вязель, горчак, ге-лиотроп, мышатник, опьяняющий плевел и др.

К зерновой примеси относятся неполноценные зерновки основной культуры: а) битые, изъеденные, проросшие, деформированные, с явно измененным цветом оболочек; б) недоразвитые, щуплые; в) с явно измененным цветом оболочек и ядра, поврежденные в результате самосогревания либо при сушке; г) морозобойные (зеленые, сморщенные, с измененным цветом оболочек и ядра); д) давленные и др. Кроме того, в состав зерновой примеси к пшенице входят зерновки ржи и ячменя, ко ржи — зерновки ячменя, к ячменю — зерновки овса, к гороху — зерновки чечевицы.

Для зерна, направляемого на зерноперерабатывающие предприятия, устанавливаются ограничительные кондиции. Так, для пшеницы, перерабатываемой в муку, максимально допустимыми являются: влажность—15,5%; содержание сорной примеси—2%, в том числе минеральной примеси 0,3%, вредной примеси 0,2%, куколя 0,5%; содержание зерновой примеси — 5%, в том числе проросших зерен 3%.

В зерноочистительном отделении мельницы сортового помола в результате очистки пшеницы должны быть достигнуты такие показатели качества зерна: влажность —14—14,5%; содержание сорной примеси— не более 0,4%, в том числе куколя не более 0,1%; вредной примеси — не более 0,05%, в том числе горчачка и вязеля не более 0,04%; содержание зерновой примеси (ржи, ячменя)—не более 4%; минеральная примесь не допускается.

Показатели качества зерна крупяных и бобовых культур регламентированы соответствующими ГОСТ как по влажности, так и по содержанию сорной и зерновой примеси, мелких и щуплых зерен, по пленчатости и содержанию ядра. Технологически важными для крупяного зерна являются и такие показатели, как масса зерна в единице объема (натурный вес), крупность и выровненность зерновок, окраска цветочных и плодовых оболочек. Установлены и показатели качества (влажность, содержание сорной и зерновой примеси) очищенного зерна, направляемого для непосредственной переработки в крупу.

Для очистки продовольственного и фуражного зерна от сорных и зерновых примесей применяют различные машины. Принцип действия этих машин основан на разделении зерновой массы на составные части (фракции), отличающиеся физико-механическими свойствами и морфологическими признаками.

В зерне и в промежуточных продуктах его переработки встречаются металломагнитные примеси (гвозди, болты, гайки, шурупы, игольчатые и пылевидные частицы), являющиеся продуктами износа металлических рабочих органов машин. Они попадают в массу зерна при его уборке, транспортировании и обработке на различных машинах. Исходя из требований к зерну как продовольственному и кормовому продукту, а также из задач пожарно-взрывной профилактики все эти примеси должны быть удалены. Для этого используют специальные аппараты с постоянными либо электрическими магнитами.

#### Основные физико-механические свойства и морфологические признаки зерна

К основным физико-механическим свойствам зерна относятся геометрические признаки, массовые характеристики отдельных зерновок и их совокупностей, аэро- и гидродинамические, фрикционные и теплофизические свойства, прочностные характеристики зерновок и отдельных частей.

Показателем длины зерновок является их наибольший продольный размер, ширины — наибольший поперечный размер, толщины — наименьший поперечный размер; для шаровидных зерновок основным размером является диаметр.

Для выделения сорных примесей, отличающихся от зерновок основной культуры своими линейными размерами, применяют машины, разделяющие зерно на отдельные фракции по длине, ширине и толщине. Аэродинамические свойства зерновок характеризуются динамическим сопротивлением, которое оказывает движению зерновок воздушная среда.

При расчете пневмосепарирующих элементов зерноочистительных машин критерием оценки аэродинамических свойств зерновок является скорость воздушного потока, при которой зерновка витает. Скорость витания (скорость витания, критическая скорость) находится в прямой зависимости от силы тяжести зерновки и в обратной зависимости от миделева сечения и коэффициента аэродинамического сопротивления. Значение этого коэффициента обусловлено не только формой и состоянием поверхности зерновки, но и режимом воздушного потока, обтекающего ее.

Под плотностью зерновки понимают величину отношения массы зерновки к ее объему. Отношение массы зерновок к занимаемому ими объему в состоянии свободного уплотнения называют объемной массой.

Объем межзерновых пространств, выраженный в процентах от общего объема зерна, называют пористостью или скважистостью.

Скважистость оказывает влияние на аэродинамическое сопротивление слоя зерна при продувании его воздушным потоком: чем она больше, тем меньше сопротивление.

Различие в плотности зерновок и примесей используют в машинах для обработки зерна водой при выделении гидродинамически тяжелых примесей и пенной флотации гидродинамически легких примесей. При этом выделяются поврежденные зерновки и покров нормальных зерновок очищается от пылевых отложений и микроорганизмов.

Происходящее под совокупным воздействием механических и аэродинамических факторов нарушение внутренних связей в сыпучих продуктах и самосортирование их используют для разделения измельченных зерновых продуктов по крупности, а также для разделения смеси ошелушенных и нешелушенных зерновок на составляющие в крупноотделительных машинах. Зерновая смесь самосортируется при колебательном либо вибрационном движении сепарирующего органа машины.

К основным морфологическим признакам следует отнести форму зерновок, определяемую соотношением линейных размеров, а также макро- и

микрogeометрию их поверхности. Эти признаки оказывают существенное влияние на вид трения (скольжение или качение) и силы связи зерновок с рабочими органами машины.

Поверхность зерновок различных культур может быть более или менее шероховатой, бугорчатой, ямчатой, покрытой пушком и т.д. В зависимости от состояния поверхности зерновок и от их формы изменяются коэффициенты внутреннего (межзернового) и внешнего трения (о поверхность различных материалов — дерева, стали, бетона и др.). На коэффициент трения и угол естественного откоса влияют в значительной мере влажность зерновой массы и содержание в ней

Численно различны значения показателей, характеризующих физические свойства зерна разных культур, типов, видов и промежуточных продуктов переработки зерна в продовольственные и кормовые продукты. При расчетах и конструировании технологического оборудования зерноперерабатывающих предприятий необходимо реально учитывать физические свойства продукта, подлежащего обработке, а также изменяющиеся в процессе переработки зерна прочностные и структурно-механические свойства зерновок и их анатомических частей.

В технологии зерна одним из основных является процесс измельчения, эффективность которого существенно влияет на интенсивность действия сопряженного технологического оборудования, на уровень продовольственного использования зерна и качество вырабатываемой продукции, на энергоемкость производственных процессов и на другие технико-экономические показатели.

Совокупное воздействие влаги и тепла на зерно в течение технологически оптимального времени приводит к изменению структуры зерна и положительно влияет на характер деформирования и кинетику разрушения его в измельчающих машинах. При этом улучшаются хлебопекарные свойства муки и увеличивается выход высоких сортов.

Из данных видно, что чем плотнее структура эндосперма, тем выше сопротивляемость зерновок и их частей разрушающим усилиям; прочность зерновок выше прочности эндосперма, но ниже прочности оболочек.

При увеличении влажности зерновок одинаковой стекловидности уменьшается разрушающее усилие сжатия.

Значительное увеличение в прочности эндосперма и оболочек позволяет применить машины с ударным воздействием рабочих органов на зерно либо на продукты его переработки (обочные машины для обработки поверхности зерна и бичевые машины для вымола оболочек зерна).

Эффективность процесса шелушения крупяных культур зависит в значительной степени от механических свойств зерна.

Электрофизические свойства зерна — удельная электропроводность, диэлектрическая проницаемость продуктов его переработки— находятся в большой зависимости от влажности зерна.

Электрофизические свойства пшеницы отличны от свойств сорных примесей, в частности куколя и овсюга. Поэтому эти различия могут быть использованы при сепарировании зерновой массы.

Исследования в электрическом поле постоянного тока показали, что знаки зарядов трения частиц эндосперма о металл положительны, а частиц оболочек — отрицательны. Это указывает на возможность разделения в электросепараторе промежуточных продуктов помола зерна по зарядам трения.

Для обеспечения эксплуатационной надежности технологического оборудования по переработке зерна в продовольственные и кормовые продукты при его расчете, конструировании и модернизации необходимо учитывать физико-технологические свойства, морфологические признаки, гигроскопические, электро- и теплофизические свойства и прочностные характеристики зерна, примесей и промежуточных продуктов его переработки.

## **1. Классификация технологического оборудования**

Под классификацией оборудования понимают научно обоснованное распределение машин, аппаратов, агрегатов на отдельные группы по наиболее существенным и практически важным признакам. Классификация машин должна быть согласована с классификацией технологических процессов, группируемых по способу воздействия рабочих органов на обрабатываемый материал.

В соответствии с технологическим назначением и областью применения оборудование для переработки зерна в продовольственные и кормовые продукты можно разделить на следующие группы.

1. Машины для выделения примесей, отличающихся от зерен основной культуры шириной и толщиной.

2. Машины для выделения примесей, отличающихся от зерен основной культуры аэродинамическими свойствами.

3. Машины для выделения примесей, отличающихся от зерен основной культуры шириной, толщиной и аэродинамическими свойствами.

4. Машины для выделения примесей, отличающихся от зерен основной культуры длиной.

5. Машины для выделения примесей, отличающихся от зерен основной культуры совокупностью различных физических свойств.

6. Машины для «сухой» обработки поверхности зерна.

7. Машины для обработки зерна водой.

8. Аппараты для обработки зерна теплом.

9. Машины и агрегаты для дозирования и смешивания зерновых и жидких продуктов.

10. Магнитные сепараторы для выделения металломагнитных примесей.

11. Машины для измельчения зерна.

12. Машины для сортирования продуктов измельчения зерна.



Примечания. 1. Цифрами 1, 2, 3 ... 18 обозначены группы машин, фигурирующие под теми же номерами в классификации, приведенной в тексте.

2. Крестиками обозначены группы машин, применяемые на предприятиях различных отраслей промышленности.

### **Стадии разработки конструкторской документации**

Исходным документом для разработки изделия является техническое задание, устанавливающее основное назначение, технические и тактико-технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования, предъявляемые к разрабатываемому изделию, сроки выполнения необходимых стадий разработки конструкторской документации и ее состав, а также специальные требования к изделию.

Техническое задание разрабатывается той организацией, для которой необходимо данное изделие, однако оно может разрабатываться и организацией, которая впоследствии будет заниматься конструированием и, возможно, изготовлением данного изделия. В последнем случае техническое задание согласовывается с организацией, которая заказывает это изделие. В дальнейшем техническое задание должно быть утверждено в установленном порядке.

В техническом задании обязательно должны быть указаны следующие данные:

назначение изделия и его место в технологическом процессе выработки продукции;

технико-экономическое обоснование введения данного изделия в производство (увеличение выхода продукции, улучшение ее качества, освоение нового процесса, облегчение труда, увеличение к. п. д., уменьшение расхода энергии, массы, дефицитных материалов, габаритов, трудоемкости изготовления, условная экономия);

технико-экономические показатели процесса (производства) после внедрения изделия;

техническая характеристика изделия (производительность, скорость, габариты, установленная мощность и пр.);

технологические параметры изделия (все о продукте);

характеристика привода изделия (вид привода, включение, выключение, мощность и др.);

специальные требования (особенности некоторых составных частей, специальные материалы, условия монтажа и др.);

поэтапные сроки конструирования и изготовления опытного образца;

предполагаемая серийность.

Техническое задание поступает в конструкторское бюро, начальник которого или главный конструктор на стадии подготовительного периода выделяет ведущего конструктора и группу конструкторов.

Ведущий конструктор, изучив техническое задание, составляет график работы, в котором указывается последовательность разработки, необходимость дополнительных исследований и разработки экспериментальных узлов, необходимое количество конструкторов и вероятные сроки завершения работы.

Первым этапом работы является разработка технического предложения, которое представляет собой совокупность конструкторских документов, содержащих технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации изделия на основании анализа технического задания заказчика и различных вариантов возможных решений изделия, сравнительной оценки решений с учетом конструкторских и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий, а также патентных материалов. Обязательными документами технического предложения является ведомость технического предложения и пояснительная записка.

В зависимости от характера, назначения или условий производства изделия на стадии технического предложения дополнительно могут разрабатываться следующие документы: чертеж общего вида, габаритный чертеж, схемы, таблицы, расчеты, патентный формуляр, карта технического

уровня и качества продукции и так называемые прочие документы. Всем документам технического предложения присваивается литера П.

Техническое предложение после согласования и утверждения в установленном порядке является основанием для разработки эскизного (технического) проекта.

Эскизный проект — это совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия.

Обязательными документами эскизного проекта являются ведомость эскизного проекта и пояснительная записка, а дополнительными, разрабатываемыми по мере надобности, — чертеж общего вида, теоретический и габаритный чертежи, схемы, ведомости покупных изделий и согласования их применения, программа и методика испытаний, таблицы, расчеты, патентный формуляр, карта технического уровня и качества продукции и так называемые прочие документы. Всем документам эскизного проекта присваивается литера Э.

На этом этапе могут изготавливаться и испытываться модели, макеты изделия. Необходимость разработки конструкторских документов для изготовления макетов устанавливается разработчиком. Конструкторские документы при изготовлении макетов разрабатываются для проверки принципов работы изделия или его составных частей.

Эскизный проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки технического проекта или рабочей конструкторской документации.

Технический проект — это совокупность конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей документации.

Обязательными документами технического проекта являются чертеж общего вида, ведомость технического проекта, пояснительная записка. Дополнительными — чертежи деталей, теоретический и габаритный чертежи, схемы, ведомость покупных изделий и согласования их применения, технические условия; программа и методика испытаний, таблицы, расчеты, патентный формуляр и карта технического уровня и качества продукции. Всем документам технического проекта присваивается литера Т.

На этом этапе работ также возможно изготовление и испытание макетов изделия. Необходимость разработки конструкторских документов для изготовления макетов устанавливается разработчиком. Такие документы часто бывают необходимы для проверки основных конструкторских решений разрабатываемого изделия или его составных частей; для предварительной проверки целесообразности изменения отдельных составных частей изготавливаемого изделия до внесения этих изменений в рабочие конструкторские документы опытного образца (опытной партии).

Технический проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки рабочей конструкторской документации.

Конструкторским документам для индивидуального производства, предназначенным для разового изготовления одного или нескольких изделий, присваивается литера И. Разработке рабочей конструкторской документации индивидуального производства может предшествовать выполнение отдельных стадий разработки (техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект).

Выполнение рабочего проекта — важный период для воплощения всех замыслов, расчетов, разработок, экспериментов, которые возникли и проводились на предыдущих этапах, в детальные чертежи, схемы, спецификации, ведомости и другие конструкторские документы. Количество чертежей и текстовых документов на этой стадии строго лимитировано, и все

они должны быть выполнены в установленные сроки. Все покупные изделия должны быть специфицированы, согласованы, заказаны;

при этом должна быть уверенность в том, что все ведомости и спецификации заполняются правильно: марки изделий, заводы-исполнители, количество изделий на машину, на запасные комплекты.

На стадии выполнения рабочего проекта в первую очередь разрабатывают детальные чертежи на крупные модели литейных деталей (стальных, чугунных), цикл изготовления которых весьма длителен; выдаются чертежи на самые крупные поковки и другие детали, которые будут изготавливаться на других заводах. На этой стадии конструкторская документация подвергается строгому контролю технологической службы и службы стандартизации.

Рабочая конструкторская документация включает чертежи всех деталей, сборочных единиц, спецификации и другие документы, не вошедшие в конструкторскую документацию предыдущих стадий, но необходимые на данной стадии. Разрабатывается она на опытный образец (опытную партию), установочную серию, головную серию (установившегося серийного или массового производства). Этим документам присваивают соответственно литеры О, А и Б.

На этапе рабочего проектирования изделия изготавливают и испытывают. Испытания разделяют на заводские, приемочные, межведомственные и государственные. После каждого вида испытаний проводится корректировка конструкторских документов.

Техническое совершенство и надежность машин и аппаратов.

Количественной характеристикой технического совершенства оборудования является срок, в течение которого оно по своим основным показателям будет соответствовать современному уровню техники.

Надежность, обусловленная безотказностью, долговечностью и ремонтпригодностью, — свойство оборудования выполнять свои функции в

заданных эксплуатационных условиях. Количественно надежность оценивается произведением вероятности безотказной работы в течение заданного времени на коэффициент оптимального технического использования оборудования.

Безотказность — свойство оборудования сохранять работоспособность в определенных режимах и условиях эксплуатации.

Отказ — утрата способности машины выполнять свои функции.

Долговечность — свойство оборудования длительно, с возможными перерывами на ремонт, сохранять работоспособность в определенных условиях эксплуатации до достижения заданного предельного состояния либо разрушения. Долговечность количественно оценивают полным техническим ресурсом, т. е. суммарной продолжительностью работы оборудования, ограниченной износом, старением или другим предельным состоянием.

Ремонтопригодность — приспособленность оборудования к восстановлению исправного состояния и к поддержанию заданного технического ресурса на основе предупреждения, обнаружения и устранения частичной либо полной утраты работоспособности.

Наука о надежности, базирующаяся на математико-статистическом и вероятностном подходе к созданию технически совершенного оборудования, устанавливает закономерности возникновения конструктивных, технологических и эксплуатационных отказов и восстановления работоспособности оборудования; она в объективной форме рассматривает влияние внешних и внутренних воздействий, создает и систематически уточняет основы расчета надежности оборудования при его конструировании, изготовлении и эксплуатации.

Надежность является важнейшим и наиболее всеобъемлющим показателем качества любой технической системы; значение ее усиливается в связи с широким внедрением в производство средств механизации и автоматизации.

Нормирование надежности и долговечности узлов и комплекса их является важнейшей функцией служб надежности КБ, НИИ и машиностроительных заводов. В связи с этим особое значение приобретает разработка рациональных

методов расчета изделий, а также технических средств и методов испытания последних. Это необходимо для объективного выявления количественных показателей надежности и установления технически и экономически обоснованных гарантийных сроков службы отдельных узлов, а также машин, аппаратов и оборудования в целом.

К числу основных причин недостаточной надежности оборудования следует отнести: необоснованность схемных, конструктивных и технологических решений; низкое качество исходных материалов, комплектующих изделий и сборочных работ; недостаточный объем и низкий научно-технический уровень лабораторных, стендовых и производственных испытаний отдельных элементов и комплекса их. Отрицательное влияние на качество действующего оборудования оказывают несоответствие условий его работы техническим требованиям, установленным при конструировании, изготовлении и монтаже, низкая культура производства и несовершенство применяемой системы планово-предупредительного ремонта.

Лекция 3, 4. -4ч.

Технологическое оборудование для выделения примесей отличающихся от зерен основной культуры по ширине и толщине.

Конструкция сит, геометрические и технологические параметры. Основы теории сепарирования сыпучих продуктов на ситах.

Назначение, принцип действия, область применения ситовых сепараторов. Основные узлы ситовых сепараторов.

Ситовые сепараторы с плоскими ситами, совершающие круговые или возвратно-поступательные движения, машины с вращающимися ситами. Технические характеристики ситовых сепараторов, их кинематические и функциональные схемы.

Кинематика процесса сепарирования зерновых смесей на неподвижных наклонных и подвешенных ситах. Перемещения частиц материала на плоских ситах. Влияние размеров отверстий сит на характер движения по нему частиц материалов. Условия движения частиц в машинах с цилиндрическими и призматическими ситами.

На зерноперерабатывающих предприятиях в основном используются ситовые сепараторы совершающие круговые или возвратно-поступательные движения сит.

На рисунке 1 изображены четыре варианта технологической схемы ситового корпуса одинаковой ширины.

Наиболее приемлемыми являются схемы № 1 и 4. Для разделения массы зерна на крупное и мелкое можно рекомендовать схему № 3, для очистки зерна только от грубых примесей — схему № 2.

Наиболее часто применяется схема № 1. Исходный продукт двумя параллельными потоками поступает в питающий механизм, который направляет его на приемное сито 1, предназначенное для выделения из зерна грубых примесей, удаляемых из машины через поперечные лотки. Зерно проходя через приемное сито поступает на сортировочное сито 2, которое также служит для выделения из зерна крупных примесей. Зерно проходя через первую часть сортировочного сита поступает на делитель 5 щелевого типа, который делит зерно на два потока: один поток поступает на верхнее укороченное подсевное сито 3, а другой — на нижнее 4.

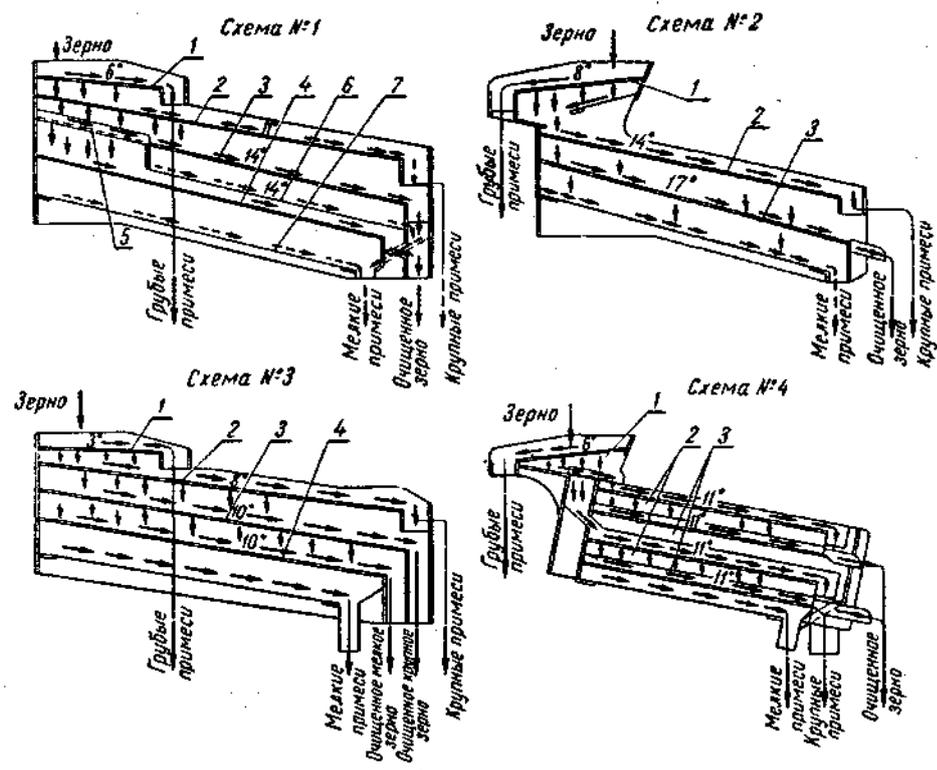


Рис. 1. Технологические схемы корпуса сепаратора для мельниц с пневматическим транспортом:

Схема № 1 — сита (1 — приемное; 2 — сортировочное; 3 — подсевное укороченное; 4 — подсевное; 5 — делитель; 6, 7 — поддоны); схемы № 2 и № 4 — сита (1 — приемное; 2 — сортировочное; 3 — подсевное); схема № 3 — сита (1 — приемное; 2 — сортировочное; 3 — разгрузочное; 4 — подсевное).

Проходом через остальную часть сортировочного сита зерно поступает непосредственно на подсевное сито 4. Сход с обоих подсевных сит — очищенное зерно — выводится из машины через общий канал. Проход подсевных сит — мелкие примеси (песок, семена диких растений, битое зерно) — по поддонам 6 и 7 направляется из машины через другой общий канал.

Процесс разделения сыпучих материалов на части, различающиеся геометрическими признаками и физическими свойствами, называют сепарированием. Во многих отраслях пищевой промышленности сепарирование является одним из основных технологических процессов.

В машинах, осуществляющих разделение материалов механическим способом, процесс осуществляется просеиванием на с и т а х.

Наибольшее распространение получили просеивающие машины (сепараторы) с плоскими и цилиндрическими ситами, со следующими движениями сит: плоские сита совершающие возвратно-поступательное, круговое поступательное в горизонтальной плоскости и вибрационное движение; барабанными в виде цилиндра, призмы или усеченной пирамиды (пирамидальные) вращающиеся вокруг горизонтальной или наклонной оси; неподвижные сита, относительно которых продукт перемещается посредством шнека или бичей.

Машины с возвратно-поступательным движением плоских сит.

Основными расчетными параметрами плоских сит зерновых сепараторов являются: ширина и длина подсевных сит, угол наклона их к горизонтали, угол направления колебаний, кинематические параметры.

Производительность  $Q$  (кг/ч) ситового сепаратора определяем по формуле (1).

$$Q = B * q \quad (1)$$

где  $B$  – ширина подсевного сита, см;  $q$  – удельная нагрузка (на единицу ширины сита), кг/(см\*ч). Удельную нагрузку  $q$  для подсевных сит принимают 45...60 кг/(см\*ч), для сортировочных с отверстиями диаметром 6...10 мм в 3...4 раза больше, а для приемных сит с отверстиями диаметром 20...40 мм в 8...10 раз больше чем для подсевных сит. Для высокопроизводительных сепараторов на элеваторах удельную нагрузку  $q$  на подсевные сита принимают до 200 кг/(см\*ч).

Длину сита  $L$  (дм) определяю по формуле (2).

$$L = \frac{Q}{q_F * B} \quad (2)$$

где  $q_F$  – удельная производительность (производительность на единицу площади сита), кг/(дм<sup>2</sup>\*ч);  $B$  – ширина сита, дм.

Удельную  $q_F$  производительность для сит с рабочими размерами отверстий 6 мм и более (сортировочные и приемные сита) определяем по формуле (3).

$$q_F = 60 * (a - 4,5) \quad (3)$$

где  $a$  - рабочий размер сита, мм.

Толщину  $h_1$  слоя зерна, движущегося по сити со средней скоростью подачи  $V_{CP}$ , определяем по формуле (4).

$$h_1 = \frac{q_1}{V_{CP} * \rho * k} \quad (4)$$

где  $q_1$  – количества зерна в кг, поступающего на 1 м ширины данного сита за 1 с (кг/(м\*с));  $\rho$  - насыпная плотность зерна, кг/м<sup>3</sup>;  $k$  – коэффициент разрыхления зерновой смеси (для ржи и пшеницы  $k = 1,5$ ), оптимальная средняя скорость перемещения зерна по сити находится в пределах от 0,32...0,34 м/с.

Частоту и амплитуду колебаний сит выбирают в зависимости от физико-механических свойств зерна и примесей. Для оценки и выбора кинематических параметров пользуемся условным кинематическим параметром  $k$ , который определяют по формуле (5).

$$k = \omega^2 * r \quad \text{или} \quad k = \frac{\omega^2 * r}{g} \quad (5)$$

Для очистки пшеницы и ржи принимают  $\omega^2 * r = 12,5...16$  м/с<sup>2</sup> при  $r = 0,005$  м; для исходных ингредиентов комбикормов  $\omega^2 * r = 13,5...16,5$  м/с<sup>2</sup> при  $r = 0,0125...0,015$  м; для калибрования семян кукурузы  $\omega^2 * r = 11...12$  м/с<sup>2</sup> при  $r = 0,007$  м. Эти показатели относятся к зерну нормальной влажности и засоренности.

Технологическую схему установки сит в корпусе выбирают на основании справочных данных.

Движение частицы вниз по поверхности наклонного сита возможно, если сила ее инерции больше силы трения. Из этих условий выведена формула (6) для определения частоты вращения эксцентрика:

$$n_B = 30 * \sqrt{\frac{tg(\varphi + \alpha)}{r}} \quad (6)$$

где ( $\varphi$  — угол трения частицы о поверхность сита, град ( $\varphi = \arctg f$  где  $f$  — коэффициент трения);  $\alpha$  — угол наклона сита, град;  $r$  — эксцентриситет или радиус кривошипа, м.

Максимальную рабочую частоту вращения эксцентрика определяют по формуле (7).

$$n_{\max} = \frac{30}{\sqrt{r * tg \alpha}} \quad (7)$$

Рабочую частоту вращения эксцентрика определяем из выбранного кинематического параметра, при этом должно выполняться условие:

$$n_B < n_p < n_{\max} \quad (8)$$

Производительность просеивающей машины с плоским ситом зависит от многих факторов. Основные затруднения при теоретическом определении производительности заключаются в установлении толщины слоя муки на сите. Для ориентировочного определения производительности можно пользоваться практическими данными: принимать производительность сита- площадью 1 м<sup>2</sup> около 2 кг/с.

Производительность грохота (в кг/с) с просеивающей поверхностью прямоугольной формы определяется по формуле (9).

$$Q = h * b * v * \rho \quad (9)$$

где  $h$  — толщина слоя материала в начале просеивающей поверхности, м;  $b$  — ширина просеивающей поверхности, м;  $v$  — скорость движения материала по просеивающей поверхности, м/с;  $\rho$  — насыпная плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Мощность  $N$  потребная для вращения вала кривошипа (в кВт), может быть определена по эмпирической формуле (10).

$$N = \frac{\omega^3 * r^2 * (m_c + m_M)}{204} \quad (10)$$

где  $\omega$  — частота вращения кривошипа,  $c^{-1}$ ;  $r$  — радиус кривошипа, м;  $m_c$  — масса качающихся частей сита, кг;  $m_M$  — масса слоя муки на сите, кг.

Мааса  $m_c$  слоя муки на сите определяем по формуле (11).

$$m_M = F * h * \rho \quad (11)$$

где  $F$  — площадь сита,  $m^2$ ;  $h$  — толщина слоя муки, м;  $\rho$  — насыпная плотность материала,  $кг/м^3$ .

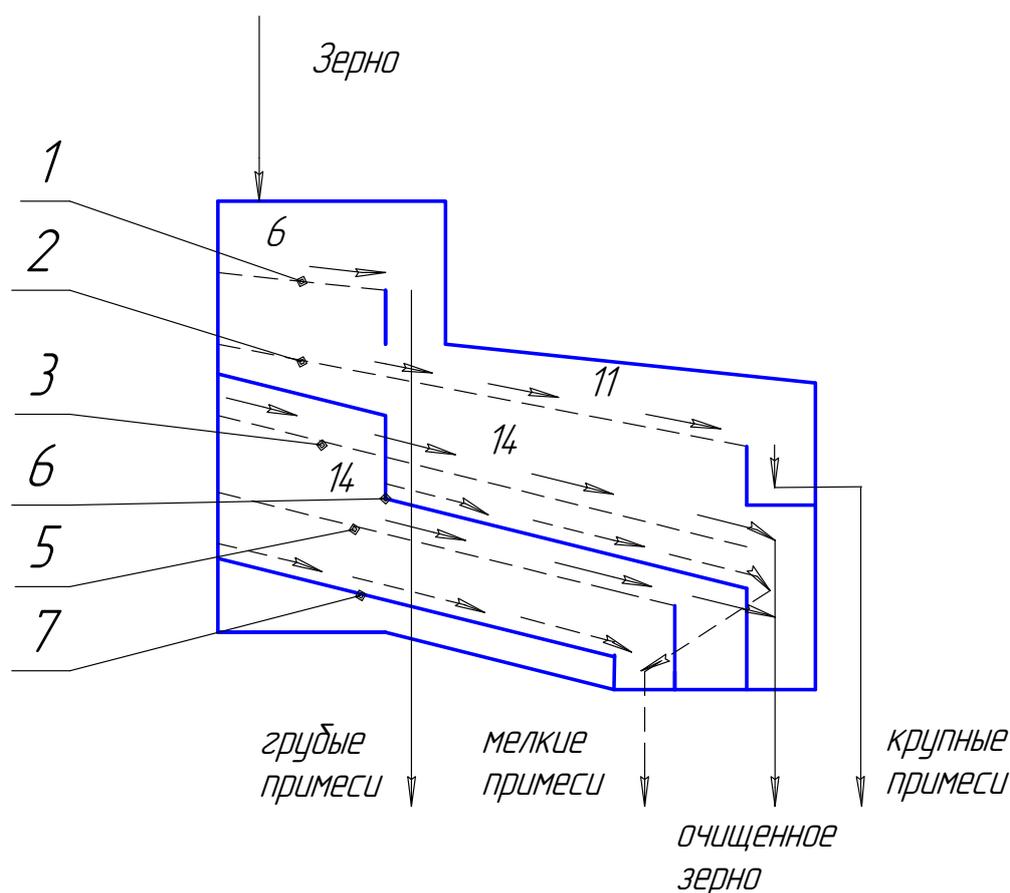


Рис.2. Технологическая схема установки сит в корпусе сепаратора.

1. Приемное сито; 2. Сортировочное сито; 3. Подсевное укороченное;
4. Подсевное сито; 5. Делитель; 6,7. Поддоны.

Для обеспечения вращения кривошипного вала составим кинематическую схему, которая представлена на рис.3.

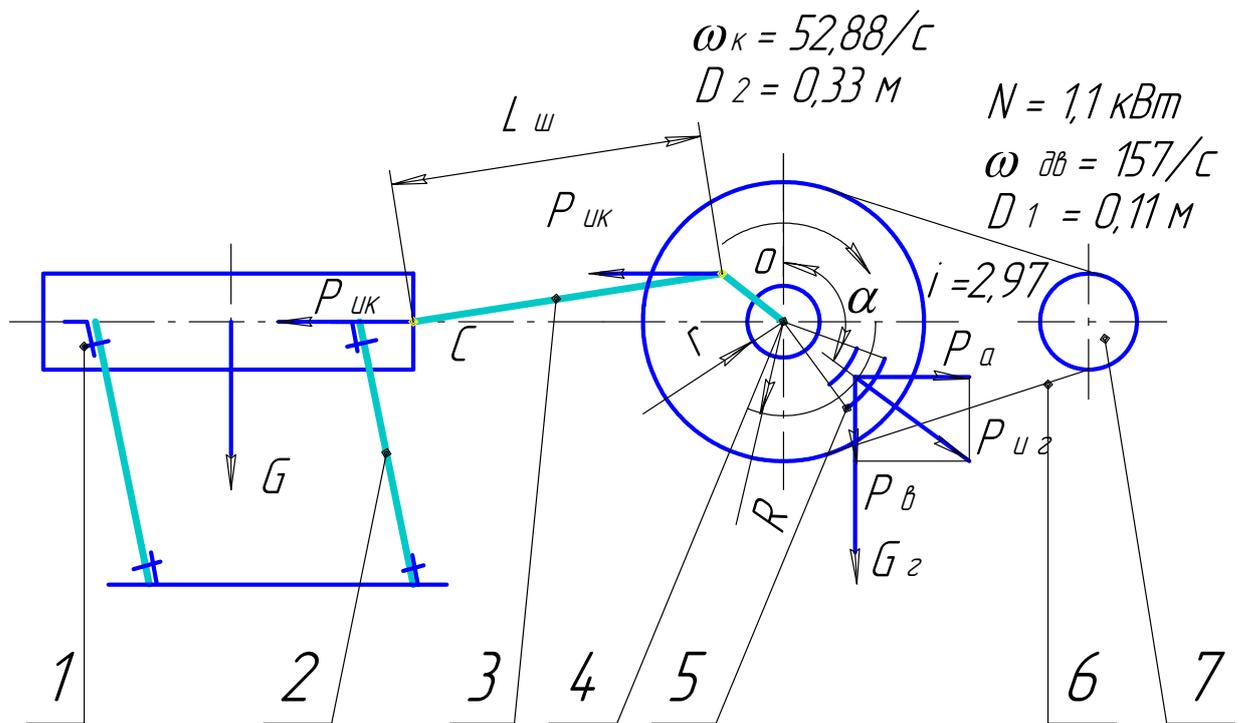


Рис.3. Кинематическая схема ситового сепаратора с кривошипно-шатунным механизмом, уравновешенного посредством вращающегося балансира.

$P_{ик}$  и  $P_{иг}$  -силы инерции корпуса и грузов, кГ;  $\omega$  - угловая скорость кривошипа,  $c^{-1}$ ;  $r$  и  $R$  – соответственно радиусы кривошипа и центра тяжести балансирных грузов;  $P_A$  и  $P_B$  – соответственно горизонтальная и вертикальная составляющая силы инерции груза.

Крутящий момент от электродвигателя 7 через ременную передачу 6 передается на кривошипный вал 4 с установленным на нем балансиром 5. Далее кривошип вала 4 через шатун 3 передает возвратно-поступательные движения на ситовой корпус 1, который установлен на четырех плоских пружинах 2.

Для уравновешивания привода необходимо подобрать массу балансирного груза  $m_r$  и радиус вращения  $R$  центра тяжести груза такой величины, чтобы горизонтальная составляющая  $P_A$  по модулю была равна силе инерции корпуса  $P_{ик}$ .

Радиус центра тяжести балансиров определяем по формуле (12).

$$R = \frac{m_k * r}{m_r} \quad (12)$$

где  $m_k$  и  $m_r$  –соответственно массы корпуса и груза, кг.

Длину  $L_{ш}$  (м) шатуна кривошипно-шатунного привода определяем по формуле (13).

$$L_{ш} = (30...50) * r \quad (13)$$

Силы инерции поступательно движущихся масс корпуса или балансирного груза определяем по формуле (14).

$$P_{и} = m * \omega^2 * r * \cos \alpha \quad (14)$$

где  $P_{ик}$  и  $P_{иг}$  -силы инерции корпуса и грузов, кГ;  $\omega$  - угловая скорость кривошипа,  $c^{-1}$ ;  $r$  и  $R$  – соответственно радиусы кривошипа и центра тяжести балансирных грузов;  $P_A$  и  $P_B$  – соответственно горизонтальная и вертикальная составляющая силы инерции груза.

Ситовой корпус устанавливается на четырех пружинах, на каждую из них передается возмущающая сила, равная 0,25 силы инерции. Максимальная деформация пружины равна амплитуде колебаний сита  $F_3 = A$ .

Рабочую  $L_o$  (мм) длину пластинчатой пружины определяем по формуле (15).

$$L_o = \sqrt{\frac{3 * S * E * F_3}{2 * [\sigma_{из}]}} \quad (15)$$

где  $S$  –толщина пружины, мм;  $E$  – модуль упругости, кГ/мм<sup>2</sup>;  $[\sigma_{из}]$  – допускаемое напряжение при изгибе, кГ/мм<sup>2</sup>.

Ширину  $b$  пружины определяем по формуле (16).

$$b = \frac{6 * P * L_o}{S^2 * [\sigma_{из}]} \quad (16)$$

где  $P$  – возмущающая сила (кГ), которая находится из выражения (17).

$$P = \frac{P_{ик}}{4} \quad (17)$$

Устройство для очистки сит.

Для очистки сит от застрявших в его отверстиях частиц служит инерционный механизм (рис. 4).

Рабочими органами механизма являются очистители 1, состоящие из набора резиновых пластинок. Они соединены между собой плоской пружиной 7, которая двумя болтами прикреплена к корпусу механизма 9.

Передвигается система очистителей под ситами механизмом, опирающимся двумя профилированными роликами 15 на направляющий угольник 12. Свободному передвижению механизма способствует работа его роликов на шарикоподшипниках 16. Механизм снабжен тормозным устройством одностороннего действия и переключателем направления движения в крайних положениях.

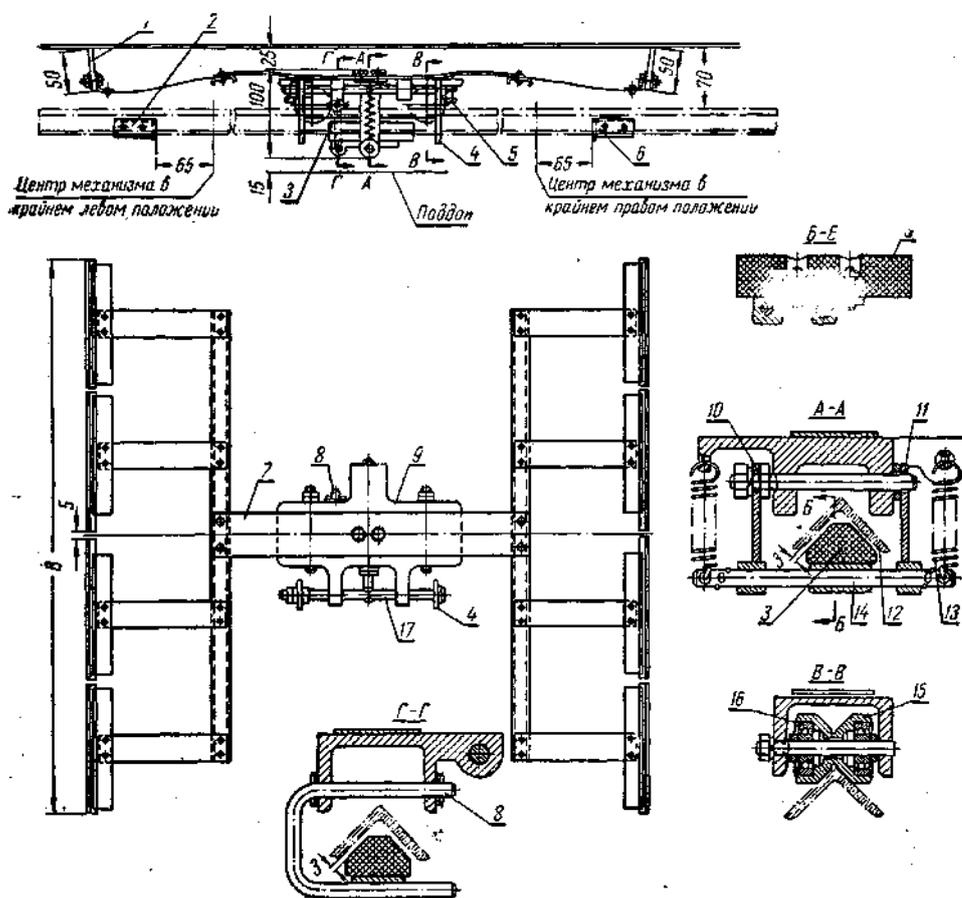


Рис. 4. Инерционный механизм для очистки сит от застрявших частиц.

Тормозное устройство состоит из двух подвесок 10 и 11, резинового тормозного башмака 3, соединенного с подвесками осью 14 и удерживаемого в прижатом состоянии к направляющему угольнику с помощью цилиндрических пружин 13 и скобы 5, которая обеспечивает устойчивую работу башмака.

Переключатель 4 направления движения соединен со штоком 17, свободно перемещающимся в двух ушках корпуса механизма и взаимодействующий в крайних положениях с фиксатором 2 и 6. Под фиксатором установлены отсеченные угольники, которые способствуют более четкому переключению механизма.

Если механизм плохо переключается в крайних положениях, особенно в верхнем, необходимо передвинуть отсеченные угольники таким образом, чтобы тормозной башмак 3 касался угольника только после того, как центр механизма не окажется в соответствующем положении (см. верхнюю часть рисунка 4). Устойчивое положение переключателя обеспечивается одной из цилиндрических пружин 13.

Степень прижатия очистителей к ситам регулируется двумя болтами 5, ввинченными в корпус механизма и упирающимися своими концами в плоскую пружину 7, связывающую очистители. Вращением болтов изменяют величину прогиба пружины, а следовательно, и степень прижатия очистителей к поверхности сита.

Для нормальной работы очистительного инерционного механизма подъем очистителей должен быть таким, чтобы при снятом сите их - верхняя кромка была на 15—20 мм выше поверхности сита.

### Приводные механизмы

При возвратно-поступательном движении ситовых корпусов, осуществляемом посредством кривошипно-шатунного или эксцентрикового механизма, возникают переменные по величине и знаку силы инерции, действующие по линии движения корпусов.

Уравновешивание таких машин представляет большие трудности. Поэтому приходится ограничиваться лишь частичным уравновешиванием (60—70%).

Уравновешивание двух ситовых корпусов, расположенных друг к другу под углом 180° (рис. 5). В машинах, применяемых для очистки зерна, отношение

длин подвесок к эксцентриситету велико, поэтому можно с достаточной для практических целей точностью рассматривать движение корпуса как гармоническое в плоскости перпендикулярно оси подвесок при нахождении их в среднем положении.

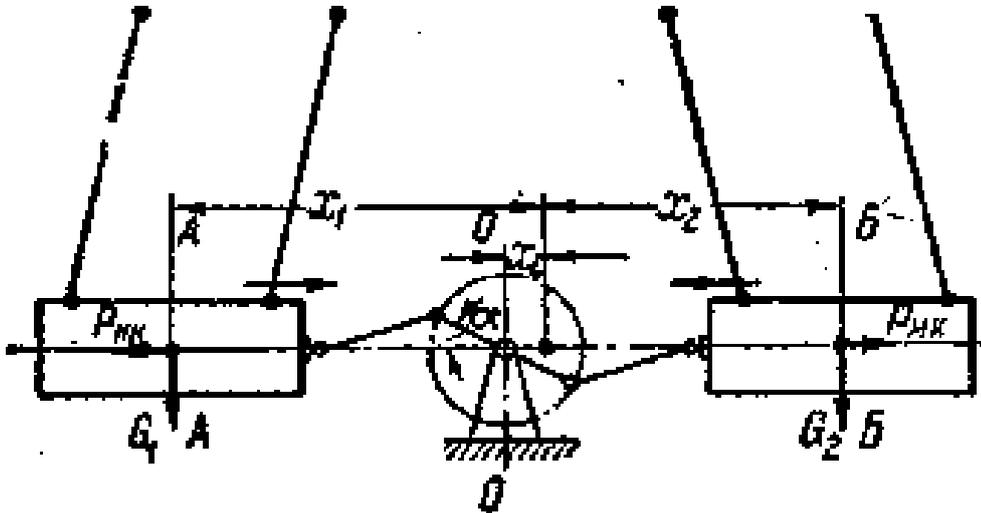


Рис. 5. Схема уравнивания ситовых корпусов, расположенных под углом  $180^\circ$ :

A-A, B-B – оси, проходящие через центров корпусов; O-O – ось, вокруг которой вращается кривошип;  $P_{ик}$  – сила инерции корпусов;  $G_1$ ,  $G_2$  – силы тяжести корпусов.

Координату общего центра инерции рассматриваемой материальной системы выражают следующей формулой:

$$X_c = \frac{G_1 X_1 + G_2 X_2}{G_1 + G_2} \quad (18)$$

Если  $G_1 = G_2$  и  $X_1 = X_2$ , то  $X_c = 0$ , т. е. общий центр тяжести системы будет находиться в покое.

Таким образом, полное уравнивание двух одинаковых по весу колеблющихся корпусов, устанавливаемых под углом  $180^\circ$ , может быть достигнуто, если центры масс или центры инерции корпусов перемещаются в одной плоскости, а общий центр масс совпадает с осью кривошипного вала, расположенного в той же плоскости посередине центров масс корпусов.

Однако такие машины не получили широкого распространения из-за их громоздкости. Они неудобны так как число приемов и выпусков продуктов вдвое больше; это усложняет подвод самотечных труб, требует большей площади и высоты здания. Кроме того, трудно добиться фактически одинакового веса корпусов, так как количество продуктов, поступающих в ситовые корпуса, колеблется в широких пределах. Приводной механизм находится в машинах между двумя колеблющимися корпусами, а поэтому доступ к нему затруднен.

Уравновешивание ситовых корпусов, расположенных в параллельных плоскостях (рис. 6). В таких случаях нельзя получить полной уравновешенности сил инерции в горизонтальной плоскости, так как центры масс корпусов перемещаются в разных плоскостях. При этом появляется пара сил с плечом, соответствующим расстоянию между центрами масс корпусов.

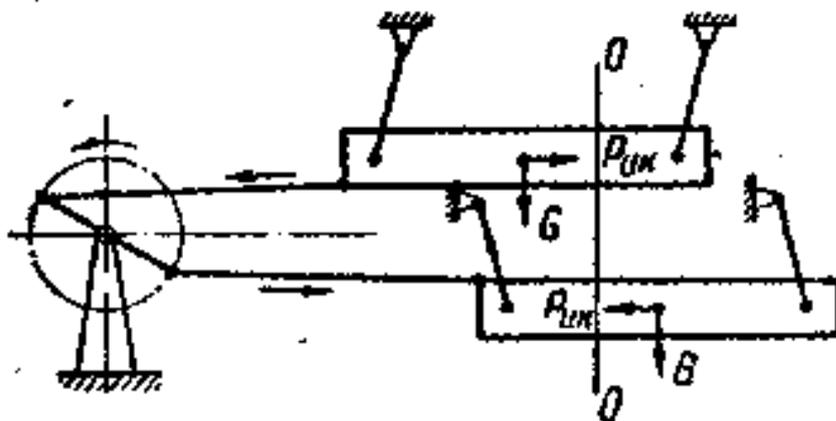


Рис. 6. Схемы уравновешивания ситовых корпусов, расположенных в параллельных плоскостях.

Уравновешивание ситовых корпусов с кривошипно-шатунным механизмом посредством вращающихся балансиров. В машинах для очистки зерна часто применяют эксцентриково-шатунный приводной механизм (рис. 7).

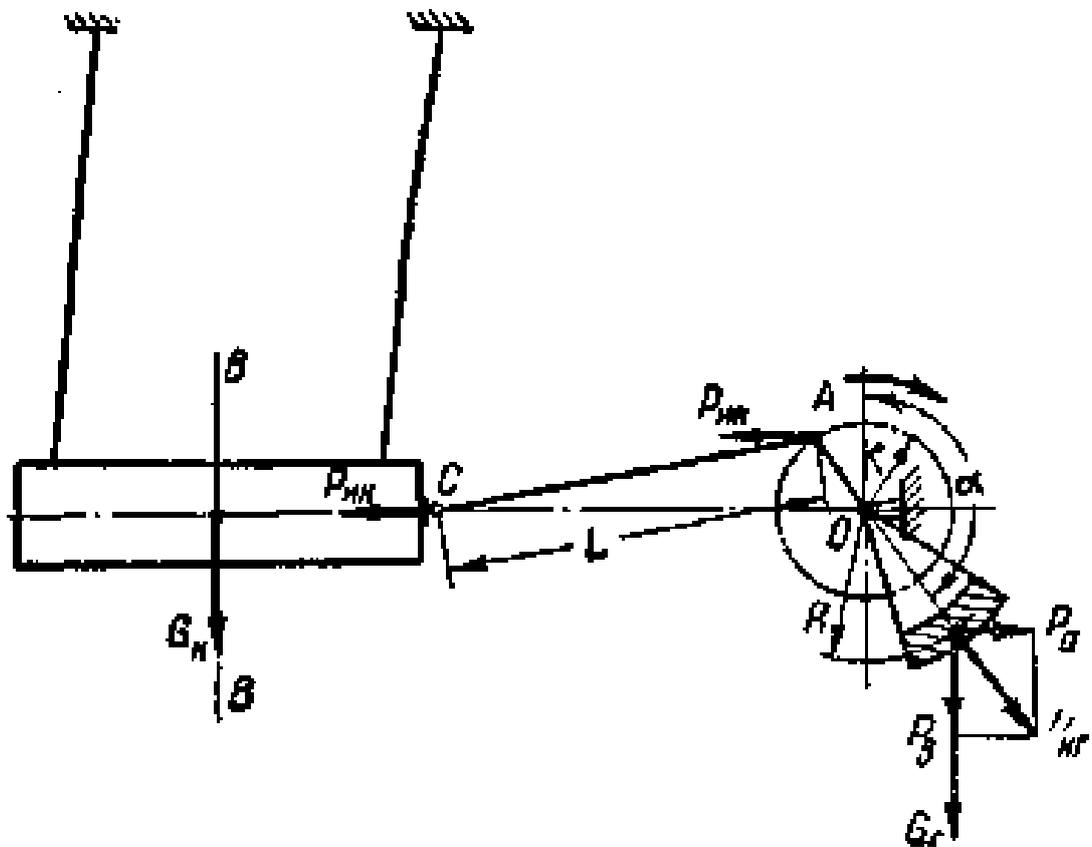


Рис. 7. Схема уравновешивания ситового корпуса с кривошипно-шатунным механизмом посредством вращающегося балансира:

$R$  — радиус вращения центра тяжести балансира;  $r$  — радиус вращения кривошипа;  $P_{иг}$  — центробежная сила инерции вращающегося груза;  $P_{ик}$  — центробежная сила инерции колеблющегося ситового корпуса;  $B—B$  — ось, на которой расположен центр тяжести корпуса;  $O$  — ось вращения кривошипа и балансира;  $G_{Г}$  — сила тяжести груза;  $G_{К}$  — сила тяжести корпуса.

Если длина шатуна  $L$  значительно больше радиуса кривошипа, то равнодействующая сил инерции поступательно движущегося корпуса, которую мы принимаем сосредоточенной в точке  $C$ , выражается формулой:

$$P_{ик} = \frac{G_{К}}{g} \omega^2 r \cos \alpha \quad (19)$$

Перенесем силу  $P_{ик}$  параллельно самой себе в цапфу  $A$  кривошипа.

Разлагая силу инерции  $P_{иг}$  вращающегося груза по направлению движения корпуса и по нормали к нему, получим силу

$$P_a = P_{ин} \cos \alpha = \frac{G_{\Gamma}}{g} \omega^2 R \sin \alpha, \quad (20)$$

действующую в горизонтальном направлении, и силу

$$P_b = P_{ин} \sin \alpha = \frac{G_{\Gamma}}{g} \omega^2 R \sin \alpha, \quad (21)$$

действующую в вертикальном направлении.

Пренебрегая массами шатуна и кривошипа, можно подобрать вес груза  $G_{\Gamma}$  и радиус вращения  $R$  такой величины, чтобы горизонтальная составляющая  $P_a$  по модулю была равна силе инерции, возникающей при возвратно-поступательном движении корпуса, т. е.

$$P_a = P_{ин}$$

или

$$\frac{G_{\Gamma}}{g} \omega^2 R \cos \alpha = \frac{G_K}{g} \omega^2 r \cos \alpha$$

откуда

$$G_{\Gamma} R = G_K r \quad (22)$$

что в общем виде представляет собой равенство статических моментов сил тяжести груза и корпуса.

При таком уравнивании, однако, неизбежно получение вертикальной составляющей  $P_b$ , которая достигнет наибольшей величины при вертикальном положении груза ( $\alpha = 0^\circ$ ,  $\alpha = 180^\circ$ ):

$$P_{b \cdot \max} = \frac{G_{\Gamma}}{g} \omega^2 R \quad (23)$$

Чтобы избежать значительных неуравновешенных сил, действующих в вертикальном направлении и могущих вызвать вредные последствия, нужно уравнивать поступательно движущиеся массы не полностью, а частично. Силы инерции колеблющихся масс в таких механизмах обычно уравнивают вращающимися грузами на 50—60%.

Уравновешивание при бескривошипном приводе. На рисунке 8 показана схема бескривошипного привода для прямолинейного возвратно-поступательного движения корпуса.

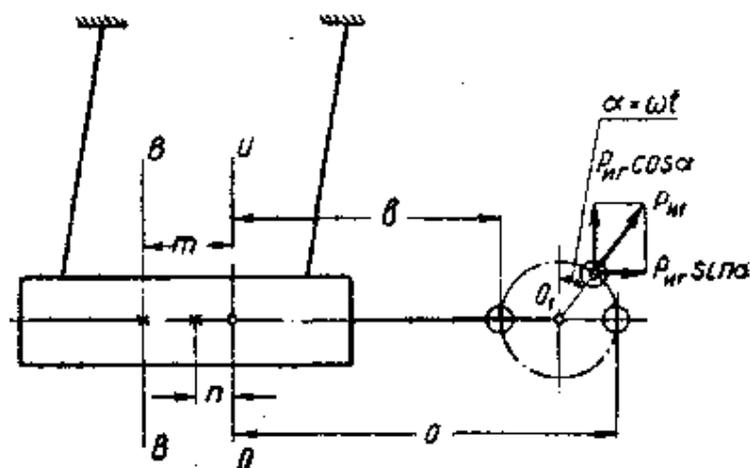


Рис. 8. Схема бескривошипного механизма для прямолинейного возвратно-поступательного колебания масс:

V—V — ось, на которой лежит центр тяжести корпуса в крайнем левом положении; O—O — ось, на которой находится общий центр тяжести материальной системы;  $m$  — расстояние между осью O—O и центром тяжести корпуса при крайнем левом положении;  $a$  — расстояние между осью O—O и осью, проходящей через центр тяжести груза в крайнем правом положении;  $n$  — расстояние между осью O—O и центром тяжести корпуса при крайнем правом положении корпуса;  $b$  — расстояние между осью O—O и осью, проходящей через центр тяжести груза в крайнем левом положении.

В этой схеме  $m$  — расстояние от оси V—V, на которой лежит центр массы корпуса в крайнем левом положении до оси O—O, на которой находится центр масс материальной системы. При системе корпус — бескривошипный привод ось  $O_1$  колеблется вместе с корпусом.

Рассматриваем систему корпус — бескривошипный привод как материальную систему, подвешенную на достаточно длинных подвесках, при которых реакции подвесок во всех положениях корпуса направлены по вертикали.

Применяя к этой системе теорему о движении центра масс системы, можно ее рассматривать как систему, для которой сумма проекций внешних сил на горизонталь равна нулю. Тогда при крайнем правом положении груза корпус

займет крайнее левое положение, а при крайнем левом положении груза корпус займет крайнее правое положение.

Амплитуда колебания системы корпус — бескривошипный привод равна  $\frac{m-n}{m}$ . Эта система не лишена основного недостатка кривошипного привода.

Горизонтальная составляющая силы инерции груза всегда уравнивается силой инерции корпуса. Вертикальная составляющая силы инерции груза, как и при кривошипном приводе, достигающая своего максимума при  $\alpha = 0$  и  $\alpha = 180^\circ$ , остается неуравновешенной и служит причиной возникновения переменных динамических реакций в подвесках.

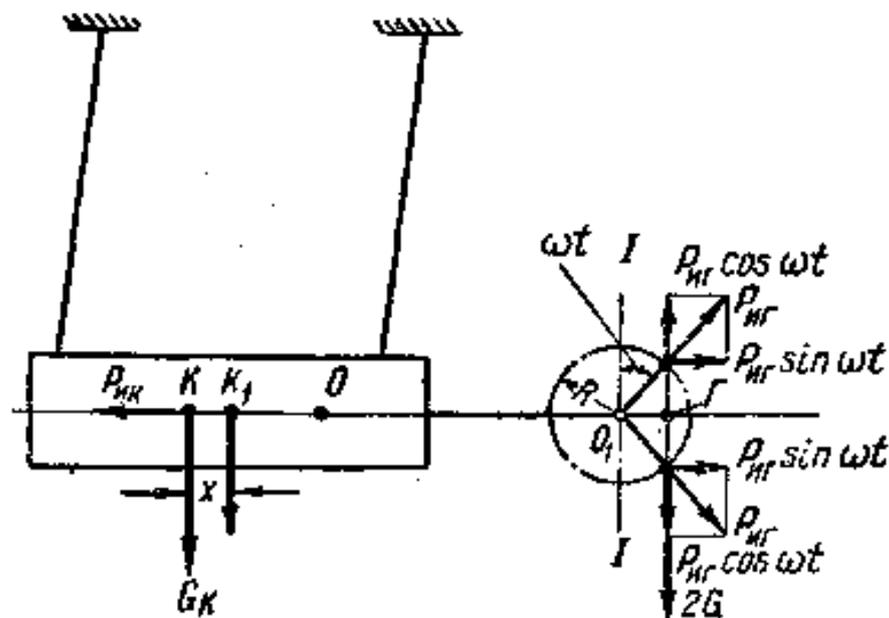


Рис. 9. Схема инерционного колебателя:

$K$  — центр тяжести корпуса;  $\Gamma$  — общий центр тяжести двух балансиров;  $K_1$  — среднее положение центра тяжести корпуса, соответствующее положению грузов  $G_\Gamma$  на вертикальном диаметре  $I-I$ ;  $O$  — общий центр тяжести системы;  $O_1$  — ось вращения грузов;  $\omega t$  — мгновенный угол вращения грузов.

Схема действия инерционных колебателей. На рисунке 9 изображена схема инерционного колебателя, так называемого балансирующего механизма или дебалансного вибратора направленного действия, посредством которого

можно полностью уравновесить силы инерции корпуса при всех положениях балансиров.

Эта задача решается при условии вращения двух одинаковых по статическому моменту грузов вокруг одной оси в противоположных направлениях—синхронно и синфазно.

Вертикальные составляющие центробежных сил инерции этих двух грузов  $P_{ик} \cos \omega t$  при любом их положении взаимно уравновешиваются. Суммы горизонтальных составляющих  $2P_{иг} \sin \omega t$  уравновешивают силу инерции  $P_{ик}$  поступательно движущегося ситового корпуса.

Движение ситового корпуса с инерционным колебателем. Для выяснения характера колебаний ситового корпуса рассмотрим систему корпус плюс инерционный колебатель в одном из промежуточных положений балансиров.

Если пренебречь перемещением центра тяжести корпуса по вертикали, упругостью его подвесок и сопротивлением среды, натяжением ремня и трением в шарнирах, т. е. считать систему свободной в горизонтальной плоскости, то перемещение корпуса может быть определено из теоремы о движении проекции центра масс системы.

В данном случае при отсутствии внешних сил в горизонтальной плоскости общий центр масс вращающихся грузов и ситового корпуса должен оставаться в покое. Когда центр тяжести (центр масс)  $\Gamma$  грузов находится вправо от оси вращения  $O_1$  на расстоянии  $R \sin \omega t$ , то его абсолютное смещение от среднего положения составляет  $R \sin \omega t + X$ , где  $X < 0$ — смещение центра тяжести ситового корпуса влево.

Для нахождения общего центра масс в покое необходимо, чтобы

$$2G_{\Gamma} (R \sin \omega t - X) = G_K X, \quad (24)$$

откуда

$$X = \frac{2G_{\Gamma}}{G_K + 2G_{\Gamma}} R \cos \omega t \quad (25)$$

Выражение (25) представляет собой уравнение гармонического возвратно-поступательного движения корпуса.

Теоретически абсолютное значение максимального отклонения корпуса от среднего положения, т. е. амплитуда его колебаний,

$$A' = \frac{2G_r}{G_k + 2G_r} R \quad (26)$$

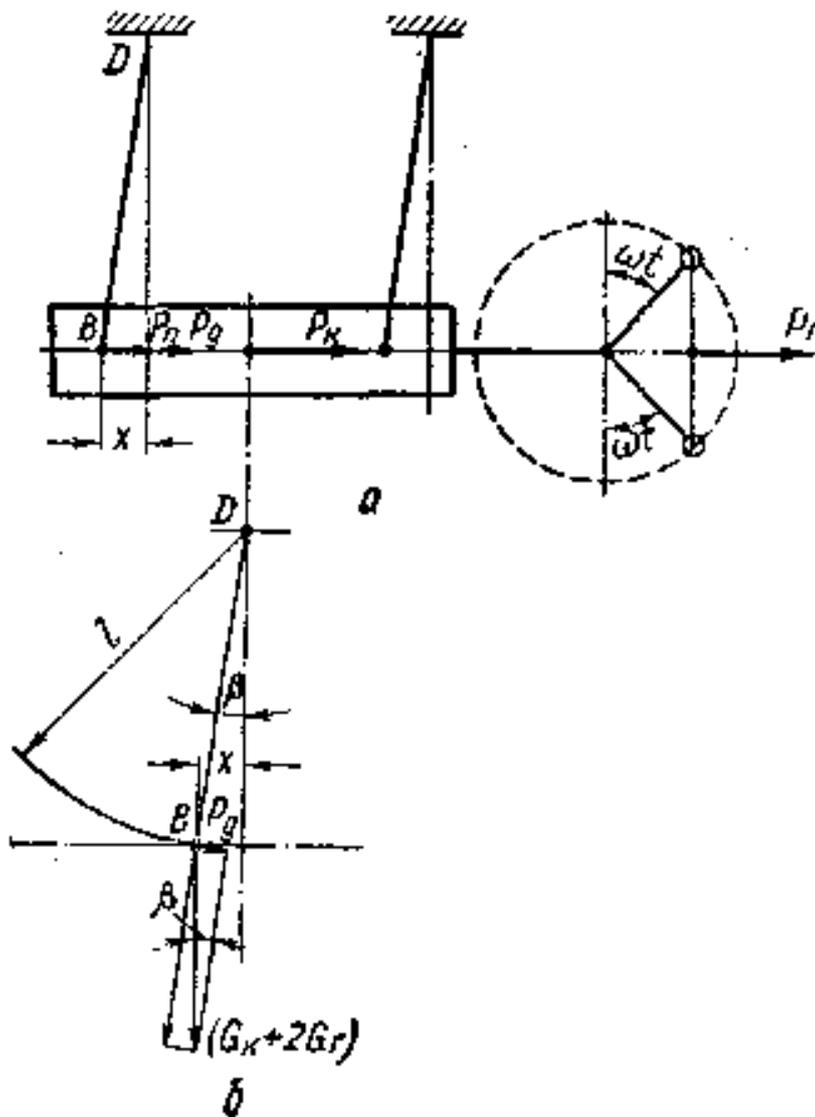


Рис. 10. Схема к расчету инерционного колебателя.

Из формулы (26) следует, что амплитуда колебания корпуса равна отношению статического момента массы вращающихся грузов к массе колеблющейся системы: при увеличении веса корпуса или уменьшении веса

грузов амплитуда колебаний корпуса уменьшается, и наоборот. Величина амплитуды не зависит от угловой скорости вращения балансиров.

Для учета длины и жесткости подвесок рассмотрим движение системы с учетом этих показателей.

На рисунке 10 показана система в положении, которое принято за начало отсчета ( $t=0$ ;  $X=0$ ; подвески вертикальны).

Для составления уравнения движения корпуса применим принцип Германа — Эйлера — Даламбера и рассмотрим условия динамического равновесия системы в мгновение  $t$ , когда грузы повернутся на углы  $\omega t$ , а корпус отклонится влево на величину  $X$  (рис. 10,а).

На систему в горизонтальной плоскости будут действовать следующие силы: равнодействующая сил инерции балансиров в относительном (вращательном) движении:

$$P_r = 2 \frac{G_r}{g} \omega^2 R \sin \omega t, \quad (27)$$

сила инерции корпуса с учетом силы инерции балансиров в переносном движении:

$$P_k = \frac{(G_k + 2G_r)}{g} \ddot{x} \quad (28)$$

и сила упругости подвесок, противодействующая отклонению корпуса от равновесного (начального) положения:

$$P_n = zcx.$$

Здесь  $z$  — число подвесок и  $c = \frac{3EJ}{l^3}$  жесткость каждой подвески

( $E$  — модуль упругости,  $J$  — момент инерции сечения,  $l$  — длина подвески);

$$P_g = (G_k + 2G_r)tg\beta, \quad (29)$$

$P_g$  — горизонтальная составляющая силы тяжести системы, обусловленная отклонением подвески от вертикали на угол  $\beta$  (см. рис. 10,б).

Если отклонение  $x$  незначительно по сравнению с  $l$ , то

$$\operatorname{tg} \beta \approx \sin \beta = \frac{x}{l} \quad (30)$$

Так как корпус совершает круговое поступательное движение, то возникают нормальные силы инерции корпуса и грузов в переносном движении. Ввиду весьма малого абсолютного значения этой силы можно в расчет ее не принимать.

Уравнение динамического равновесия в проекции на ось  $x$  имеет следующий вид:

$$P_K + P_{II} + P_g + P_r = 0 \quad (31)$$

или

$$\left( \frac{G_K + 2G_r}{g} \right) \ddot{x} + zcx + (G_K + 2G_r) \frac{x}{l} = -2 \frac{G_r}{g} \omega^2 R \sin \omega t \quad (32)$$

После преобразований получаем:

$$\ddot{x} + g \left( \frac{zc}{G_K + 2G_r} + \frac{1}{l} \right) x = -\frac{2G_r \omega^2 R}{G_K + 2G_r} \sin \omega t \quad (33)$$

Обозначим:

$$k^2 = g \left( \frac{zc}{G_K + 2G_r} + \frac{1}{l} \right), \quad (34)$$

и

$$p = -\frac{2G_r \omega^2 R}{G_K + 2G_r}, \quad (35)$$

тогда дифференциальное уравнение движения системы примет вид:

$$\ddot{x} + k^2 x = -p \sin \omega t. \quad (36)$$

Как известно, общий интеграл этого уравнения можно найти как сумму какого-либо частного решения этого уравнения и общего решения того же уравнения, но без правой части:

$$x = x_1 + x_2$$

Частное решение уравнения (VI-18) можно представить так:

$$x_1 = b \sin \omega t ,$$

где  $b$  — некоторая постоянная.

Подставив это решение в уравнение (36), получим:

$$-d\omega^2 \sin \omega t + k^2 b \sin \omega t = -p \sin \omega t$$

или

$$b(k^2 - \omega^2) \sin \omega t = -p \sin \omega t ,$$

откуда

$$b = -\frac{p}{k^2 - \omega^2} \quad (37)$$

и

$$x_1 = -\frac{p}{k^2 - \omega^2} \sin \omega t . \quad (38)$$

Общее решение уравнения (36) без правой части представляется в следующем виде:

$$x_2 = a \sin(kt + \alpha), \quad (39)$$

где  $a$  и  $\alpha$  — произвольные постоянные.

Так, при  $t = 0$ ,  $x = 0$ ,  $\alpha = 0$  и  $x_2 = a \sin kt$ .

Общее решение уравнения (VI-18) имеет вид:

$$x = -\frac{p}{k^2 - \omega^2} \sin \omega t + a \sin kt . \quad (40)$$

Первое слагаемое характеризует вынужденные колебания, происходящие с частотой возмущающей силы.

Второе слагаемое характеризует свободные колебания, происходящие с частотой  $k$ .

Силы сопротивления, не учтенные в настоящем выводе, оказывают незначительное влияние на вынужденные колебания, но приводят к быстрому затуханию собственных колебаний, что позволяет пренебречь вторым слагаемым.

Тогда с точностью, достаточной для практических целей, движение системы можно описать уравнением:

$$x = -\frac{P}{k^2 - \omega^2} \sin \omega t = \frac{P}{k^2 - \omega^2} \sin(\omega t + \pi). \quad (41)$$

$$\frac{P}{k^2 - \omega^2} = A \text{ — амплитуда колебания.}$$

Если  $\omega < k$ , то  $\frac{P}{k^2 - \omega^2} > 0$ , т. е. фаза колебаний корпуса противоположна фазе колебаний грузов, т. е. корпус отклоняется в сторону, противоположную направлению горизонтальной проекции центробежных сил инерции вращающихся грузов.

Если  $\omega > k$ ,  $\frac{P}{k^2 - \omega^2} < 0$  и уравнение (41) можно записать в следующем виде:

$$x = \frac{P}{k^2 - \omega^2} \sin \omega t \quad (42)$$

что свидетельствует о совпадении фазы колебаний корпуса с фазой колебания грузов, т. е. корпус отклоняется по направлению горизонтальной проекции центробежных сил инерции вращающихся грузов.

Если  $\omega = \omega_{кр} = k$ , то имеет место резонанс, при котором теоретически

$$\frac{P}{k^2 - \omega^2} = \infty. \quad (43)$$

В действительности неучтенные силы сопротивления ограничивают увеличение амплитуды, но все же она может достигать значений, опасных для прочности машины.

При  $\omega > k$  выражение для абсолютного значения амплитуды удобно представить в виде уравнения:

$$A = \frac{P}{k^2 - \omega^2}$$

Подставляя из уравнений (34) и (35) значения  $k^2$  и  $P$  и сделав соответствующие преобразования, получим:

$$A = \frac{2G_r \omega^2 R}{(G_k + 2G_r) \left( \omega^2 - \frac{g}{l} \right) - gzc} \quad (44)$$

Решая это уравнение относительно  $G_{\Gamma}$ , получим:

$$G_{\Gamma} = \frac{A \left[ G_K \left( \omega^2 - \frac{g}{l} \right) - gzc \right]}{2 \left[ \omega^2 R - A \left( \omega^2 - \frac{g}{l} \right) \right]}. \quad (45)$$

При  $l = \infty$  и  $c = 0$  уравнение (44) приводится к виду уравнения (26).

При расчете машин необходимо убедиться в том, что номинальный режим работы достаточно удален от резонанса, т. е. что  $\omega = (7—10)\omega_{кр}$ ; при резонансе  $\omega_{кр}=k$ . Подставив значение  $k$  из уравнения (VI-16), получим:

$$\omega_{кр} = k = \sqrt{g \left( \frac{zc}{G_K + 2G_{\Gamma}} + \frac{g}{l} \right)},$$

или

$$n_{кр} = \frac{30\sqrt{g}}{\pi} \sqrt{\left( \frac{zc}{G_K + 2G_{\Gamma}} + \frac{g}{l} \right)} \text{ об/мин} \quad (46)$$

или в СИ

$$n_{кр} = \sqrt{g \left( \frac{zc}{G_K + 2G_{\Gamma}} + \frac{g}{l} \right)} \text{ рад/сек.}$$

Приближенно

$$n_{кр} \approx 30 \sqrt{\left( \frac{zc}{G_K + 2G_{\Gamma}} + \frac{g}{l} \right)} \text{ об/мин.} \quad (47)$$

В существующих машинах номинальное значение угловой скорости  $\omega$  в 7—10 раз превышает частоту собственных колебаний, ввиду чего можно не применять амортизаторы. Они необходимы при более значительном увеличении частоты собственных колебаний.

Устройство амортизатора показано на рисунке 11. Амортизатор состоит из неподвижного валика 1, зажатого в кронштейнах 6, укрепленных на неподвижной станине 7, двух дисков 5 и 3, скользящих по валику на шпонках и

прижатых пружиной 2 к диску 4, свободно посаженному между ними на валик. Скоба 8, укрепленная на корпусе, при нормальных колебаниях его не касается выступа на диске 4. При увеличении амплитуды колебаний скоба ударяется о выступ диска и поворачивает его попеременно в противоположные стороны, преодолевая трение на торцовых поверхностях диска.

При расчете машин важно располагать сведениями о зависимости амплитуды от веса и угловой скорости вращения балансиров, от веса и геометрических параметров корпуса.

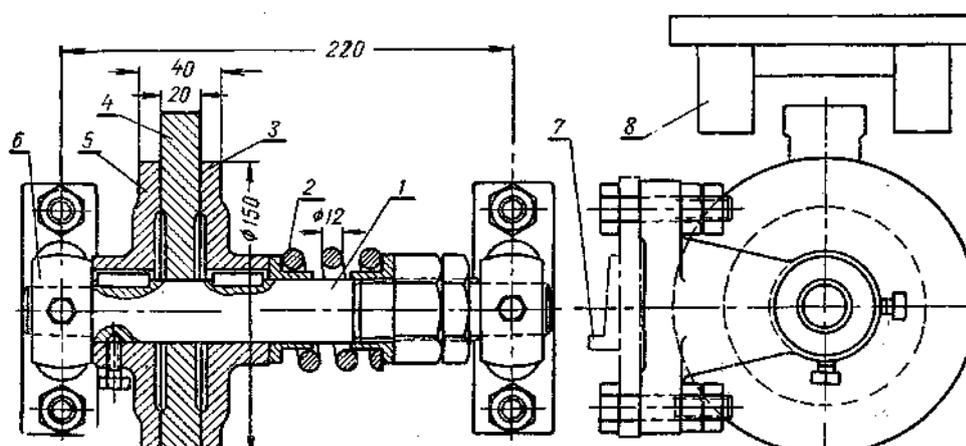


Рис. 11. Амортизатор колебаний ситовых корпусов.

Инерционные колебатели. Инерционные колебатели можно разделить на две группы: с горизонтальной и вертикальной осями вращения балансиров (рис. 12). Наиболее часто применяют колебатели первой группы.

На рисунке 12, а показана схема колебателя, в которой центры тяжести грузов  $P$  расположены в двух параллельных плоскостях, перпендикулярных осям вращения.

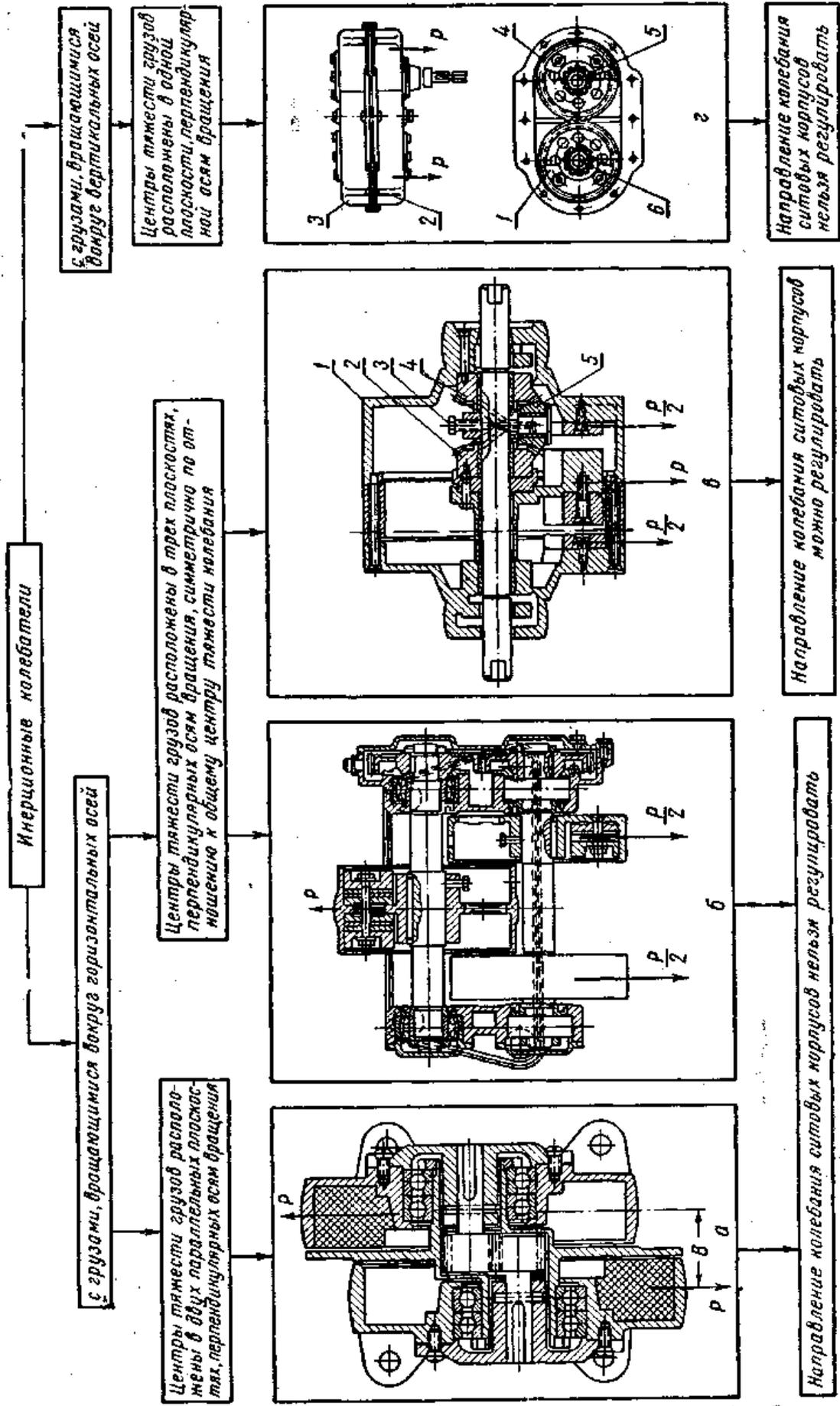


Рис. VI-14. Классификация инерционных колебателей.

Достоинства механизма — легкая сборка всех узлов и удобство обслуживания. Центры масс грузов смещены, вследствие чего возникает пара сил  $P$  с плечом  $B$ . Такие колебатели могут быть рекомендованы для машин малой производительности.

На рисунке 12, б приведена схема колебателя, в котором центры масс балансиров, вращающихся вокруг двух горизонтальных осей, расположены в трех плоскостях, перпендикулярных осям вращения.

Достоинство этого колебателя заключается в том, что общий центр масс всех балансиров находится на одной вертикали. Такие колебатели оказались наиболее технологичными в изготовлении и наиболее удобными в эксплуатации.

На рисунке 12, в показана схема колебателя, в котором центры масс балансиров  $P$ , вращающихся в закрытом пустотелом барабане 1 вокруг одной горизонтальной оси, расположены в трех плоскостях, перпендикулярных осям вращения.

Особое достоинство данного колебателя состоит в том, что в нем можно изменять положение общего центра масс грузов и таким образом регулировать направление колебаний ситового корпуса, не снимая колебателя с машины. Это достигается поворачиванием среднего конического зубчатого колеса 5 вокруг горизонтальной оси. Определенное положение оси, вокруг которой вращается это колесо, фиксируется упорным винтом 3. Во время работы зубчатые колеса 2, 4 обильно смазываются маслом, заполняющим нижнюю часть пустотелого барабана 1.

Недостатком колебателя является трудность точной установки в закрытом барабане конических зубчатых колес, вследствие чего они быстро изнашиваются.

На рисунке 12, г показана схема колебателя, в котором балансиры вращаются вокруг вертикальных осей.

Цилиндрические зубчатые колеса 1, 3, к которым прикреплены балансиры, насажены в одной плоскости на две параллельные оси — 5, 6. Изготовление

такого механизма требует особой точности, так как подшипники обоих валов расположены в двух разъемных частях корпуса 2, 3.

Эксцентрикковые колебатели. В настоящее время широкое распространение получили эксцентрикковые колебатели, предложенные инженером А. Я. Моргуном. Эксцентрикковый колебатель (рис. 13) состоит в основном из двух узлов, которые прикрепляются к ситовым корпусам и колеблются вместе с ним. Первый узел выполнен из двух больших кронштейнов 1 и 2, в которых установлены радиально-сферические шарикоподшипники 4. В подшипниках вращается эксцентрикковый вал 5. На концы вала надеты два шкива 3. В центральной части вала (на эксцентрикке) установлен радиально-сферический шарикоподшипник 6.

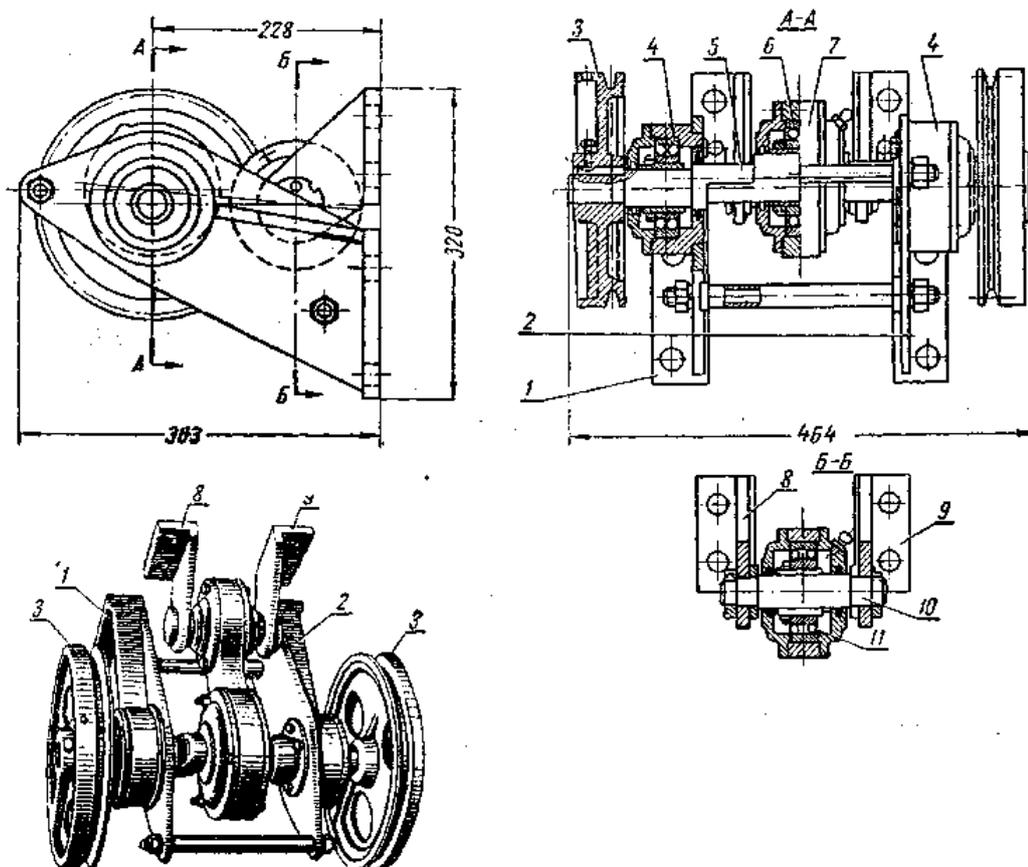


Рис. 13. Эксцентрикковый колебатель.

Второй узел эксцентриккового колебателя состоит из двух малых кронштейнов 8 и 9, в которых закреплена ось 10. На этой оси установлен

радиально-сферический шарикоподшипник 11. Наружное кольцо шарикоподшипника укреплено в обойме 7. Кронштейны 1 и 2 прикрепляются болтами к нижнему ситовому корпусу, а кронштейны 8 и 9 — к верхнему ситовому корпусу.

Эксцентриковый колебатель приводится в движение от электродвигателя через шкив 3. Амплитуда колебаний ситовых корпусов соответствует эксцентриситету вала 5.

Достоинствами эксцентрикового колебателя являются простота устройства и малый вес; недостатком — пригодность для передачи движения только паре корпусов (верхнему и нижнему). По этой причине приходится ситовые корпуса сепараторов выполнять спаренными по высоте из двух частей, т. е. разрезать ситовой корпус на две части.

Для определения амплитуды колебаний ситовых корпусов в зависимости от величины эксцентриситета вала колебателя приводим некоторые сведения из динамического расчета ситовых корпусов с приводом посредством эксцентрикового колебателя.

На корпуса сепаратора действуют (рис. 14, а, б):

- веса верхнего и нижнего корпусов  $G_B$  и  $G_H$ :

$P_{П.В} = C_B X_B$ ,  $P_{П.Н} = C_H X_H$  — силы упругости пружинных подвесок;

$C_B$  и  $C_H$  — жесткости пружинной подвески соответственно верхнего и нижнего кузовов (упругая характеристика);

$X_B$  и  $X_H$  — перемещения корпусов;

$P_{В.В} = \frac{G_B X_B}{l_B}$ ,  $P_{В.Н} = \frac{G_H X_H}{l_H}$  — составляющие силы тяжести корпусов,

действующие в направлении колебания ( $l$  — длина пружинной подвески);

$P_{И.В} = -m_B \frac{d^2 X_B}{dt^2}$ ,  $P_{И.Н} = -m_H \frac{d^2 X_H}{dt^2}$  — силы инерции соответственно верхнего

и нижнего корпусов ( $m_B$  и  $m_H$  — массы корпусов).

Для составления уравнения движения корпусов принимаем расчетную схему (рис. 14, б). Две массы  $m_B$  и  $m_H$ , подвешенные на нерастяжимых, упругих

в направлении колебания подвесок, приводятся в движение вращением кривошипа и совершают возвратно-поступательное колебательное движение. Направления движения корпусов перпендикулярны подвескам.

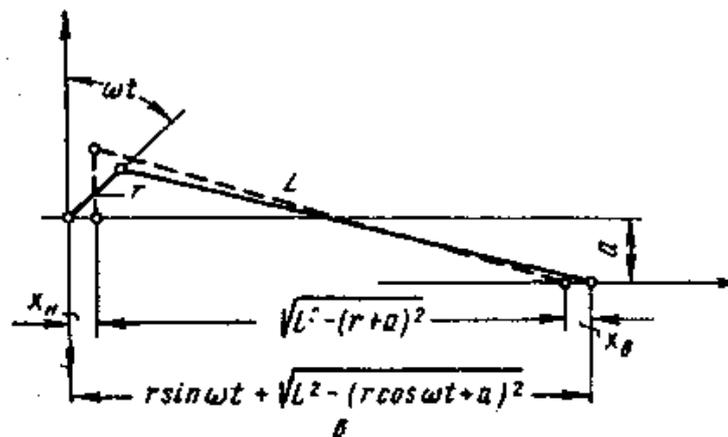
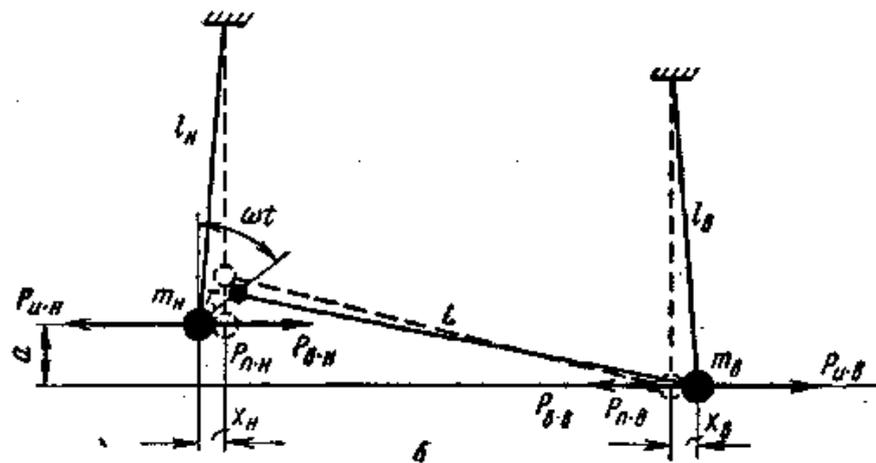
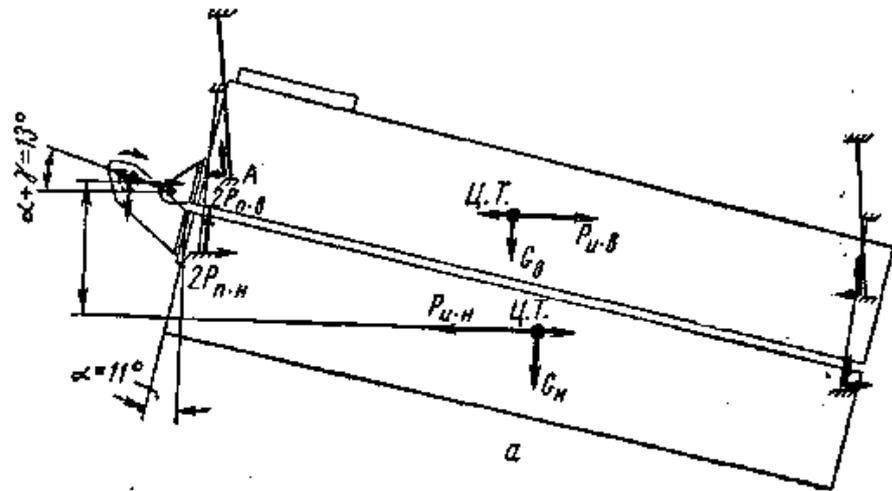


Рис. 14. Расчетные схемы

Учитывая малую величину отношения перемещения корпуса к длине подвесок  $\frac{x}{l} \approx 0,01$ , принимаем, что корпуса сепараторов перемещаются по прямолинейной траектории. Кроме того, при составлении уравнения движения не учитываем влияние диссипативных сил (сопротивления среды движению корпусов, трения в шарнирах), а также упругость системы корпусов и деталей колебателя.

На схеме (рис. 14, б) показаны усилия, действующие на корпуса в направлении колебания, и геометрические параметры системы: эксцентриситет вала колебателя —  $r$ ; длина обоймы —  $L$ ; дезаксиал эксцентрикового привода —  $a$ ; длины подвесок корпусов —  $l_B, l_H$ ; перемещения корпусов от нейтрального положения —  $x_B, x_H$ .

Из условия динамического равновесия системы для установившегося режима работы справедливо уравнение, написанное по методу кинетостатики:

$$\sum X = 0; P_{И.Н} - P_{В.Н} - P_{П.Н} = P_{И.В} - P_{В.В} - P_{П.В}$$

Подставляем значения сил, выраженные через параметры системы:

$$-m_H \frac{d^2 X_H}{dt^2} - \frac{G_H X_H}{l_H} - C_H X_H = -m_B \frac{d^2 X_B}{dt^2} - \frac{G_B X_B}{l_B} - C_B X_B$$

Для исключения одного из неизвестных  $X_B$  и  $X_H$  из рисунка 14, в определяем значение суммарного перемещения корпусов в момент  $t$  от начального положения. Начало отсчета угла поворота кривошипа принимаем от вертикали:

$$X_H + X_B = r \sin \omega t + \sqrt{L^2 - (r \cos \omega t + a)^2} - \sqrt{L^2 - (r + a)^2}.$$

Отсюда

$$X_B = r \sin \omega t + \sqrt{L^2 - (r \cos \omega t + a)^2} - \sqrt{L^2 - (r + a)^2} - X_H.$$

Обозначим

$$\lambda = \frac{r}{L} \quad \text{и} \quad K = \frac{a}{r}$$

Упрощая последнее выражение, разложив слагаемые по формуле Ньютона и пренебрегая величинами второго порядка, получаем дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами. Решив это уравнение, получаем следующие формулы для определения амплитуды нижнего корпуса  $A_H$

$$A_H = \frac{r \left( \frac{m_B g}{l_B} + C_B - m_B \omega^2 \right) \sqrt{1 + \lambda^2 K^2}}{\frac{(m_B l_H + m_H l_B) g}{l_H l_B} + C_B + C_H - (m_B + m_H) \omega^2} \quad (48)$$

Амплитуда колебаний верхнего корпуса по аналогии запишется уравнением:

$$A_B = \frac{r \left( \frac{m_H g}{l_H} + C_H - m_H \omega^2 \right) \sqrt{1 + \lambda^2 K^2}}{\frac{(m_B l_H + m_H l_B) g}{l_H l_B} + C_B + C_H - (m_B + m_H) \omega^2} \quad (49)$$

Из выше изложенного можно сделать вывод, что:

- а) изменение длины подвесок корпусов  $l_B$  и  $l_H$  не влияет на величину амплитуд колебаний;
- б) с увеличением дезаксиала а амплитуды  $A_B$  и  $A_H$  увеличиваются незначительно;
- в) с увеличением длины обоймы  $L$  амплитуда изменяется очень незначительно;
- г) амплитуды колебания корпусов  $A_B$  и  $A_H$  увеличиваются прямо пропорционально увеличению эксцентриситета колебателя  $r$ ;
- д) при увеличении жесткости пружинных подвесок одного корпуса его амплитуда увеличивается, амплитуда же второго корпуса уменьшается при условии постоянной жесткости его пружинных подвесок;
- е) при увеличении веса одного корпуса и постоянного веса другого амплитуда его уменьшается.

Лекция 5. 2ч.

Машины для очистки зерна от примесей, отличающихся аэродинамическими свойствами.

Назначение, область применения воздушных сепараторов. Устройство, принцип действия и классификация воздушных сепараторов. -1ч.

### Воздушные сепараторы

Пневматические и воздушные сепараторы применяются для отделения воздушным потоком примесей, отличающихся от зерна основной культуры аэродинамическими свойствами. К таким примесям, которые называют легкими, относят цветочные оболочки, части стеблей и колосьев, полосу, семена сорных растений, щуплые зерна основной культуры, пыль и т.д. Воздушные сепараторы находят применение на крупных заводах при сепарировании продуктов шелушения крупяных культур. Пневматические сепараторы наряду с очисткой выполняют функции циклонов-разгрузителей в сети пневмосепаратора, т. е. отделяют зерно от транспортирующего воздуха.

В зерноочистительных машинах применяют различные способы пневмосепарирования: в вертикальном, наклонном или поперечном воздушном потоке; с использованием поля поперечных сил; пневмоинерционное; пневмоситовое и др. Наибольшее распространение благодаря конструктивной простоте и компактности устройств получил способ сепарирования зерновой смеси в вертикальном воздушном потоке. Этот же принцип используется и разрабатываемой мною модели. К машинам такого типа относятся так же сепараторы типа А1-БИС и А1-БПС, аспираторы и аспирационные колонки А1-БДЗ, А1-БВЗ, А1-БКА и А1-БДА, пневмосепарирующие устройства агрегата А1-БЗ1 и др.

На мукомольных заводах, оснащенных комплектным оборудованием, используют воздушные сепараторы РЗ-БАБ, и для пневмосепарирования и отделения транспортирующего воздуха от зерна – цилиндрические пневмосепараторы РЗ-БСД. Они работают в режиме разомкнутого цикла воздуха.

Пневматические и воздушные сепараторы подразделяют на две группы: с разомкнутым и замкнутым циклом воздуха. К первой группе относятся аспирационные колонки, широкое применение на крупных заводах, и пневмосепараторы для мукомольных заводов с пневмотранспортом, которые выпускают с относоотделительной камерой и без нее. Во вторую группу входит в основном воздушные сепараторы типа дуаспираторов, которые наиболее широко используют в крупном производстве.

Основные параметры пневмосепаратора, обеспечивающие эффективность очистки зерна и четкость сепарирования – это удельная зерновая нагрузка, размеры пневмосепарирующего канала, скорость воздушного потока, равномерность распределения зерновой смеси по каналу и потере давления в пневмосепараторе.

Рассмотрим основные типы пневмосепараторов более подробно.

Сепаратор воздушный с замкнутым циклом воздуха А1-БВЗ.

Предназначен для очистки крупяных и злаковых культур, а так же зерна от примесей, отличающихся аэродинамическими свойствами, для отделения лузги из продуктов шелушения пленчатых культур и контроля круп на предприятиях мукомольно-крупяной промышленности.

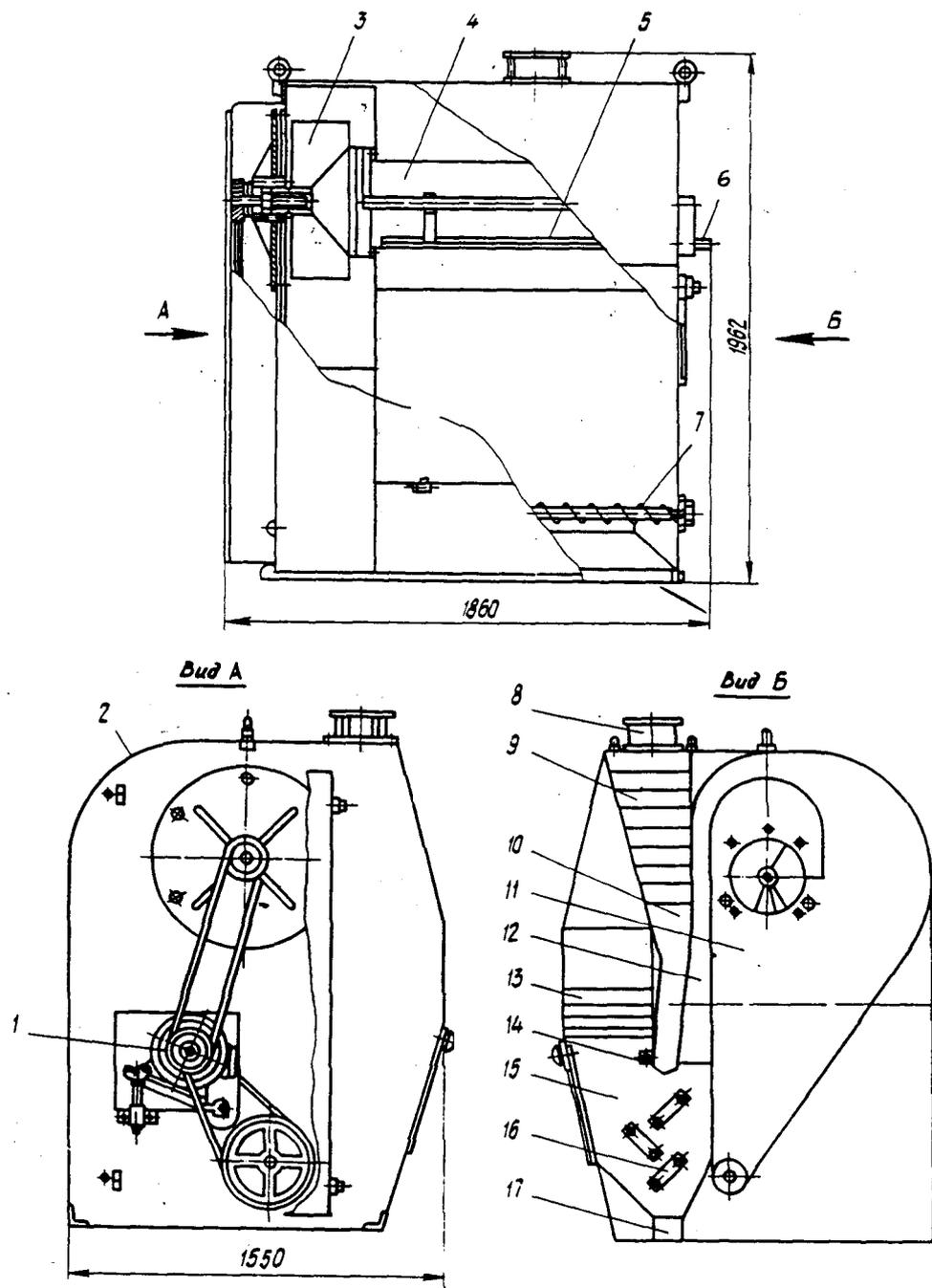


Рис.1. Общий вид сепаратора А1-БВЗ.

1 – электродвигатель; 2 – корпус; 3 – вентилятор; 4 – дроссель; 5 – дроссельная заслонка; 6 – рукоятка; 7 – шнек; 8 – патрубок; 9 – рассекатель; 10 – приемник; 11 – осадочная камера; 12 – канал; 13 – гребенка; 14 – клапан; 15 – рабочая камера; 16 – планки; 17 – выпускное отверстие.

Состоит из корпуса сварной конструкции, в который вмонтированы центробежный вентилятор и шнек. Привод от электродвигателя посредством клиноременной передачи.

Зерно, поступающее в приемный патрубок, распределяется ровным слоем по приемнику. В рабочей камере оно, пересыпаясь с одной планки на другую, продувается воздушным потоком и выходит из машины через выпускное отверстие. Захваченные воздушным потоком легкие примеси по каналу поступают в воздушную камеру, где воздушный поток теряет скорость. Легкие примеси осаждаются в нижней части осадочной камеры и с помощью шнека выводятся наружу.

#### Аспиратор А1-БДА.

Предназначен для очистки зерна злаковых и крупяных культур от примесей, отличающихся аэродинамическими свойствами, для выделения лузги из продуктов шелушения пленчатых культур, а так же для контроля крупы и отходов. Применяется в зерноочистительных отделениях мельниц, крупяных и комбикормовых заводов.

С замкнутым циклом воздуха, имеет сварной корпус, в котором расположены: центробежный вентилятор, приемный с заслонкой, осадочная камера и шнек для вывода отходов. Снаружи на корпусе установлен приемный патрубок. Под ним находится рабочий клапан, грузовой клапан и разбрызгиватель. Вентилятор приводится в движение от электродвигателя, а шнек от контр привод посредством клиноременной передачи.

Поступающее в машину зерно (или продукты его шелушения) через рабочий клапан попадает на грузовой клапан. Оттуда на разбрасыватель, с него через щель в полу в приемник отводящего самотека. При этом зерно продувается встречным потоком воздуха, который уносит легкие примеси в осадочную камеру, где примеси оседают, и выводятся шнеком наружу, а воздух через щель в приемном конусе засасывается вентилятором и вновь направляется навстречу поступающему в машину зерну.

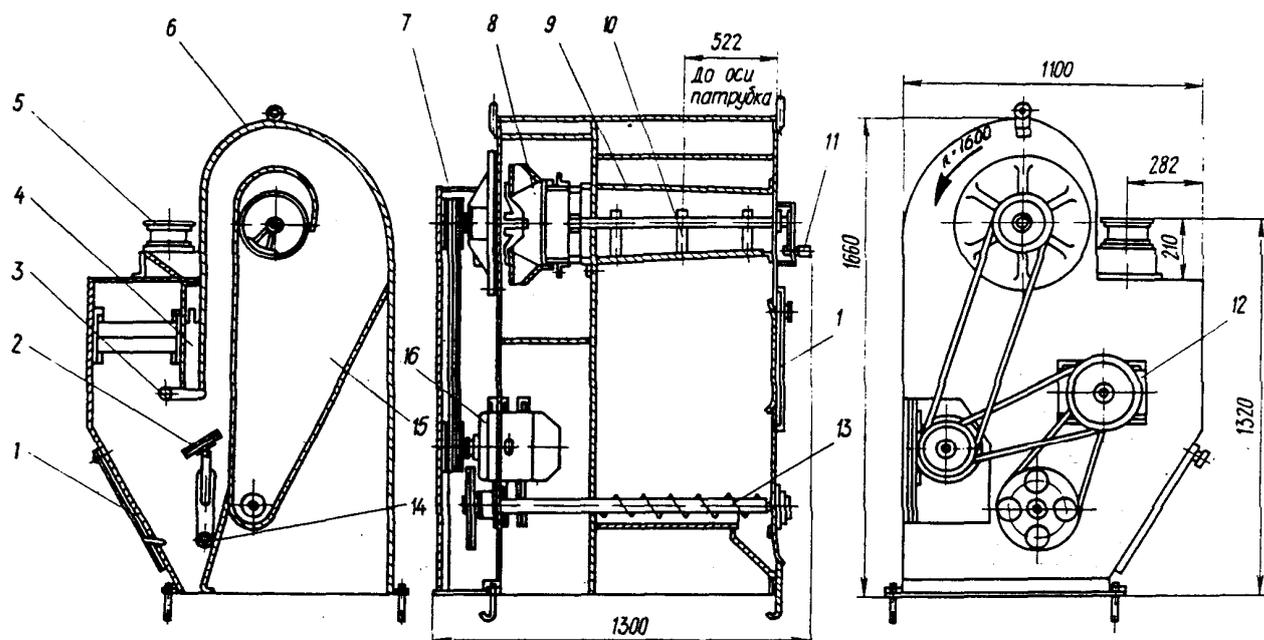


Рис. 2.Общий вид aspirатора А1-БДА.

1 – дверка откидная; 2 – разбрызгиватель; 3 – грузовой клапан; 4 – рабочий клапан; 5 – приемный патрубок; 6 – корпус; 7 – ограждение; 8 – вентилятор; 9 – приемный конус; 10 – заслонка; 11-14 – рукоятки; 12 – контр привод; 13 – шнек; 15 – осадочная камера; 16 – электродвигатель.

### Аспиратор РЗ-БАБ.

Предназначен для очистки зерна от легких примесей в зерноочистительном отделении мукомольного завода. Изготавливается в климатическом исполнении “У” категории размещения 3.

Состоит из следующих основных узлов: приемной камеры, корпуса, вибрлотка с колебателем. Приемная камера - короб сварной конструкции со смотровым окном. Корпус представляет вертикальный прямоугольный канал со смотровыми окнами по всей высоте одной из боковых сторон и светильником на другой. Задняя стенка имеет жалюзи для забора воздуха. Внутри корпуса установлена подвижная стенка, которая образует с передней стенкой корпуса пневмосепарирующий канал. Изменяя положение штурвалами подвижной стенки, можно регулировать скорость воздуха в пневмоканале, а дроссельной заслонкой – скорость воздуха в верхней части канала.

Вибролоток сварной конструкции резиновой накладкой обеспечивает подачу зерна в пневмоканал. Подвеска вибрототка к корпусу с помощью резиновых подвесок и пружин обеспечивает подпор продукта в приемной камере и исключает подсос воздуха в пневмоканал.

Колебатель представляет собой двигатель с дебалансными грузами, от взаимного расположения которых зависит амплитуда колебаний вибрототка (1,5 ... 2,5 мм).

Вибролоток с колебателем не только обеспечивает выравнивание слоя зерна по всей длине пневмосепарирующего канала, но и расслаивает зерносмесь так, чтобы легкие примеси выплывали в верхний слой.

Поток воздуха проходит под лотком и, объединяясь с воздухом, прошедшим через жалюзи, пронизывает поток поступающего зерна. Легкие примеси вместе с воздухом поднимаются вверх по каналу и выносятся в аспирационную систему предприятия, а очищенное зерно выводится из аспиратора.

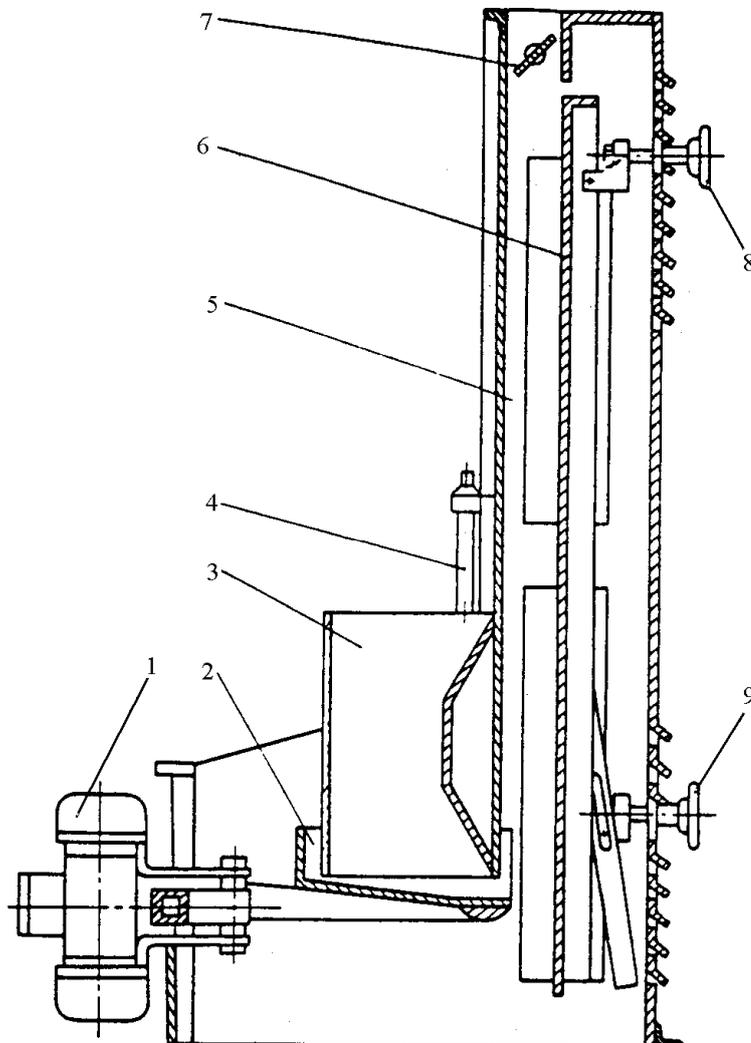


Рис. 3. Аспиратор зерновой РЗ-БАБ.

1 – колебатель; 2 – вибрлоток; 3 – камера приемная; 4 – пружина подвески; 5 – корпус; 6 – стенка подвижная; 7 – дроссельная заслонка; 8 – штурвал верхний; 9 – штурвал нижний.

Воздушно-ситовые сепараторы для очистки зерна от примесей, отличающихся комплексом размеров и плотностью частиц.

Назначение, область применения, классификация, устройство и принцип действия воздушно-ситовых сепараторов. Конструкция основных рабочих органов. Приводные механизмы и методика их расчета. Основы теории и расчета инерционных колебателей направленного действия. Конструкция очистителей сит.

Основные параметры сепараторов, определение технологической эффективности их работы. -1ч.

### **СЕПАРАТОРЫ ТИПОВ А1-БИС И А1-БЛС**

Сепараторы типа А1-БИС и А1-БЛС относят к ситовоздушным сепараторам, на ситах которых зерно очищается от примесей, отличающихся от него шириной и толщиной, а в пневмосепарирующем канале — скоростью витания.

Отличительные особенности конструкции сепараторов — отсутствие осадочных камер и совмещение функции дебаланса и приводного шкива, что значительно уменьшает высоту и обеспечивает безопасность обслуживания; наличие регулируемого пневмосепарирующего канала позволяет изменять скорость воздуха. Круговое поступательное движение обеспечивает высокую эффективность очистки зерна от крупных и мелких примесей, а прижим ситовых рам эксцентриковым механизмом — хорошую фиксацию, простую установку и выемку ситовых рам. Благодаря освещению пневмосепарирующего канала можно визуально контролировать процесс выделения легких примесей.

Сепараторы типа А1-БИС. Состоят из двухсекционного ситового корпуса, подвешенного к станине на гибких подвесках, и вертикального пневмосепарирующего канала. В корпусе сепаратора А1-БИС-12 (рис. 4) становлены выдвигающиеся рамы с сортировочными 11 и подсевными 10 ситами, зафиксированные эксцентриковыми механизмами. Ситовые рамы продольными и поперечными брусками разделены на ячейки, в каждой из

которых имеется по два резиновых шарика 13, предназначенных для очистки сит. К нижней плоскости ситовой рамы прикреплены сетчатые фордоны.

На передней стенке ситового корпуса установлен электродвигатель 9, который посредством клиноременной передачи приводит во вращение шкив 8 с дебалансным грузом, обеспечивающий круговое поступательное движение ситового корпуса. В верхней части станины установлены приемный патрубок 12 для поступления исходного зерна и патрубок 14 для подключения к аспирационной сети. Очищенное зерно выходит через выпускной канал 3. Для вывода крупных примесей служит лоток 7, для мелких — лоток 6. Со стороны сходовой части корпуса установлен пневмосепарирующий канал 2 с вибрлотком 4, предназначенным для подачи зерна в канал.

Для наиболее эффективного выделения легких примесей в пневмосепарирующем канале регулируют амплитуду колебаний вибрлотка, величину вылета его в канал, величину выходной щели и скорость воздушного потока (положением подвижной стенки 1) в верхней и нижней частях канала, а также расход воздуха.

В комплект поставки сепаратора входит специальный горизонтальный циклон, предназначенный для осаждения отсосов и устанавливаемый после сепаратора. Циклон представляет собой усеченный конус 2 (рис. 7), внутри которого на общей горизонтальной оси расположены два внутренних конуса 3, 4 меньших размеров. Они сварены между собой большими основаниями так, что образованный между конусами кольцевой канал вначале постепенно сужается, а затем резко расширяется, переходя в расширительную камеру 5, присоединенную к большему основанию наружного конуса 2.

Во входной части циклона приварены четыре криволинейные лопасти 1, обеспечивающие закручивание воздушного потока в кольцевом канале. Снизу к расширительной камере присоединяют шлюзовой затвор 7 либо противоподсосный клапан.

Принцип работы сепараторов следующий (рис. 8): очищаемое зерно самотеком поступает в ситовой корпус, крупные примеси (сход с сортировочного сита 3) выводятся по лотку 9 из сепаратора, а смесь зерна с мелкими примесями проходит через сортировочное сито 3 направляется на подсевное сито 4. Мелкие примеси (проход подсевного сита) поступают в лоток 12 и удаляются из сепаратора.

Очищенное на ситах от крупных и мелких примесей зерно поступает на вибралоток 10 и далее в пневмосепарирующий канал; при прохождении воздуха через поток зерна легкие примеси выделяются из зерновой смеси и выносятся воздухом через канал в горизонтальный циклон. Очищенное зерно из пневмосепарирующего канала через отверстие в полу по самотечным трубам идет на дальнейшую обработку.

Сепараторы типа А1-БЛС. Отличаются от сепараторов типа А1-БИС в основном конструкцией пневмосепарирующего канала. Регулируемая перегородка выполнена из трехслойного стекла, она же служит внешней стенкой канала. Лампа установлена на верху канала горизонтально. Отражатель направляет световой поток лампы на перегородку и просвечивает ее по всей длине пневмосепарирующего канала, что позволяет наблюдать за процессом очистки зерна от легких примесей по всей длине канала. Кроме того, ситовой корпус сепаратора А1-БЛС-12 односекционный. Остальные машины имеют двухсекционный кузов.

В сепараторах А1-БЛС-12 и А1-БЛС-16 из приемного патрубка зерновая смесь поступает на специальное днище, на котором распределяется равномерным слоем по ширине сортировочного сита. В сепараторах А1-БЛС-100 и А1-БЛС-150 из приемного патрубка зерновая смесь поступает на сортировочное сито, на котором с помощью клапана распределяется равномерным слоем по всей его ширине. Фартук уменьшает возможность попадания зерна в отходы.

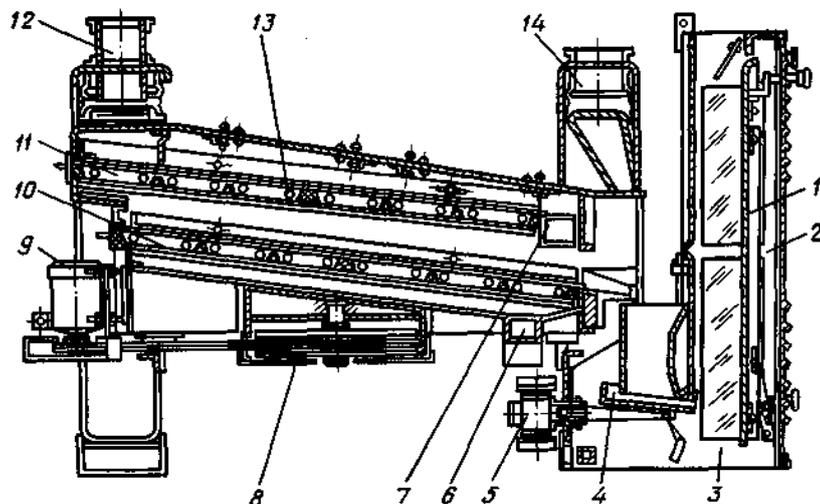


Рис. 4. Сепаратор А1-БИС-12:

1 — подвижная стенка; 2 — пневмосепарирующий канал; 3 — выпускной канал; 4 — вибралоток; 5-вибратор; 6, 7 - лотки; 8 - шкив; 9

- электродвигатель; 10 — подсевные сита; 11 — сортировочные сита; 12 — приемный патрубков; 13 — резиновый шарик; 14 — патрубков для аспирации

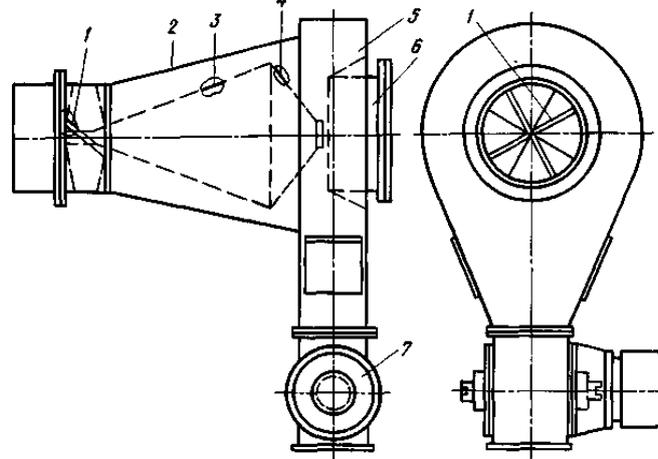


Рис.5. Циклон сепаратора А1-БИС-12:

1 — криволинейная лопасть; 2 — усеченный конус; 3, 4 — конусы; 5 — камера; 6 — выходной патрубков; 7 — шлюзовой затвор

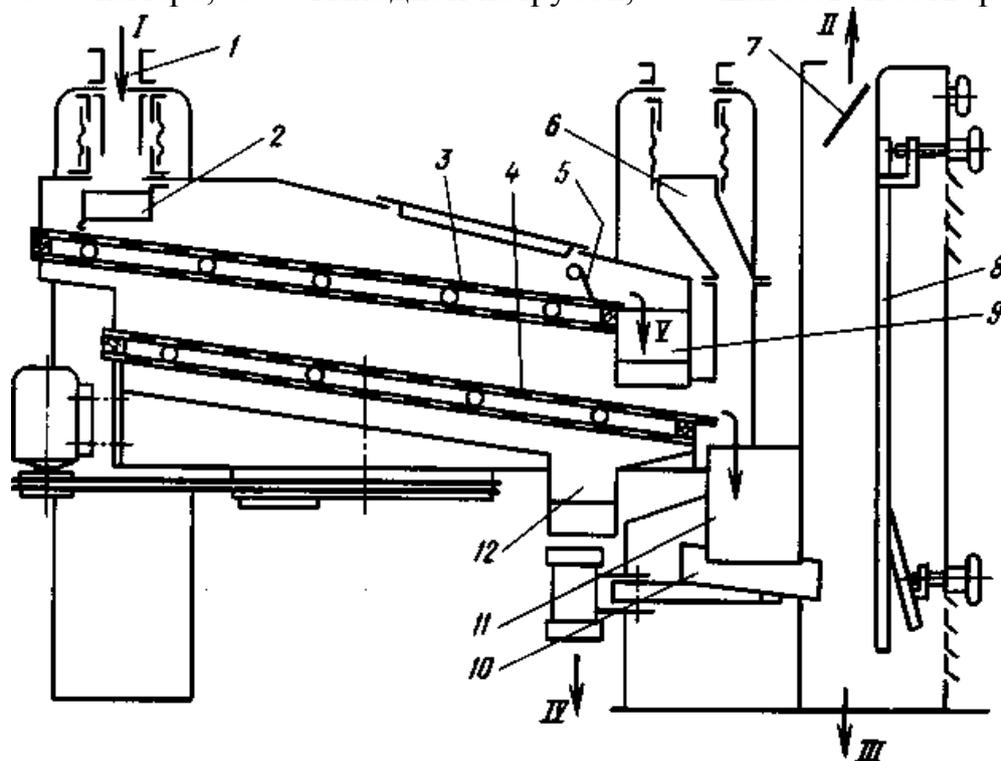


Рис. 6. Технологическая схема сепараторов А1-БИС-12 и А1-БИС-100:

1 — приемный патрубков; 2 — распределительное днище; 3 — сортировочное сито; 4 — подсевное сито; 5 — фартук; 6 — аспирационный патрубков; 7 — дроссельный клапан; 8 — подвижная стенка; 9 — лоток для крупных примесей; 10 — вибралоток; 11 — питающая коробка; 12 — лоток для мелких примесей; I — неочищенное зерно; II — легкие примеси; III — очищенное зерно; IV — мелкие примеси; V — крупные примеси

Во время работы сепаратора под нагрузкой особое внимание обращают на равномерность подачи зерна в ситовой корпус, равномерность

распределения зерна по ширине сортировочных сит, плавность хода ситового корпуса, отсутствие подсора зерна и чрезмерного пыления, наличие подпора зерна в питающих коробках 11 над вибротками 10, эффективность сепарирования в пневмосепарирующем канале, отсутствие забиваемости сит зерном и примесями.

При техническом обслуживании сепараторов во время декадных или других планово-профилактических остановок проверяют состояние ситовых рам и резиновых шариков. Поврежденные ситовые рамы и изношенные шарики заменяют новыми. Устраняют неполадки, замеченные во время работы, проверяют натяжение приводных ремней, состояние уплотнения ситовых рам и смотровых люков. Особое внимание обращают на надежность затяжки резьбовых соединений, на крепление гибких подвесок к станине и ситовому корпусу, электродвигателя и вибратора.

Лекция 6. -2ч.

Оборудование для очистки зерна от примесей отличающихся длиной частиц.

Назначение, область применения и классификация триеров. Конструкция цилиндрических и дисковых триеров и элементы теории их работы. Основы расчета триеров.

Вариационно-статистические кривые.

### **Назначение и область применения**

Для выделения примесей, отличающихся от зерен основной культуры длиной, на элеваторах и зерноперерабатывающих предприятиях применяют машины, называемые триерами. К примесям, выделяемым на триерах, относят семена куколя, которые короче зерен пшеницы, или семена овсюга, которые длиннее зерен пшеницы.

Триеры по конструктивному исполнению основных рабочих органов подразделяют на две группы: цилиндрические и дисковые. Наиболее широкое применение на зерноперерабатывающих предприятиях получили дисковые триеры, имеющие большую производительность при меньших габаритных размерах.

Цилиндрические триеры в зависимости от величины окружной скорости могут быть тихоходными (окружная скорость  $V=0,3...0,5$  м/с) и быстроходными (окружная скорость  $V=1,2...1,5$  м/с). Тихоходные триеры выпускают с наружным сетчатым цилиндром и без него. Первые применяют для очистки зерна от коротких и длинных примесей и его сортирование по толщине, вторые – главным образом для контроля отходов. Быстроходные цилиндрические триеры используют для очистки зерна от коротких и длинных примесей, а также для сортирования семян. Зерно в машину поступает в начале цилиндра, а в некоторых конструкциях – по всей длине. Часто эти триеры снабжают ворошилльным механизмом.

Дисковые триеры выпускаются однороторными. Для сокращения занимаемой производственной площади их комбинируют в двух- и четырехроторные агрегаты, включающие триеры для выделения длинных и коротких примесей. Дисковые триеры для выделения коротких примесей снабжают контрольными дисками.

Триеры, выделяющие из зерновой смеси короткие примеси (куколь, гречишку, битое зерно), обычно называют куколеотборочными, а выделяющие длинные примеси (овсюг, овес) – овсюгоотборочными машинами.

На рисунке VII-1,а показаны вариационные кривые для пшеницы с короткими примесями. Из рисунка видно, что кривые пшеницы и куколя незначительно перекрываются, т. е. возможно почти полное выделение куколя, как короткой фракции.

На рисунке VII-1,б показаны вариационные кривые для пшеницы с длинными примесями.

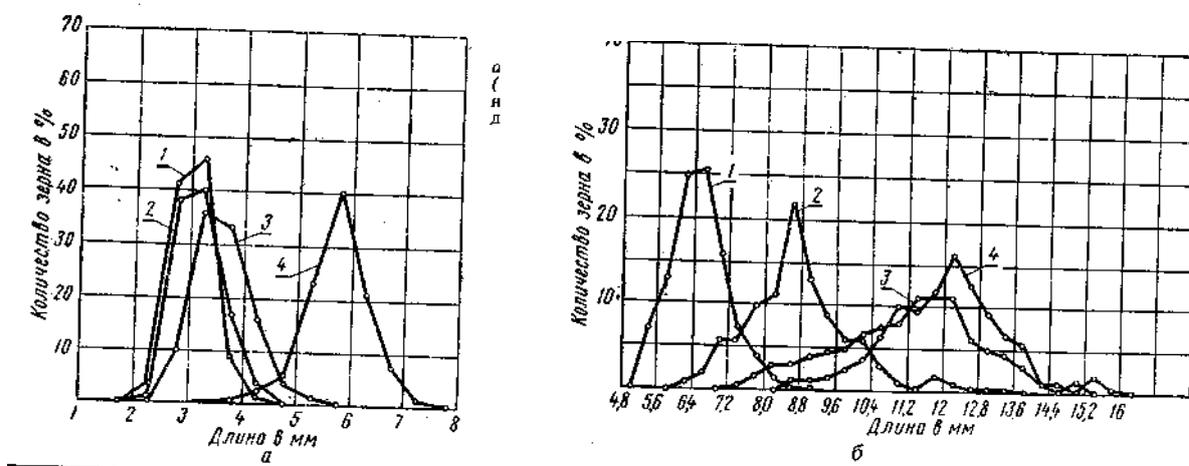


Рис. VII-1. Вариационные кривые:

а; — пшеницы и ее коротких примесей (1 — куколь; 2 — вьюнок; 3 — битая пшеница; 4 — пшеница); б — пшеницы и ее длинных примесей (1 — пшеница; 2 — ячмень; 3 — овес; 4 — овсюг).

Эти кривые указывают на возможность выделения пшеницы, как более короткой фракции. Пшеница может быть полностью очищена от овсюга и в значительной мере от ячменя и овса.

Триеры находят применение и на заводах по калиброванию семян кукурузы, где их устанавливают для выделения из смеси кукурузных зерен фракции, состоящей из наиболее крупных зерен.

На крупозаводах триеры применяют для отделения овса от ячменя по длине зерен, а также для разделения промежуточных продуктов шелушения на две фракции. Одну из них составляют главным образом ошелушенные, а другую неошелушенные зерна.

Цилиндрический триер (рис. VII-2, *a*) состоит в основном из стального цилиндра 1 со штампованными ячеями 2 на внутренней поверхности и шнека 5, расположенного в желобе 4. При вращении цилиндра в ячеи попадают короткие зерна, которые выпадают при повороте цилиндра на некоторый угол) Короткие зерна укладываются в ячеи глубже, чем длинные. Поэтому первые при вращении цилиндра выпадают позже, попадают в желоб и выводятся из машины шнеком.

Длинные зерна, скользя по внутренней поверхности цилиндра, перемещаются в продольном направлении под давлением зерна, поступающего в машину, либо составляющей силы тяжести при наклонном цилиндре. Степень разделения зерновой смеси на фракции по длине зависит от уровня, на который установлена верхняя грань желоба 3.

В зависимости от скорости вращения цилиндра триеры подразделяют на тихоходные и быстроходные.

В настоящее время цилиндры быстроходных триеров изготавливают из стали марки 0,8КП с отделкой поверхности по группе П и вытяжкой по группе ВГ (ГОСТ 934—56). Форма и размер штампованных ячеек регламентируются ГОСТ 9331—60 на триерные цилиндры.

В таблице VII-1 указана толщина листов стали, применяемой для цилиндров с различными размерами диаметров ячеек.

Цилиндрические триеры изготавливают также с сортирующим цилиндром для разделения очищенного зерна на фракции по крупности.

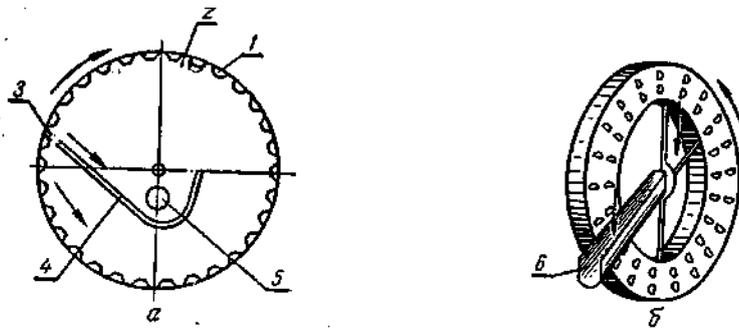


Рис. VII-2. Принцип действия триеров.

*a*—цилиндрического; *б*—дискового; *в* — триерная поверхность куколеотборника; *г* — триерная поверхность овсюгоотборника.

### ТАБЛИЦА VII-1

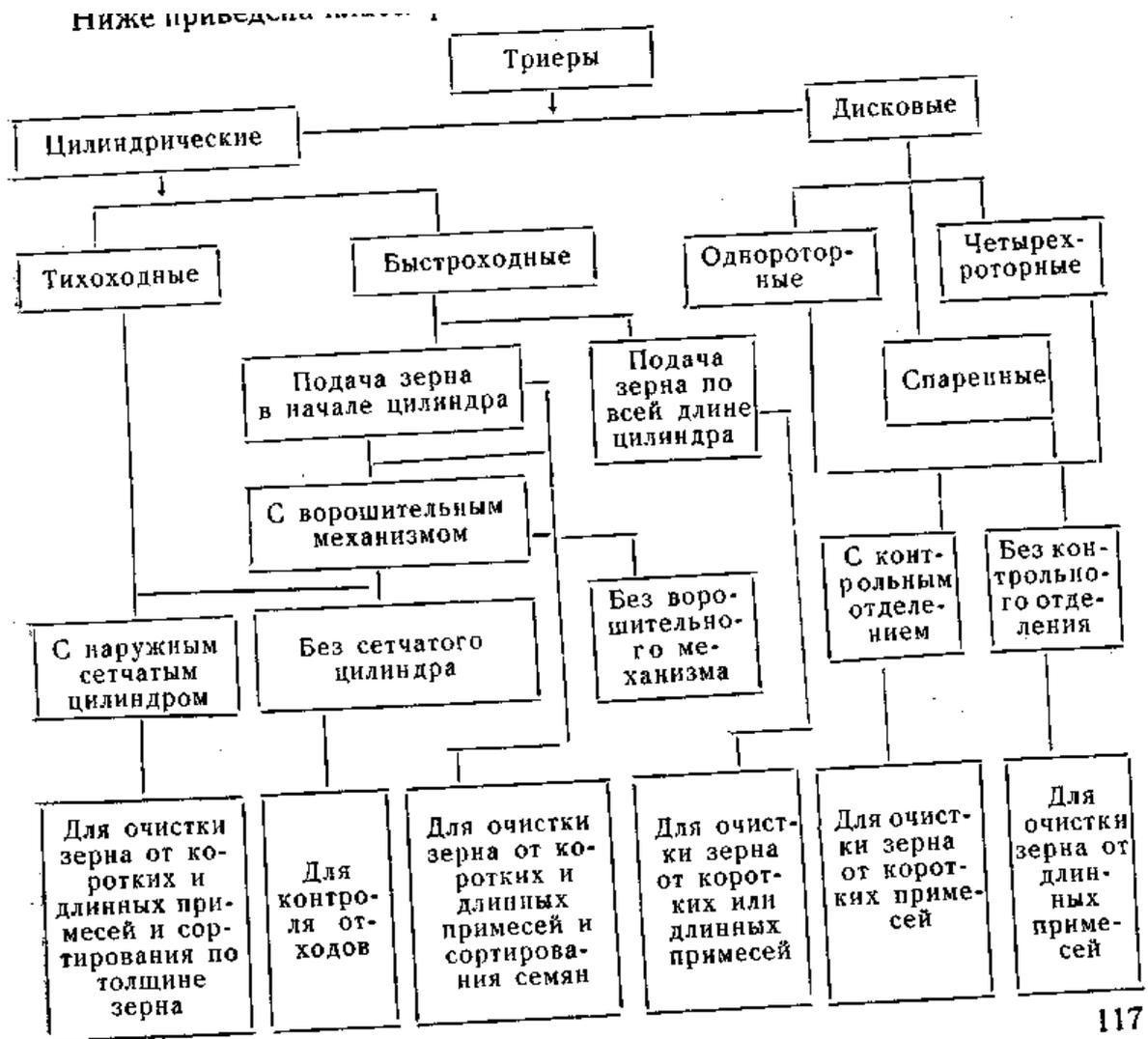
#### Толщина листовой стали для цилиндрических триеров

Диаметры ячеек в мм	1,6; 1,8; 2,0	2,2; 2,5; 2,8	3,15; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0	5,6; 6,3; 7,1	8,0; 8,5; 9,0; 9,5	10,5; 11,2; 11,8; 12,5
Толщина листа в мм	0,9	1,1	1,5—1,6	2,0	2,2	2,5

В дисковом триере (рис. VII-2, б) ячей выполнены на поверхности чугунных дисков. При вращении дисков в ячей попадают короткие зерна, которые затем выпадают в желобки *б* и выводятся из машины. На рисунке VII-2, в изображена триерная поверхность с ячейми определенной формы и размеров, отбирающая куколю и битые зерна из смеси, в которой преобладает пшеница или рожь. Семена куколя и битые зерновки короче зерновок основной культуры. Такие триеры называются куколеотборниками.

Триерная поверхность с ячейми больших размеров (рис. VII-2,а) служит для очистки пшеницы или ржи от зерен ячменя, овса и овсюга. Такие триеры называют овсюго- либо ячменоотборниками, В отличие от куколеотборников здесь отбираются зерна пшеницы или ржи, более короткие по сравнению с зерновками ячменя, овса, овсюга.

## Классификация триеров.



При очистке в триерах зерна от примесей за один проход должна быть выделено не менее 75% примесей (куколя, овсюга, ячменя и др.) г содержащихся в зерне пшеницы, и не менее 85% ошелушенных зерен, овса.

Количество неповрежденных полноценных зерен в отходах, полученных с куколеотборников, не должно превышать 2%, с овсюгоотборников — 5% веса отходов; в отходах, полученных после контрольных триеров, количество годных зерен допускается не больше 2% веса отходов.

## Элементы теории работы цилиндрического триера

Предельный угол подъема зерен, находящихся на гладкой поверхности цилиндра. Определим значение предельного угла  $\alpha_0 = \omega * t$  поворота цилиндра, при котором частица А, находясь на гладкой части внутренней поверхности его (рис. VII-3,а), останется в состоянии относительного покоя (не будет скользить вниз). По-видимому, это будет происходить при условии, если все силы, действующие на частицу при вращении цилиндра, будут взаимно уравновешены.

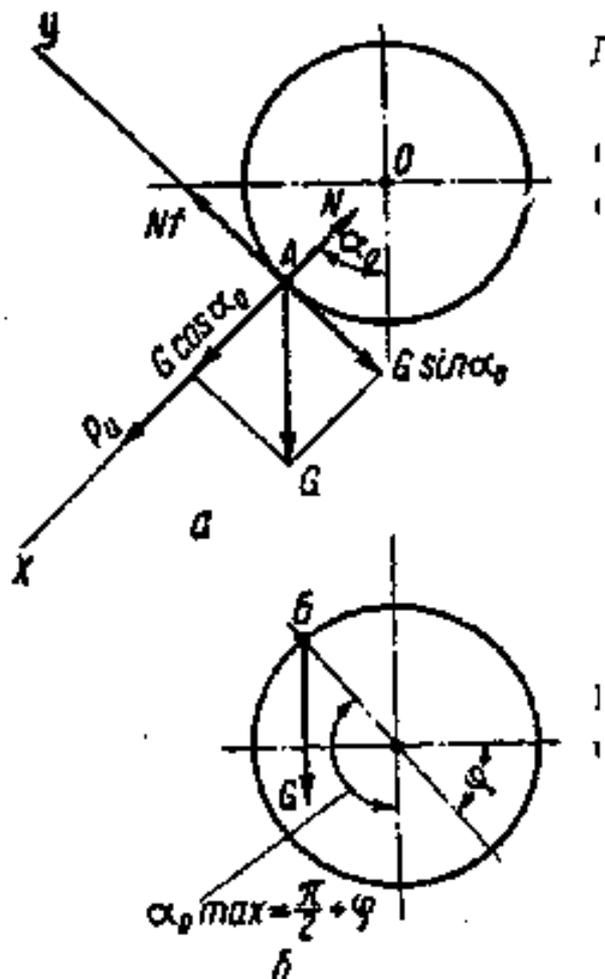


Рис. VII-3. Расчетные схемы для определения угла подъема зерна:  
а — положение частицы А, находящейся на гладкой поверхности вращающегося триерного цилиндра; б - максимальный угол подъема частицы А, находящейся на гладкой поверхности цилиндра.

На частицу будут действовать следующие силы: сила тяжести  $G$ , направленная по вертикали; реакция поверхности  $N$ , направленная по радиусу  $AO$ , и сила трения  $F = fN$ , направленная по касательной к поверхности цилиндра в сторону его вращения.

Пользуясь методом кинестатики, уравнение движения материальной точки можно получить из уравнения равновесия, присоединив к действующим на точку силам силу инерции. В данном случае нужно учесть центробежную силу инерции переносного движения  $P_{II} = m * \omega^2 * r$ , направленную в сторону, обратную центростремительному ускорению.

Обозначим начало подвижных координат в точке  $A$  и направим ось  $A—X$  по радиусу  $O—A$  и ось  $A—Y$  перпендикулярно ему.

Условие равновесия частицы можно написать в виде равенств суммы проекций сил на оси  $A—X$  и  $A—Y$ .

$$P_{II} - N + G \cos \alpha_0 = 0; \quad (\text{VII-1})$$

$$fN - G \sin \alpha_0 = 0. \quad (\text{VII-2})$$

Из уравнения (VII-2) определим:

$$N = G * \frac{\sin \alpha_0}{f} = G * \frac{\sin \alpha_0}{\operatorname{tg} \varphi} = G * \frac{\sin \alpha_0 * \cos \varphi}{\sin \varphi} \quad (\text{VII-3})$$

и, подставив его в уравнение (VII-1), получим:

$$P_{II} = N - G * \cos \alpha_0 = G * \frac{\sin \alpha_0 * \cos \varphi}{\sin \varphi} - G * \cos \alpha_0 = G * \frac{\sin(\alpha_0 - \varphi)}{\sin \varphi} \quad (\text{VII-4})$$

Учитывая, что  $P_{II} = m\omega^2 r$  и  $G = mg$ , можно записать:

$$m * \omega^2 * r = m * g * \frac{\sin(\alpha_0 - \varphi)}{\sin \varphi} \quad \frac{\omega^2 r}{g} = \frac{\sin(\alpha_0 - \varphi)}{\sin \varphi} \quad (\text{VII-5})$$

или

$$\sin(\alpha_0 - \varphi) = \frac{\omega^2 r}{g} * \sin \varphi \quad (\text{VII-6})$$

откуда

$$\alpha_o = \varphi + \arcsin\left(\frac{\omega^2 r}{g} * \sin \varphi\right) \quad (\text{VII-7})$$

Таким образом, все частицы, не попавшие в ячее и располагающиеся на цилиндрической поверхности в один слой, будут при вращении подниматься на угол  $\alpha_o$ .

Необходимое число оборотов цилиндра можно определять, пользуясь формулой (VII-6), откуда

$$\frac{\omega^2 r}{g} = \frac{\sin(\alpha_o - \varphi)}{\sin \varphi} \quad \omega^2 = \frac{g}{r} * \frac{\sin(\alpha_o - \varphi)}{\sin \varphi}$$

$$n = \frac{30}{\pi} * \sqrt{\frac{g * \sin(\alpha_o - \varphi)}{r * \sin \varphi}} \approx 30 * \sqrt{\frac{\sin(\alpha_o - \varphi)}{r * \sin \varphi}} \text{ об / мин}$$

или в СИ

$$n = \sqrt{\frac{g * \sin(\alpha_o - \varphi)}{r * \sin \varphi}} \text{ рад / сек} \quad (\text{VII-8})$$

Очевидно,  $n$  будет иметь максимальное значение при  $\sin(\alpha_o - \varphi) = 1$ . При этом угол  $\alpha_o$  будет иметь наибольшее значение, равное  $\frac{\pi}{2} + \varphi$  (рис. VII-3,б).

Угол подъема зерен, находящихся в ячейе.

На рисунке VII-4, а показано состояние равновесия частицы, находящейся в ячейе при неподвижном цилиндре. Движение частицы из ячейе может начаться, когда угол наклона стенки ячейе к горизонту будет больше угла трения частицы, т.е. когда угол  $\gamma > \varphi_o$  где  $\varphi_o$  — угол трения частицы, находящейся в состоянии покоя.

Угол  $\gamma$  связан с углом  $\alpha$  поворота цилиндра, так как внешний угол треугольника  $ABO$   $\alpha = \gamma + \beta$ , тогда  $\gamma = \alpha - \beta$  или  $\varphi_o < \alpha - \beta$ .

Угол  $\beta$ , представляющий собой угол наклона радиуса  $OA$  к элементу поверхности ячейе в точке  $A$ , может быть положительным или отрицательным, в зависимости от того, расположена ли точка  $A$  выше или ниже оси вращения

цилиндра. Абсолютная величина угла  $\beta$  будет постоянной и зависит от формы и глубины погружения пуансона при образовании ячее.

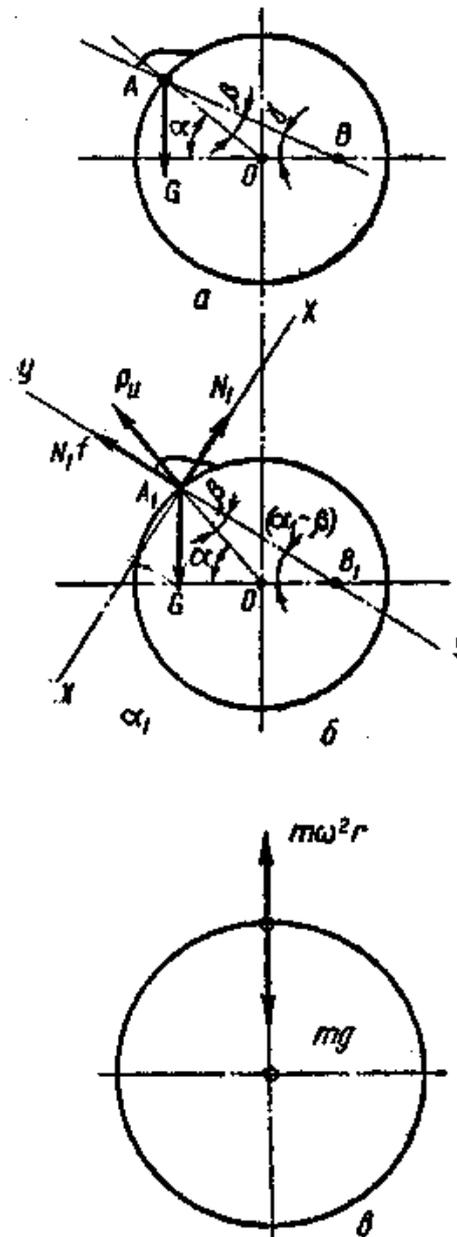


Рис. VII-4. К определению условий динамического равновесия зерна:

*a* — в ячейе неподвижного триерного цилиндра; *б* — в ячейе вращающегося триерного цилиндра; *в* — в ячейе, находящейся на вертикальном радиусе триерного цилиндра.

Когда цилиндр вращается, сказывается влияние центробежной силы инерции переносного движения, и поэтому при всех прочих равных условиях частицы будут выпадать из ячеек, занимающих более высокое положение.

На рисунке VII-4, б показано состояние равновесия зерновки, находящейся в ячейке вращающегося триера в состоянии относительного покоя при наивысшем положении. Очевидно, это возможно при условии, если сумма проекций всех сил, приложенных к частице, а также сила инерции переносного движения будут взаимно уравновешены.

Поместим начало подвижных координат в точке  $A_1$  и направим ось  $A_1 X$  перпендикулярно стенке ячейки, а ось  $A_1 Y$  по касательной к ней.

Равновесное положение частицы характеризуется суммой проекций сил на подвижные оси координат, равной нулю, т.е.

$$P_H = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) - G * \cos(\alpha_1 - \beta) + N_1 \quad (\text{VII-9})$$

$$P_H \cos \beta - G * \cos(\alpha_1 - \beta) + N_1 * f \quad (\text{VII-10})$$

где:  $N_1$  – реакция поверхности, направленная по нормали к ней.

Из первого равенства определим  $N_1$ , которое равно:

$$N_1 G * \cos(\alpha_1 - \beta) - P_H * \sin \beta \quad (\text{VII-11})$$

и подставим его во второе равенство, тогда

$$P_H \cos \beta + G * f \cos(\alpha_1 - \beta) - P_H * f * \sin \beta - G * \cos(\alpha_1 - \beta) = 0$$

или

$$P_H * (\cos \beta - f * \sin \beta) - G * [\sin(\alpha_1 - \beta) - \cos(\alpha_1 - \beta) * \operatorname{tg} \varphi] = 0 \quad (\text{VII-12})$$

Так как

$$(\cos \beta - f * \sin \beta) = \cos \beta - \operatorname{tg} \varphi * \sin \beta = \frac{\cos(\beta + \varphi)}{\cos \varphi} \quad (\text{VII-13})$$

то

$$P_H \left[ \frac{\cos(\beta + \varphi)}{\cos \varphi} \right] - G \left[ \frac{\sin(\alpha_1 - \beta) * \cos \varphi - \cos(\alpha_1 - \beta) * \sin \varphi}{\cos \varphi} \right] = 0 \quad (\text{VII-14})$$

или

$$\frac{\omega^2 r}{g} * \cos(\beta + \varphi) = \sin(\alpha_1 - \beta - \varphi) \quad (\text{VII-15})$$

С незначительной погрешностью можно подставить  $\varphi = \alpha - \beta$  (см. рис. VII-4,а).

Тогда

$$\frac{\omega^2 r}{g} = \frac{\sin(\alpha_1 - \alpha)}{\cos \alpha}; \quad \sin(\alpha_1 - \alpha) = \frac{\omega^2 r}{g} * \cos \alpha \quad (\text{VII-16})$$

$$\alpha_1 = \alpha + \arcsin\left(\frac{\omega^2 r}{g} * \cos \alpha\right) \quad (\text{VII-17})$$

Определив  $\alpha$  экспериментально, можно установить по полученной формуле значение  $\alpha_1$ .

Предельное число оборотов цилиндрического триера. Чтобы установить предельное число оборотов цилиндрического триера, рассмотрим наивысшее положение частицы во вращающемся цилиндре (рис. VII-4,е).

В наивысшем положении частицы могут, очевидно, оторваться от вращающейся поверхности триера, если сила, прижимающая их к поверхности, равна нулю:

$$m * g - m * \omega^2 * r = 0, \quad \omega^2 = \frac{g}{r}$$

Заменив  $\omega = \frac{\pi * n}{30}$  и проведя соответствующие сокращения, получим:

$$n_{\text{ПРЕД}} = \frac{30}{\sqrt{r}} \quad (\text{г в м})$$

В тихоходных цилиндрических триерах

$$n_T = (0,2...0,3) * n_{\text{ПРЕД}} = \frac{6}{\sqrt{r}} \dots \frac{9}{\sqrt{r}}$$

что соответствует  $V_T = 0,3...0,5 \text{ м/сек}$  для триеров  $\varnothing 0,6 \text{ м}$ .

В быстроходных цилиндрических триерах

$$n_B = (0,2...0,3) * n_{\text{ПРЕД}} = \frac{21}{\sqrt{r}} \dots \frac{27}{\sqrt{r}}$$

что соответствует  $V_B = 1,2 \dots 1,5 \text{ м/сек}$  для триеров  $\text{Ø } 0,6 \text{ м}$ .

Зоны скольжения и выпадения зерновок. При проектировании цилиндрических триеров необходимо устанавливать зоны скольжения длинных зерен по гладкой поверхности и зоны выпадения коротких зерновок из ячеек. Предварительно определяют экспериментальным путем углы скольжения различных зерновок, когда цилиндр не вращается. После этого можно рассчитать углы начального скольжения при любой окружной скорости.

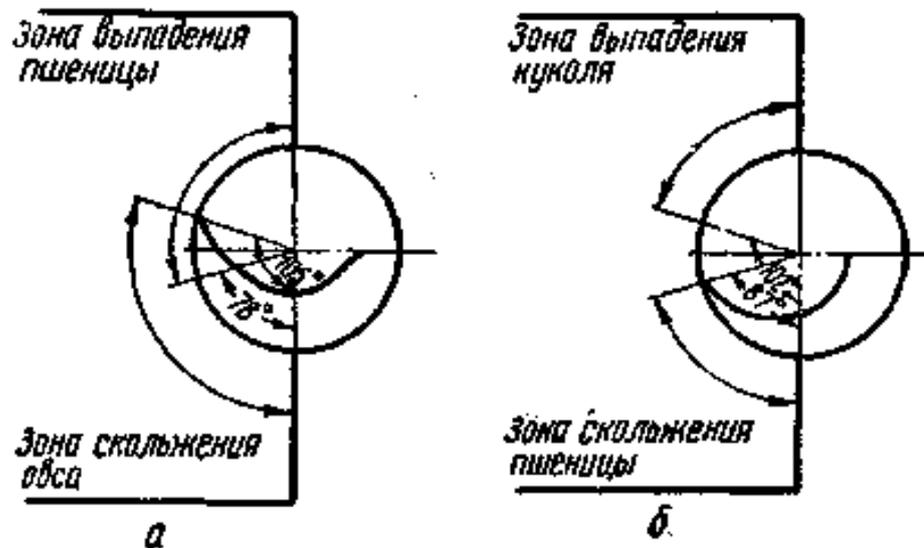


Рис. VII-5. Зоны скольжения и выпадения отдельных фракций зерна из ячеек триеров:

- а — скольжения овса и выпадения пшеницы в овсюгоотборнике;
- б — скольжения пшеницы и выпадения куколя в куколеотборнике.

Допустим, требуется определить зону скольжения пшеницы на гладкой поверхности цилиндра (между ячейками) и зону выпадения куколя из ячеек в быстроходном цилиндрическом триере  $\text{Ø } 600 \text{ мм}$ , вращающемся со скоростью  $1,35 \text{ м/сек}$ .

В этом случае в ячеи будут попадать семена куколя, как более короткие, а между ячеями окажутся зерновки пшеницы, как более длинные. Угол подъема пшеницы (верхняя граница зоны скольжения) определится по формуле (VII-7) :  $\varphi = \varphi_{\max} = 50^\circ$  (см. табл. VII-2):

$$\text{Тогда: } \alpha_o = 74^\circ 30'$$

Угол выпадения куколя (нижняя граница его выпадения) определится по формуле (VII-17):

$$\alpha_1 \approx 42^\circ 11' \approx (0,736 \text{ рад}), \quad (\text{VII-18})$$

так как  $\alpha$ , по опытным данным, для куколя составляет  $3^\circ$ .

Зоны скольжения и выпадения отдельных фракций зерна из ячей определяют положение грани внутреннего желоба. На рисунке VII-5, а показаны зоны скольжения овса и выпадения пшеницы в овсюгоотборнике. Обе зоны пересекают одна другую в пределах  $105^\circ - 78^\circ = 27^\circ$ .

Это указывает на то, что машина при данной форме ячей не обеспечивает четкого разделения зерен пшеницы и овса. Если установить верхнюю грань желоба под углом  $105^\circ$  ( $\approx 1,83 \text{ рад}$ ), часть пшеницы попадет в овес. Если же установить грань под углом  $78^\circ$  ( $\approx 1,36 \text{ рад}$ ), часть овса попадет в пшеницу, находящуюся внутри желоба.

На рисунке VII-5, б показаны зоны скольжения пшеницы и выпадения куколя. В данном случае между обеими зонами имеется свободный угол  $15^\circ$  ( $\approx 0,262 \text{ рад}$ ), т.е. возможно полное разделение пшеницы и куколя.

### **Конструкции цилиндрических триеров**

Рабочим органом цилиндрического триера (рис. VII-6) является стальной цилиндр 7, к концам которого прикреплены винтами розетки 3 и Р. Розетка 9 соединена шпонкой 10 с валом 1. К валу приварены витки шнека 2. Таким образом, вместе с валом вращаются цилиндр и шнек.

Желоб 11 с одной стороны опирается через шарикоподшипник 8 на вал, а с другой стороны соединен с червячным колесом 5. Поворачивая колесо посредством червяка 4, можно изменять положение грани 12 желоба по отношению к цилиндру. Короткие зерновки при вращении цилиндра западают в ячеи, достигая зоны выпадения, разгружаются в желоб и выводятся шнеком из машины. Зерновки длинной фракции перемещаются вдоль цилиндра в отводящий лоток 6.

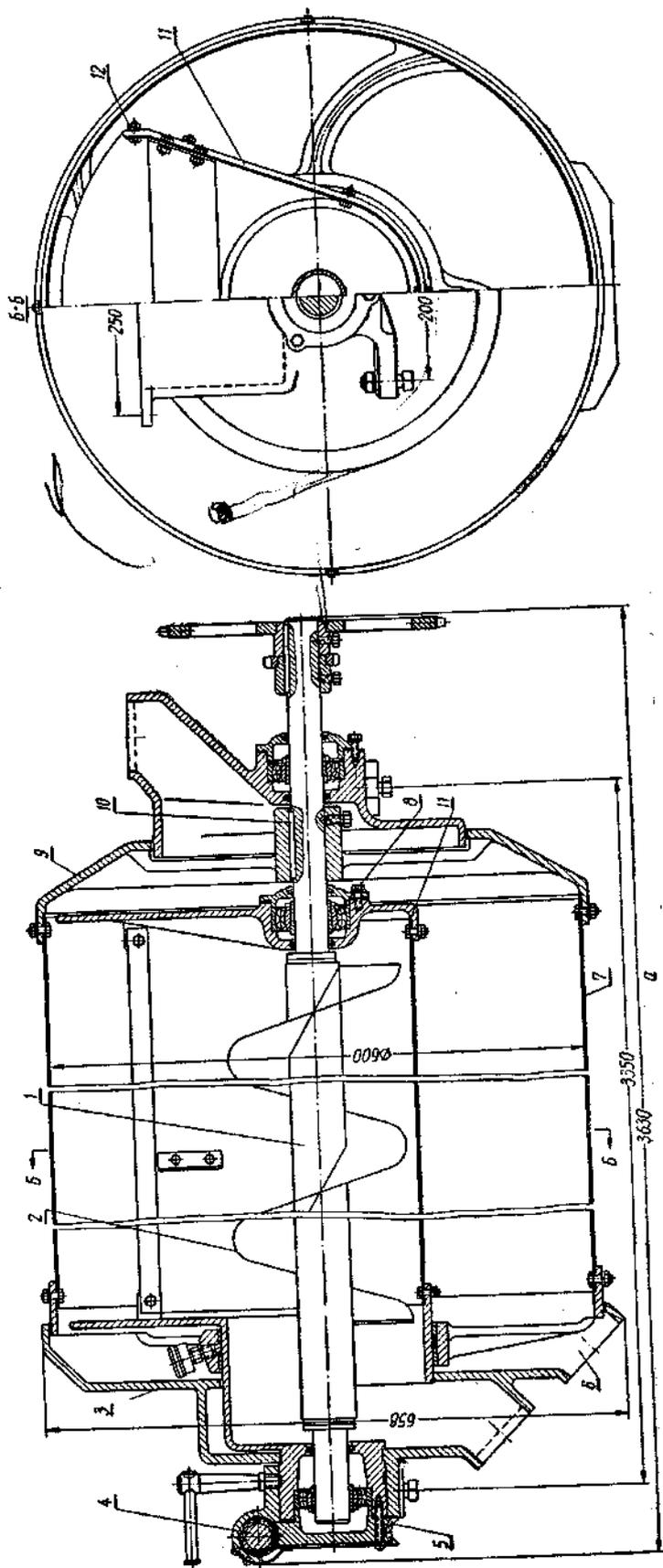


Рис. VII-6. Цилиндрический трюер:  
 а — конструкция;

На рисунке VII-7 показана схема цилиндрического триера для очистки зерна от куколя конструкции А. Ф. Григоровича. Основная особенность этого триера в том, что исходное зерно поступает в машину одновременно по всей длине триерного цилиндра. Зерно через приемный патрубок 3—12 поступает на распределительный шнек /. Перемещаясь вдоль шнека, зерно выгружается через отверстия желоба. Клапаны 4 обеспечивают равномерное поступление зерна со ската 5 по длине триера. В конце желоба питающего шнека предусмотрено свободное отверстие без клапана для выпуска зерна в цилиндр.

При вращении цилиндра короткие примеси попадают в шнек 7, а очищенное зерно — в шнек 8. Шнеки удаляют примеси и очищенное зерно из машины. Аспирируется машина через канал 2.

Для нормальной работы такого триера необходимо, чтобы:

- а) распределительный шнек подавал зерно тонким слоем равномерно по всей длине цилиндра;
- б) наклон ската 6 составлял  $35—50^\circ$  ( $0,61—0,87 \text{ рад}$ ) к горизонтальной плоскости;
- в) расстояние между кромкой 9 желоба шнека для очищенного зерна и поверхностью цилиндра равнялось 45 мм и было одинаковым по всей длине цилиндра; это расстояние регулируется изменением длины тяги 10 регулирующего устройства;
- г) наклон стенки 11 желоба верхнего шнека 7 для коротких примесей был выбран так, чтобы содержание годного зерна в отходах не превышало 2% массы отходов;
- д) исходное зерно было предварительно очищено от минеральных и металлических примесей, влияющих на износ ячеей триера, а также от мелких сорных примесей, забивающих ячей триера.

Триер получает вращение от электродвигателя через две ременные передачи и два обрешиненных ролика 13, соприкасающихся с бандажами цилиндра. Шнеки получают вращение от вала триера посредством цепной передачи.

Опыт эксплуатации этой машины в производственных условиях показал, что при производительности машины 4—5 *т/ч* эффективность очистки пшеницы от куколя составляет 70—75%. По своим технико-экономическим показателям машины наиболее прогрессивна по сравнению с известными в настоящее время конструкциями триеров такой же производительности.

На рисунке VII-8 показана схема триера конструкции А. Ф. Григоровича и Е. Г. Лукьянова для очистки зерна от овсюга производительностью 5 *т/ч*. Основным рабочим органом триера является цилиндр диаметром 800 мм, длиной 1800 мм, с ячейми диаметром 8,5 мм. Пальцевые ворошители 9, установленные на выпускной торцевой розетке, перемешивают отходы и таким образом способствуют попаданию в ячей оставшихся в отходах зерен пшеницы.

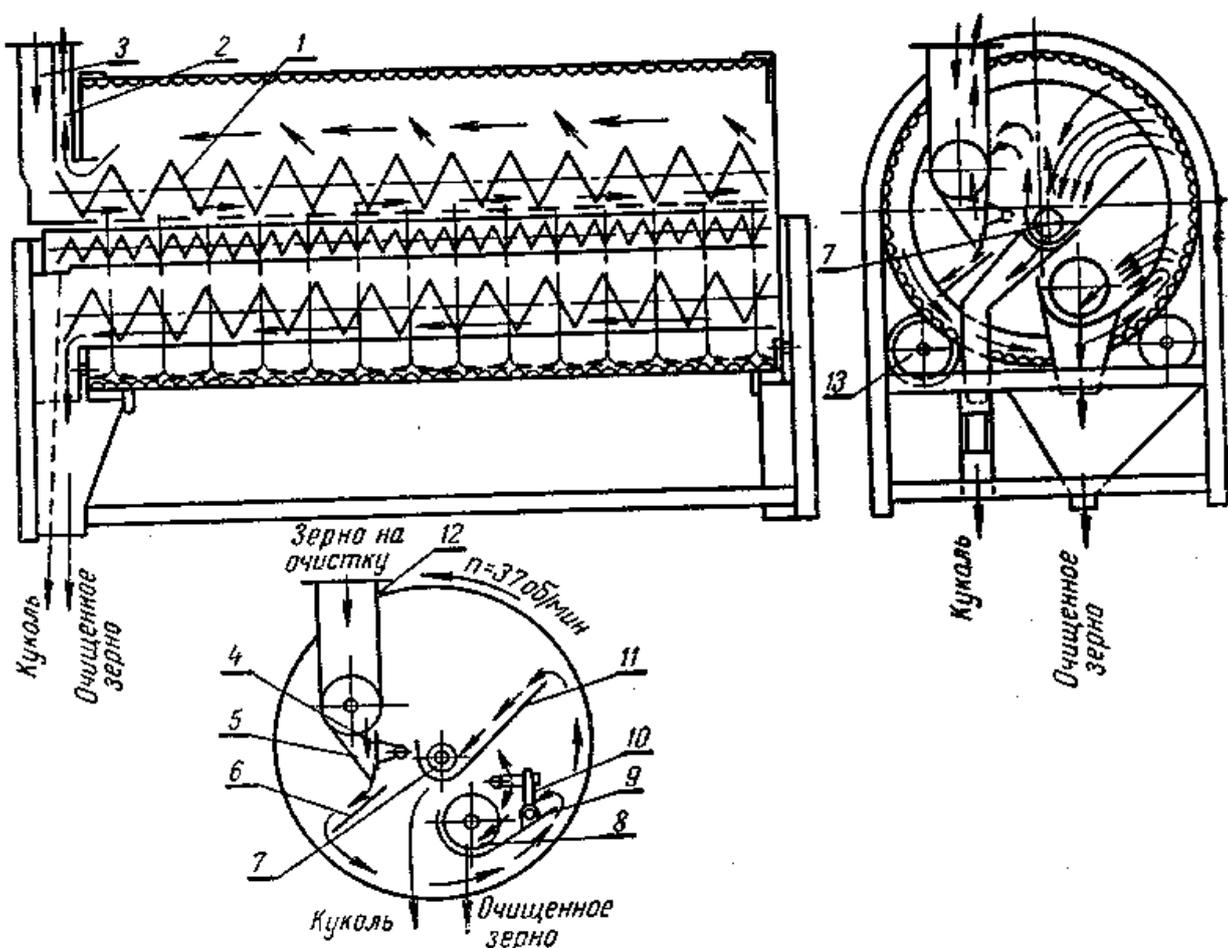


Рис. VII-7. Цилиндрический триер-куколеотборник конструкции А. Ф. Григоровича.

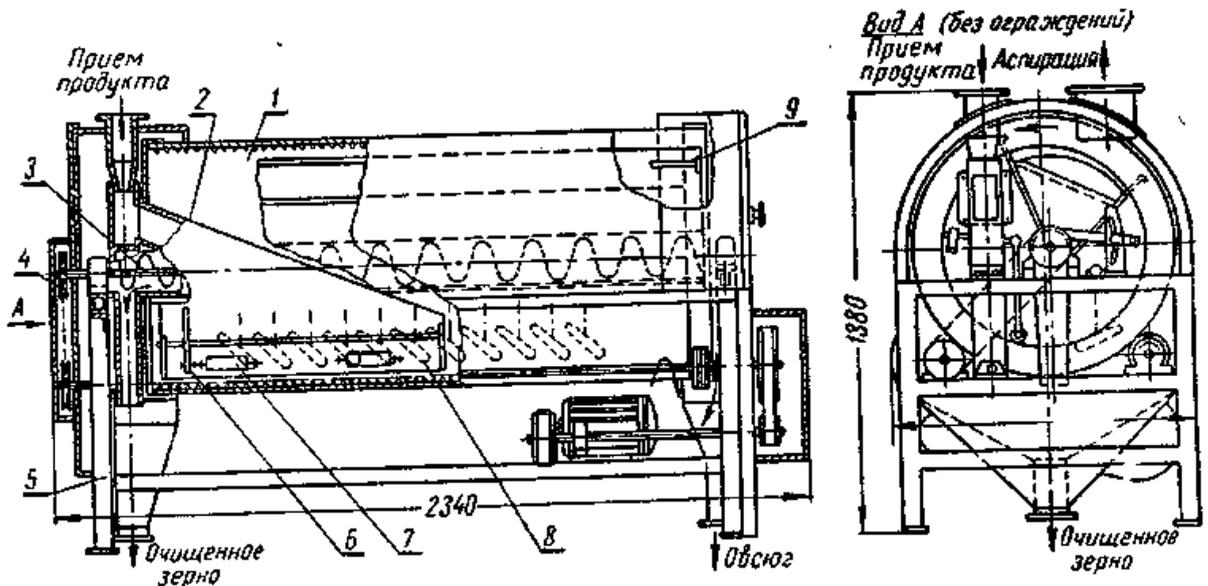


Рис. VII-8. Цилиндрический триер-овсюгоотоорник:

1 — цилиндр диаметром 800 мм; 2 — питающее устройство; 3 — шнек для удаления очищенного зерна; 4 — ременная передача на шнек; 5 — станина; 6 — устройство для регулирования размера выпускаемого отверстия питающего механизма; 7 — противовес; 8 — плужки (11 шт.); 9 — пальцевой ворошитель (4 шт. по окружности).

### Элементы теории работы дискового триера

**Определение угловой скорости дисков.** Рассмотрим относительное равновесие зерновки как частный случай относительного движения (рис. VII-13). Для составления уравнения равновесия зерновки относительно движущейся системы координат нужно к действующей силе  $G$  прибавить силу инерции в переносном движении  $P_{и}$ . При этом относительная скорость  $v_0$  и относительное ускорение  $a_0$  равны нулю.

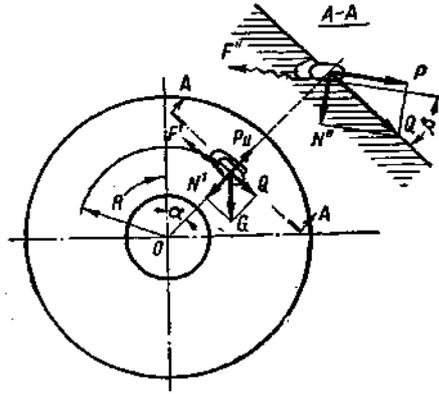


Рис. VII-13. Расчетная схема для определения скорости вращения дисков.

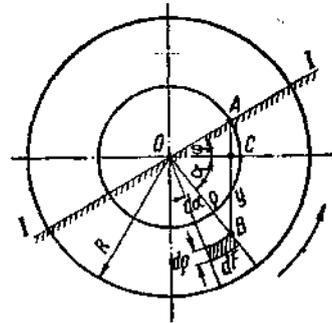


Рис. VII-14. Расчетная схема для определения потребной мощности дискового триера.

Разложим силу тяжести зерновки  $G$  в плоскости диска на две составляющие:

$N' = G \cos \alpha$ , направленную по радиусу диска, проходящему через центр тяжести зерновки;

$Q = G \sin \alpha$ , направленную перпендикулярно радиусу диска.

Вторая составляющая  $Q$  стремится вывести зерновку из ячей.

Сила, равная  $\bar{N}' + \bar{P}_{II}$  будет прижимать зерновку (в зависимости от их соотношения) к одной из боковых граней.

Нетрудно заметить, что при  $\omega^2 R > g \cdot \cos \alpha$  зерновка будет прижата к верхней, а при  $\omega^2 R < g \cdot \cos \alpha$  — к нижней боковой стенке ( $R$  — радиус-вектор;  $\alpha$  — полярный угол). Для выяснения ее действия рассмотрим сечение ячей плоскостью  $AA$ , перпендикулярной ее радиусу и плоскости диска. В этом сечении на зерно будет действовать сила  $Q$ .

Разложим силу  $Q$  на две составляющие:

$P = Q \cdot \cos \beta$ , параллельную направляющей грани ячей, и  $N''$ , перпендикулярную ей и равную  $Q \sin \beta$ .

Таким образом, на зерновку, находящуюся в ячейе, действуют:

- движущая сила  $P = Q \cos \beta$ ;
- сила трения зерновки о боковую грань ячей

$$F' = (P_{II} - N')f$$

сила трения зерновки о направляющую грань ячеи

$$F'' = N''f$$

где  $f$  — коэффициент трения зерновки о ячею.

Составим уравнение равновесия при условии

$$\omega^2 R > g * \cos \alpha$$

Направление сил трения  $F'$  и  $F''$  будет обратным направлению силы  $P$ . Тогда, не учитывая влияния наклона направляющей и боковых граней ячеи, получим с некоторым приближением:

$$P = F' + F'' = (P_{II} - N') * f + N'' * f \quad (\text{VII-19})$$

Подставляя приведенные выше значения для  $F'$  и  $F''$ , получим

$$G * \sin \alpha \cos \beta = f * (P_{II} - G * \cos \alpha) + G * f * \sin \alpha \sin \beta \quad (\text{VII-20})$$

$$G * \sin \alpha (\cos \beta - \operatorname{tg} \varphi * \sin \beta) = \operatorname{tg} \varphi * (P_{II} - G * \cos \alpha)$$

$$G * \sin \alpha \cos(\beta + \varphi) = \frac{G}{g} * \sin \varphi * \omega^2 * R - G * \sin \varphi \cos \alpha$$

$$\sin \alpha \cos(\beta + \varphi) + \sin \varphi \cos \alpha = \sin \varphi * \frac{\omega^2 R}{g}$$

Откуда

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{R} * \left[ \frac{\sin \alpha}{\sin \varphi} * \cos(\beta + \varphi) + \cos \alpha \right]}$$

С уменьшением  $\varphi$ , т. е. с повышением степени чистоты поверхности при выбранном значении  $\alpha$ , увеличивается значение  $\omega$ , что влияет на увеличение производительности триера.

Значение угла  $\beta$  принимаем для всех ячей равным  $45\text{—}50^\circ$  ( $0,78\text{—}0,87$  рад). Угол  $\alpha$  выбираем в пределах  $32\text{—}45^\circ$  ( $0,56\text{—}0,78$  рад). Для определения максимально допустимой угловой скорости следует подставить в уравнение значение радиуса диска.

Определение потребной мощности для работы дискового триера. Потребная мощность двигателя может быть выражена следующей формулой:

$$N = \left( N_1 + N_2 + N_3 + N_4 * \frac{1}{\eta_1 * \eta_2} \right) * \frac{1}{\eta_3 \eta_4 \eta_5} \quad (\text{VII-22})$$

где:  $N_1$  — мощность для преодоления трения дисков триера о зерновую массу;

$N_2$  — мощность для подъема дисками зерен короткой фракции, попавших в ячеи;

$N_3$  — мощность для перемещения вдоль цилиндра зерен длинной фракции, не попавших в ячеи;

$N_4$  — мощность для винтового транспортера, перемещающего зерна короткой фракции из основного в контрольное отделение триера;

$\eta_1$  — к. п. д. подшипников винтового транспортера;

$\eta_2$  — к. п. д. ременной передачи на винтовой транспортер;

$\eta_3$  — к. п. д. подшипников главного вала;

$\eta_4$  — к. п. д. редуктора;

$\eta_5$  — к. п. д. ременной передачи от электродвигателя к редуктору.

Для получения оптимального технологического эффекта поверхность дисков наполовину покрыта зерном (I—I, рис. VII-14).

Полагая, что поверхность зерна в триере образует с горизонталью угол  $\phi$ , равный углу естественного откоса, и что давление на какую-либо площадку диска пропорционально расстоянию, измеренному по вертикали от этой площади до поверхности зерна, определим момент трения зерна о диск.

Возьмем элементарную площадку на поверхности диска:

$$dF = \rho * d\alpha * d\rho \quad (\text{VII-23})$$

Давление на эту площадку будет равно:

$$dP = \gamma * y * dF \quad (\text{VII-24})$$

где  $\gamma$  — давление на единицу площади диска.

Момент трения, возникающий на этой площадке относительно оси вала, будет:

$$dM_T = f * \rho * dP \quad (\text{VII-25})$$

или

$$dM_T = f * \rho^2 * \gamma * d\alpha * d\rho \quad (\text{VII-26})$$

Из треугольников OAC и OBC

$$y = \rho * (\operatorname{tg} \varphi \cos \alpha + \sin \alpha) \quad (\text{VII-27})$$

Подставляя значение  $y$  в предыдущее уравнение и интегрируя его, получим:

$$M_T = \frac{1}{2} * \gamma * f * (R^4 - r^4) * (\operatorname{tg} \varphi \sin \varphi + \cos \varphi) \quad \text{кГсм.} \quad (\text{VII-28})$$

Так как

$$\operatorname{tg} \varphi \sin \varphi + \cos \varphi = \frac{1}{\cos \varphi};$$

$$\text{то} \quad M_T = \frac{1}{2} * \gamma * (R^4 - r^4) * \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos \varphi} \quad \text{кГсм.} \quad (\text{VII-29})$$

Где:  $z$  — число дисков;

$n$  — число оборотов дисков в минуту.

Мощность для подъема дисками зерен короткой фракции можно определить по формуле:

$$N_2 = \frac{m_o * V^2}{2 * 3600 * 102} + \frac{G_o * h_1}{3600 * 102} \quad (\text{VII-30})$$

где  $m$  и  $G_o$  — масса (кг) и вес (Г) зерен короткой фракции, попавших в ячеи за один час работы триера, определяется исходя из количества ячеи, частоты вращения и веса одного зерна, который определяем по таблице 1.

$V$  — скорость поверхности диска по среднему диаметру, м/с определяется по формуле.

$$V = \omega * \frac{(R_1 + R_2)}{2}$$

$h_1$  — высота подъема короткой фракции, м определяется по формуле.

$$h_1 = R_2 + \left( \frac{R_1 - R_2}{2} \right)$$

$N_3$  и  $yV_4$ —определяются по формулам, принятым для определения мощности винтовых транспортеров. Так как  $N_3$  и  $N_4$  по своему абсолютному значению не превышают 3—4% общей потребной мощности, то ими можно пренебречь.

### **Конструкции дисковых триеров**

Дисковый триер состоит из двух отделений: основного и контрольного.

Рабочим органом машины (рис. VII-15) являются чугунные диск и / с ячеями 2 на поверхности. При вращении дисков против часовой стрелки ячеи заполняются короткими примесями. Форма и размеры ячей должны соответствовать форме и размерам выделяемых примесей. Выпав из ячей, короткие примеси попадают не в массу зерна, а в желобки 3 и удаляются из машины (рис. VII-15,а).

Машина (рис. VII-16) состоит из двух опорных стоек 1, кожуха 8, вала 3 с набором дисков 4 и шнека 12. Посредством зубчатых звездочек 5, 2 и цепи 6 движение передается от шнека 12 на вал.

Количество зерна, поступающего внутрь триера-куколеотборника через питающую коробку 7, регулируется задвижками 16. Оно перемещается лопастями, прикрепленными к спицам каждого диска, и удаляется наружу через выпускное отверстие 9. Над шнеком расположены желобки 10 и поворотные клапаны 11 (по числу дисков). Частицы куколя и другие короткие примеси подхватываются ячеями дисков и выводятся в шнек 12 или в желоб 14, в зависимости от положения поворотных клапанов // . На рисунке эти клапаны показаны в положении, при котором примеси из желобков 10 направляются в желоб 14, минуя шнек 12.

Если поворотные клапаны 11 привести в положение, показанное пунктиром, примеси попадут в шнек 12, который переместит их в контрольное отделение машины. Там расположены диски с ячеями меньших размеров для контроля отходов. Короткие примеси из контрольного отделения удаляются дисками в тот же шнек или в желоб 14. Полноценные зерна из контрольного отделения

попадают в основное через отверстие в разделительной перегородке 13. В куколеотборнике зерно энергично перемешивается, в результате чего от него отделяется пыль. Камни, песок и пыль оседают на дно машины и выводятся наружу через отверстие 15, для чего периодически открывается задвижка, расположенная над отверстием.

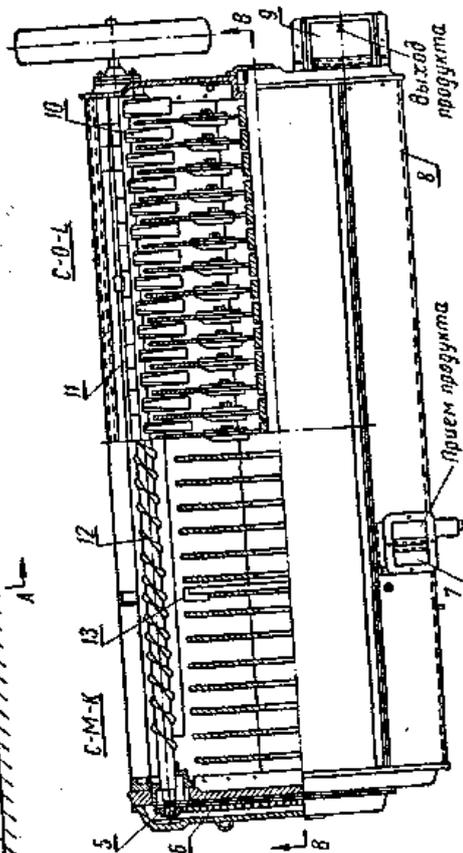
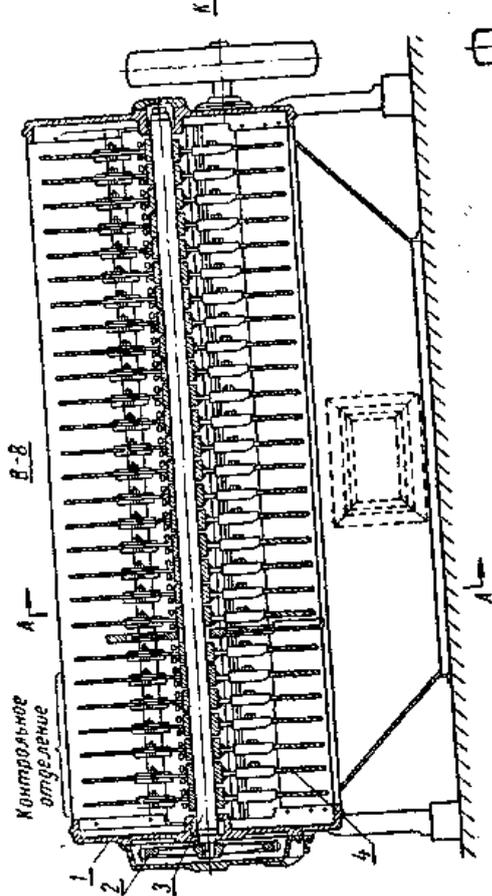
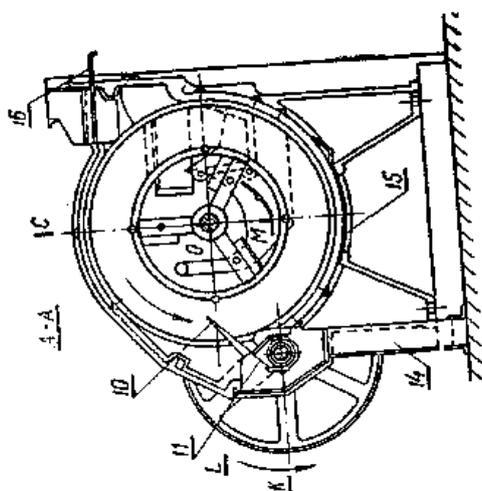


Рис. VII-16. Триер-куколеотборник однорогортный.

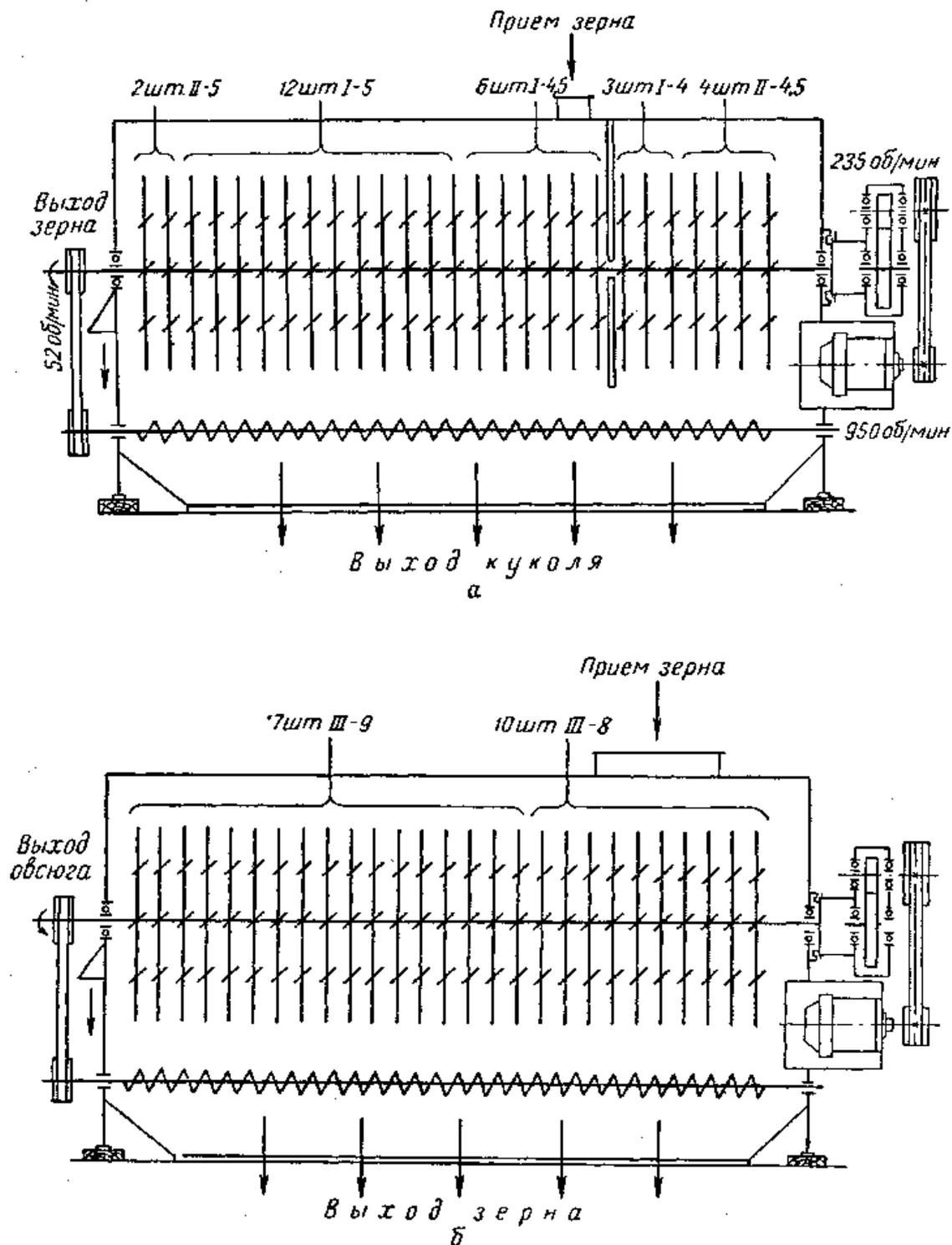


Рис. VII-17. Кинематические схемы дисковых триеров:  
 а — для очистки зерна от куколя; б — для очистки зерна от овсяга.

Триеры, предназначенные для очистки пшеницы или ржи от ячменя и овсяга, не имеют контрольного отделения. В этом случае для контроля обычно

применяют цилиндрические триеры. Дисковые триеры аспирируются через верхнее отверстие для исходного зерна. Расход воздуха  $10 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

Достоинства машины: цепная передача со шнека на вал, компактность, сравнительно небольшие габаритные размеры. В связи с тем, что цепь быстро изнашивается, так как на нее попадает пыль и абразивные частицы, цепную передачу заменили редуктором и ременной передачей.

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ТРИЕРОВ.

Основные сведения для расчета и конструирования триеров.

### 9.1.1. Цилиндрические триера.

Цилиндрический триер, схема которого представлена на рис.1, состоит из стального цилиндра 1 со штампованными ячейми на внутренней поверхности и шнека 2, расположенного в желобе 3. При вращении цилиндра 1 в ячейи попадают короткие зерна, которые выпадают при повороте цилиндра на некоторый угол. Короткие зерна укладываются в ячейи глубже, чем длинные. Поэтому первые при вращении цилиндра выпадают позже, попадают в желоб 3 и выводятся из машины шнеком 2.

Длинные зерна, скользя по внутренней поверхности цилиндра, перемещаются в продольном направлении под давлением зерна, поступающего в машину. Степень разделения смеси на фракции по длине зависит от уровня, на который установлена верхняя грань желоба 3.

Вращение цилиндра 1 и шнека 2 осуществляется от электродвигателя 10 через ременную передачу 9, редуктор 8 и муфту 7.

Зерна подается через приемный патрубок 4. Очищенная пшеница отводится через лоток 5, а короткие примеси (куколь, битая пшеница) выводится через лоток 6.

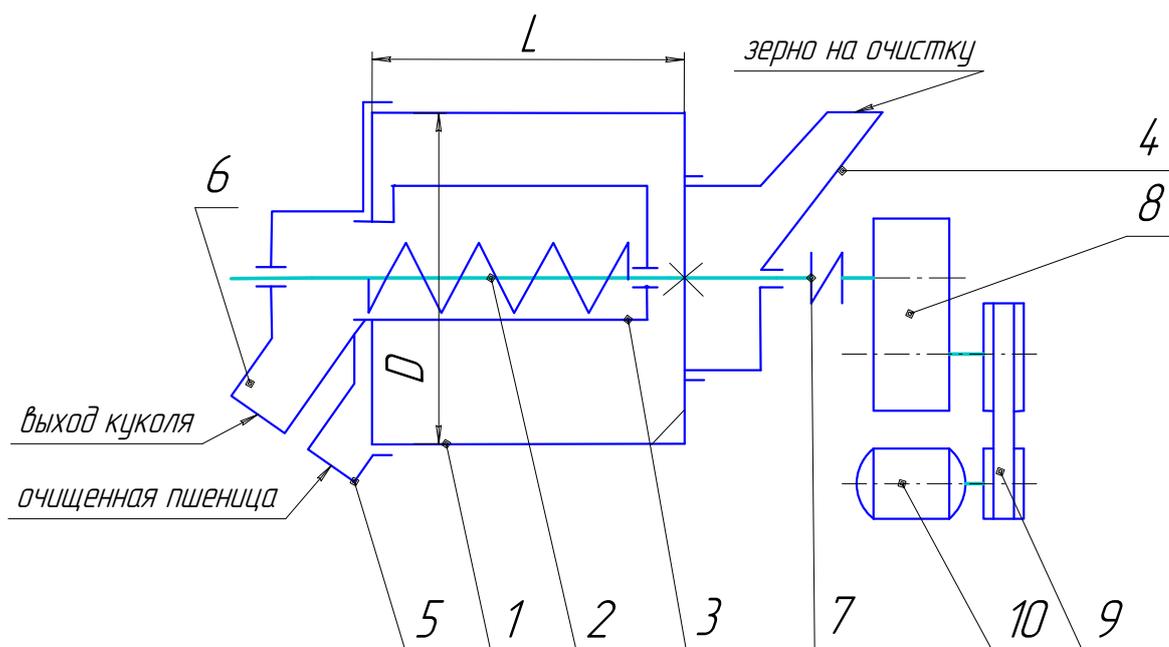


Рис.1. Схема цилиндрического триера.

- 1.Стальной цилиндр; 2.Шнек; 3. Желоб; 4.Приемный патрубок;  
 5.Отводной лоток для очищенной пшеницы; 6.Отводной лоток для  
 куколя; 7. Муфта; 8. Редуктор; 9. Ременная передача;  
 10. Электродвигатель.

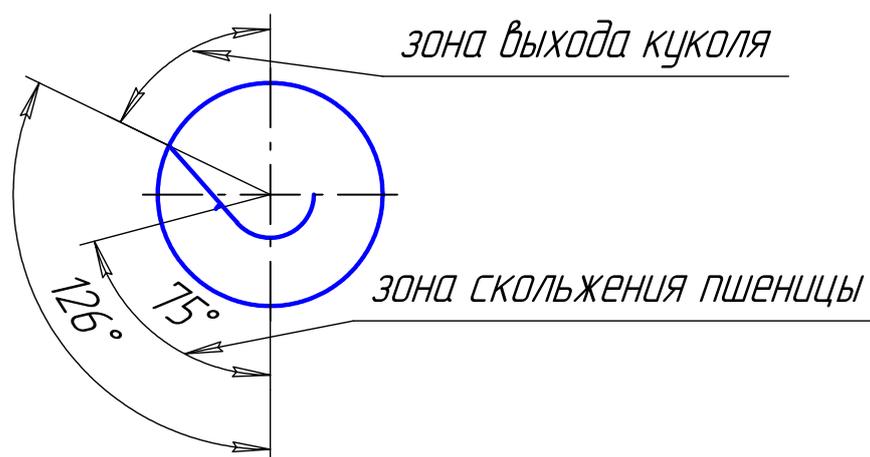


Рис.2. Зоны скольжения пшеницы и выпадения куколя цилиндрическом триере.

Определяем геометрические и кинематические параметры желоба и шнека.

Производительность шнека для овсюгоотборочных машин принимаем

равной производительности триера  $Q_T = Q$ , для куколеотборочных машин  $Q_T = 0,15Q$ .

Для обеспечения вращения цилиндра триера с частотой  $n=35 \text{ мин}^{-1}$  разработаем кинематическую схему привода триера. Кинематическая схема представлена на рис.3.

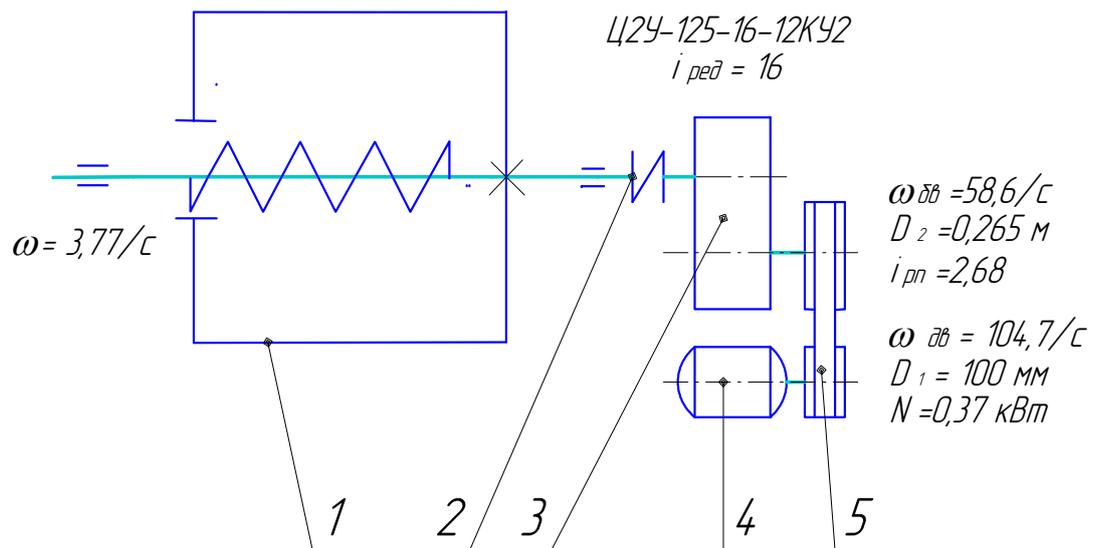


Рис.3. Кинематическая схема цилиндрического триера.

1. Стальной цилиндр и шнек; 2. Муфта; 3. Редуктор; 4. Ременная передача;
5. Электродвигатель.

К основным расчетным параметрам цилиндрического триера относят производительность, потребляемую мощность, размеры цилиндра (диаметр и длину), частоту его вращения, профиль и размеры желоба.

Производительность триера  $Q$  (кг/ч) определяют по формуле (1).

$$Q = q * F \quad (1)$$

Где  $q$  – удельная нагрузка на триерную поверхность, кг/(м<sup>2</sup>\*ч);  $F$  – площадь ячеистой поверхности, м<sup>2</sup>.

Площадь ячеистой поверхности  $F$  определяют по формуле (1) при известных значениях  $Q$  и  $q$  (определяется по таблице 2 в зависимости от технологической операции и вида зерновой культуры).

Диаметр  $D$  цилиндра триера выбирают в зависимости от производительности триера.

Длину цилиндра  $L$  (м) находим по формуле (2)

$$L = \frac{F}{\pi * D} \quad (2)$$

где:  $D$  – диаметр цилиндра, м.

Предельную частоту вращения  $n_{\text{пред}}$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) цилиндра вычисляют по формуле (3).

$$n_{\text{пред}} = \frac{30}{\sqrt{R}} \quad (3)$$

где:  $R$  – радиус цилиндра, м.

В тихоходных триерах частота вращения  $n_T$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) цилиндра вычисляют по формуле (4) и находится в пределах.

$$n_T = \frac{6}{\sqrt{R}} \dots \frac{9}{\sqrt{R}} \quad (4)$$

В быстроходных триерах частота вращения  $n_6$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) цилиндра вычисляют по формуле (5) и находится в пределах.

$$n_6 = \frac{21}{\sqrt{R}} \dots \frac{27}{\sqrt{R}} \quad (5)$$

Для определения рабочей частоты вращения цилиндра триера воспользуемся оптимальными значениями ускорения  $\omega^2 r$  ( $\text{с}^{-1}$ ) при очистки зерна некоторых культур в цилиндрических и дисковых триерах, которые представлены в таблице 4.

Отсюда, угловая скорость  $\omega$  ( $\text{с}^{-1}$ ) определяется по формуле (6).

$$\omega = \sqrt{\frac{5,0}{R}}$$

Где:  $R$  – радиус цилиндра в цилиндрических триерах или наибольший радиус диска в дисковых триерах в м.

Отсюда  $n$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) частота вращения определяется по формуле (7).

$$n = \frac{\omega \cdot 30}{\pi} \quad (7)$$

Рассчитаем зоны скольжения и выпадения зерновок для определения угла установки желоба при выведении из цилиндра триера короткой фракции (куколя).

Значения  $\varphi$  (в град) углов трения зерна о триерную поверхность выбираем из таблицы 5, по С.В.Полетаеву (с).

Угол  $\alpha_0$  (град) подъема зерновки не попавшей в ячейки и располагающиеся на внутренней цилиндрической поверхности в один слой определяем по формуле (8).

$$\alpha_0 = \varphi + \arcsin\left(\frac{\omega^2 R}{g} * \sin \varphi\right) \quad (8)$$

Угол  $\alpha_1$  (град) выпадения короткой фракции из ячеек (нижняя граница его выпадения), относительно центра цилиндра, определяем по формуле (9).

$$\alpha_1 = \alpha_0 + \arcsin\left(\frac{\omega^2 * R}{g} * \cos \alpha_0\right) \quad (9)$$

Проверяем  $n$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) расчетное число оборотов цилиндра по формуле (10).

$$n = 30 * \sqrt{\frac{\sin(\alpha_1 - \varphi)}{R * \sin \varphi}} \quad (10)$$

Производительность шнека для овсюгоотборочных машин принимаем равной производительности триера  $Q_T = Q$ , для куколетотборочных машин  $Q_T = 0,15Q$ .

Шаг шнека  $S$  (мм) определяем по формуле (11).

$$S = D_{\text{шн}} = 36 * \sqrt[3]{\frac{Q_T}{n}} \quad (11)$$

Где:  $D_{\text{шн}}$ - диаметр шнека равный шагу шнека, мм;  $Q_T$ - производительность шнека, кг/ч;  $n_{\text{шн}}$  – частота вращения шнека, равная  $n=35$   $\text{мин}^{-1}$  частоте вращения триерного цилиндра,  $\text{мин}^{-1}$ .

Радиус  $r$  (мм) закругления дна желоба определяем по формуле (12).

$$r = \frac{D_{\text{шн}}}{2} + (5 \dots 8) \quad (12)$$

Потребную для работы триера мощность  $N$  (кВт) определяем в зависимости от его производительности. Для ориентировочных расчетов можно пользоваться формулой (13).

$$N = 0.0002 * Q \quad (13)$$

Для разработки кинематической схемы привода цилиндрического триера необходимо рассчитать общее передаточное число, которое определяем по формуле (14).

$$i = \frac{n_{\text{дв.}}}{n} \quad (14)$$

Общее передаточное число привода является произведением всех передаточных чисел привода и определяется по формуле (15)

$$i = i_1 * \dots * i_n \quad (15)$$

Общий коэффициент полезного действия является произведением всех к.п.д. передач привода и определяется по формуле (16).

$$\eta = \eta_1 * \dots * \eta_n \quad (16)$$

Установленная мощность привода  $N_{\text{пр}}$  (кВт) определяем по формуле (17).

$$N_{\text{пр}} = \frac{N}{\eta_{\text{пр}}} \quad (17)$$

Крутящий момент  $M_{\text{кр}}$  (Н\*М) определяем по формуле (18)

$$M_{\text{кр}} = \frac{N}{\omega} \quad (18)$$

Где:  $N$  – мощность на тихоходном валу редуктора, Вт;

$\omega$  -угловая скорость тихоходного вала редуктора, которая равна угловой скорости цилиндра триера.

Если известно % содержание примесей, то проверяется правильность выбора длины цилиндра триера проверяем по формуле (19).

$$L = \frac{Q * a}{x * V * \Delta * k * 60^2 * 100} \quad (19)$$

Где:  $L$  – длина цилиндра, м;

$Q$  – производительность в кг/ч;

$\Delta$  - средний вес зерна, выбираемого одной ячейей, кг, определяем по таблице 1.

$k$  - коэффициент использования ячеистой поверхности.

При очистке пшеницы от коротких примесей  $k=0.03 - 0.035$ ,

а при очистке от длинных примесей  $k=0.16 - 0.18$ .

$V$  – окружная скорость ячеистой поверхности в м/с, которая определяется по формуле (20).

$$V = \omega * R \quad (20)$$

$x$  – количество ячеей, приходящихся на  $1 \text{ м}^2$  триерной поверхности, определяем по формуле (21) Г.Т.Павловского.

$$x = \frac{A}{d^n} \quad (21)$$

Где :  $A$  –опытный коэффициент;

$n$  - показатель степени;

$A$  и  $n$  приведены в таблице 7 в зависимости от диаметра ячеей триерной поверхности.

$d$  – диаметр ячеей в мм., принимают в зависимости от вида зерновой культуры.

### Дисковые триера.

Дисковый триер, схема которого представлена на рис.1, состоит из двух отделений: основного и контрольного.

Рабочим органом машины является ротор с чугунными дисками 1 с ячейями на торцевых поверхностях. Ротор 1 размещается в корпусе 2, в который сверху подается зерно. При вращении дисков против часовой стрелки ячейей заполняются короткими примесями. Форма и размеры ячеей должны

соответствовать форме и размерам выделяемых примесей. Выпаив из ячей, короткие примеси попадают в желобки и удаляются из корпуса 2 в шнек 3 и выводятся из машины или в контрольное отделение триера, где установлены диски с ячейками меньших размеров. Полноценные зерна из контрольного отделения попадают в основное отделение через отверстие в разделительной перегородке, а короткие примеси попадают в шнек 3 и также выводятся из машины. Полноценное зерно перемещается лопастями, прикрепленными к спицам каждого диска, к выпускному отверстию и выводится из машины.

Ротор вращается от электродвигателя 8 через ременную передачу 7, редуктор 6 и муфту 5. Шнек 3 вращается через цепную передачу 4 от вала ротора 1.

Параметры триерной поверхности дисков принимаем по таблице 2:

-удельная нагрузка на триерную поверхность (куколь)  $-900 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  ;

-диаметр ячейки триера – 5,0 мм; (таблица 9).

Выбираем по конструктивным соображениям наружный диаметр диска из нормального ряда. Принимаем  $D_1 = 2 \cdot R_1 = 460 \text{ мм} = 0,46 \text{ м}$ , тогда  $R_1 = 0,23 \text{ м}$ .

По формуле (24) определяем внутренний диаметр диска.

$$D_2 = \frac{0,46}{1,65} = 0,279 \text{ м}$$

Конструктивно принимаем внутренний диаметр диска  $D_2 = 0,28 \text{ м} = 280 \text{ мм}$ , тогда  $R_2 = 0,14 \text{ м} = 140 \text{ мм}$ .

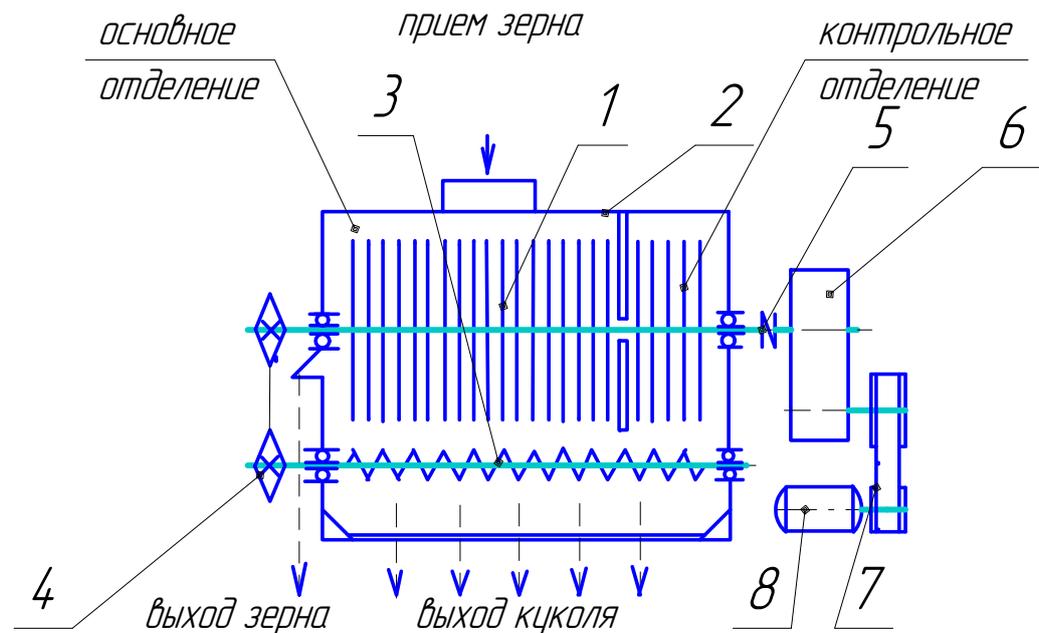


Рис1. Схема дискового триера.

1. Ротор с дисками; 2. Корпус триера; 3. Шнек; 4. Цепная передача;  
5. Муфта; 6. Редуктор; 7. Ременная передача; 8. Электродвигатель.

Для обеспечения вращения ротора триера и шнека для удаления куколя с одинаковой частотой  $n=55 \text{ мин}^{-1}$  разработаем кинематическую схему привода триера. Крутящий момент от электродвигателя через клиноременную передачу и редуктор передается на вал ротора, с другого конца вала ротора крутящий момент через цепную передачу передается на шнек. Кинематическая схема представлена на рис.2.

В качестве электродвигателя применяем электродвигатель с частотой вращения  $n_{\text{дв}}=1500 \text{ мин}^{-1}$ , как наиболее часто применяемый.

Тогда  $i$  общее передаточное число привода ротора определяем по формуле (14).

$$i = \frac{n_{\text{ов.}}}{n_p} = \frac{1500}{55} = 27,27$$

Для рассчитанного передаточного отношения необходимо установить редуктор и ременную передачу, которая позволит установить точную частоту вращения ротора дискового триера.

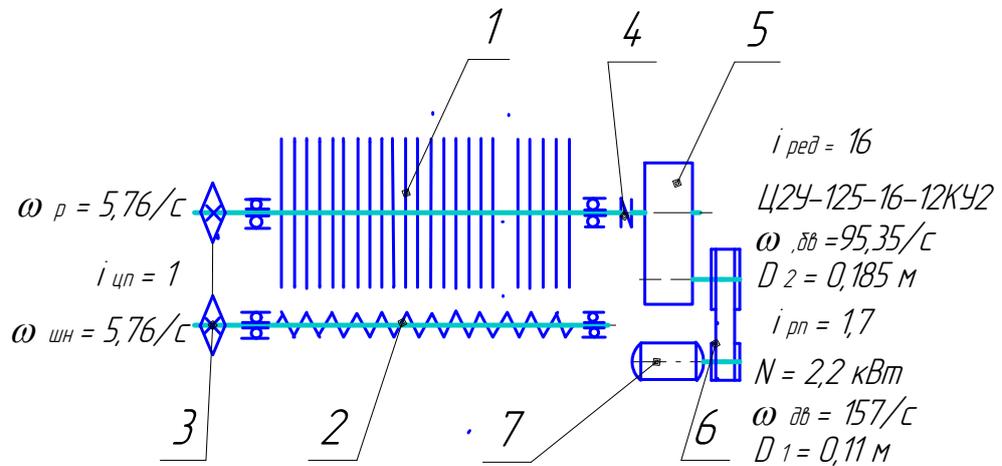


Рис. 2. Кинематическая схема дискового триера.

1. Ротор с дисками; 2. Шнек; 3. Цепная передача;
4. Муфта; 5. Редуктор; 6. Ременная передача; 7. Электродвигатель.

К основным расчетным параметрам дискового триера относят производительность, диаметр дисков и их число, максимальную частоту вращения ротора дисков, мощность привода триера.

Производительность триера  $Q$  (кг/ч) определяют по формуле (22).

$$Q = 2 * \pi * (R_1 - R_2) * q * z \quad (22)$$

Где  $R_1$  – радиус диска по внешним ячейкам, м;

$R_2$  – радиус диска по внутренним ячейкам, м;

$q$  - удельная нагрузка, кг/(м<sup>2</sup>·ч);

$z$  – число дисков.

Значение удельной нагрузки, в зависимости от различных зерновых культур, принимаем по таблице 2.

Наружный диаметр  $D_1$  дисков выбирают по конструктивным соображениям из нормального ряда серийно производимых диаметров дисков (380, 460 и 630 мм). При этом на одном валу обычно устанавливают от 12 до 30 дисков, т.е. ( $z$ ) число дисков должно находиться в пределах выражения (23):

$$12 < z < 30 \quad (23)$$

Внутренний диаметр  $D_2$  определяют из соотношения (24).

$$D_2 = \frac{D_1}{1.65} \quad (24)$$

Число дисков подсчитывают из формулы (22) при заданной производительности и известных значениях  $q$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ .

Ориентировочно предельную частоту вращения  $n_{\text{пред}}$  (мин<sup>-1</sup>) дисков находят по формуле (25).

$$n_{\text{пред}} = \frac{27}{\sqrt{R_1}} \quad (25)$$

Максимально допустимую угловую скорость вращения ротора дискового триера проверяют по формуле (26).

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{R_1} * \left[ \frac{\sin \alpha}{\sin \varphi} * \cos(\beta + \varphi) + \cos \alpha \right]} \quad (26)$$

Где  $\varphi$  - угол трения зерна о триерную поверхность, град;  $\alpha$  - полярный угол (угол между вертикальной осью радиусом проведенным через ячею из которой выпадает зерно), его выбираем в пределах  $32 - 45^\circ$ ,  $\beta$  - угол зависящий от формы и глубины погружения пуансона при образовании ячеи, он находит в пределах  $45 - 50^\circ$ .

Тогда расчетная максимальная частота вращения ротора дисков  $n_{\text{расч}}$  определяется по формуле (27).

$$n_{\text{расч}} = \frac{\omega * 30}{\pi} \quad (27)$$

При этом предельная и расчетная частоты вращения должны быть примерно одинаковы.

Рабочую частоту вращения ротора с дисками выбираем меньше чем предельная частота вращения, т.е. выполняется условие

$$n_{\text{раб}} \leq n_{\text{пред}} \quad (28)$$

Производительность шнека для отбора короткой фракции зерна определяем по выше описанной методике.

Частоту ( $n_{\text{шн}}$ ) вращения шнека принимаем равной ( $n_{\text{раб}}$ ) частоте вращения ротора с дисками.

Геометрические параметры шнека и желоба определяем по формулам (11), (12).

Если известно процентное содержание коротких примесей в исходной смеси, то можно проверить количество дисков на роторе по формуле (29). Если количество дисков больше расчетной, то для качественной очистки зерновой смеси требуется повторный пропуск зерна на триере.

$$z = \frac{Q * a}{6 * 10^3 * n * x_1 * \Delta_1 * k * \gamma} \quad (29)$$

Где  $Q$  – производительность, кг/ч;  $a$  – содержание коротких примесей в исходной смеси, %;  $n$  – число оборотов дисков в минуту;  $x_1$  – количество ячеек в одном диске;  $\Delta_1$  – вместимость одной ячейки в штуках зерен;  $k$  – коэффициент использования ячеистой поверхности (см. выше);  $\gamma$  – вес одного зерна в кг.

Количество ячеек на двух сторонах диска можно определить приблизительно по формуле (30).

$$x_1 = \frac{2 * \pi * (D_1^2 - D_2^2)}{4 * (l + b_1)^2} \quad (30)$$

Где  $D_1$  – наружный диаметр диска, мм ( $D_1 = 2 * R_1$ );  $D_2$  – внутренний диаметр диска, мм ( $D_2 = 2 * R_2$ );  $l$  – размер стороны прямоугольной ячейки или диаметр ячейки, мм;  $b_1$  – ширина перемычки между ячейками, мм.

Ячейка может быть выполнена в виде круглого или прямоугольного отверстия, имеющего три вида.

Размеры ячеек дисковых триеров зависят от вида перерабатываемого зерна и технологической операции и определяются по таблице 9.

Потребная  $N_p$  (кВт) мощность на валу ротора триера для ориентировочных расчетов можно определять по формуле (31).

$$N_p = 0,0006 * Q \quad (31)$$

Для уточненных расчетов потребную мощность на валу ротора определяем по формуле (32).

$$N_p = 1,04 * (N_1 + N_2) \quad (32)$$

Где  $N_1$  – мощность для преодоления трения дисков триера о зерновую массу,

кВт, определяют по формуле (33).

$$N_1 = 2 * z * \frac{P * f * \omega}{1000} \quad (33)$$

где  $z$  – число дисков на роторе;

$P$  – давление зерна на поверхность диска, Н;

Давление зерна на поверхность диска определяем по формуле (34).

$$P = \frac{(R_1 - R_2)^2 * \rho * g * \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}{2} \quad (34)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  - соответственно наружный и внутренний радиусы диска, м;  $\rho$  - объемная насыпная масса зерна кг/м<sup>3</sup>;  $\varphi$  - угол естественного откоса, град;  $\omega$  – угловая скорость вращения дисков, с<sup>-1</sup>,  $f$ - коэффициент трения зерна по диску.

$N_2$  – мощность для подъема дисками зерен короткой фракции, попавших в ячеи диска, кВт определяем по формуле (35).

$$N_2 = \frac{m_o * V^2}{2 * 3600 * 102} + \frac{G_o * h_1}{3600 * 102} \quad (35)$$

где  $m$  и  $G_o$  – масса (кг) и вес (Г) зерен короткой фракции, попавших в ячеи за один час работы триера, определяется исходя из количества ячей, частоты вращения и веса одного зерна, который определяем по таблице 1.

$V$  – скорость поверхности диска по среднему диаметру, м/с определяется по формуле (36).

$$V = \omega * \frac{(R_1 + R_2)}{2} \quad (36)$$

$h_1$  – высота подъема короткой фракции, м определяется по формуле (37).

$$h_1 = R_2 + \left(\frac{R_1 - R_2}{2}\right) \quad (37)$$

Разработка кинематической схемы дискового триера, выбор и расчет элементов конструкции привода по методике используемой для расчета цилиндрического триера.

Для повышения эксплуатационной надежности дисковых триеров диски изготавливают из чугуна марки СЧ 15-32 с твердостью не менее НВ 220, рабочая поверхность дисков должна быть совершенно гладкой, зазор между дисками и гранью контрольной линейки при любом ее положении не более 1,5 мм. Рабочие поверхности дисков дважды покрывают черной эмалью; после первого и второго покрытий их сушат при температуре 100° С.

Очистку зерна на триере можно считать эффективной, если из зерна будет выделено не менее 70 % примесей, количество полноценных зерен в отходах, полученных с куколеотборников, не должно превышать 2 %, с овсюгоотборников - 5 % веса отходов.

Лекция 7. -2ч

Оборудование для выделения из смеси металломагнитных примесей.

Назначение, область применения и классификация магнитных сепараторов. Принцип очистки зернопродуктов от металломагнитных примесей. Основы теории разделения в магнитном поле. Конструкция сепараторов с постоянным магнитом и электромагнитом. -1ч.

Машины для выделения примесей, отличающихся совокупностью физико-технологических свойств.

Назначение, область применения и классификация машин для разделения зерна и смесей на фракции по совокупности физико-технологических свойств.

Основы рабочего процесса фрикционного сепаратора. Конструкция и принцип действия машин, разделяющих смесь на основе различий в плотности частиц, коэффициента трения и упругости. Конструкция камнеотделительных машин. -1ч.

## **СЕПАРИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ ПО МАГНИТНЫМ СВОЙСТВАМ**

В зерне, поступающем на переработку, могут быть металломагнитные примеси, которые попадают в зерновую массу при ее уборке, транспортировании и перемещении в хранилищах. Кроме того, эти примеси могут попасть в зерно и в зерноочистительном, отделении при неудовлетворительном техническом содержании оборудования, а также при плохом санитарном состоянии производственных помещений.

Металломагнитные примеси надо обязательно выделить из зерна, так как, попадая в готовую продукцию, эти примеси могут вызвать повреждения пищеварительных органов человека. Крупные металломагнитные примеси, попадая в машины зерноочистительного и размольного отделений, могут разрушить рабочие органы машин или образовать искры, способные вызвать взрыв и пожар. Особенно опасно попадание металломагнитных примесей в вальцовые станки, обочные, щеточные и другие машины ударного действия.

Для выделения примесей на основе различия металломагнитных свойств применяют магнитные сепараторы в основном со статическими магнитами различных конструкций. Установка и обслуживание магнитов регламен-

тируются нормами в соответствии с Правилами организации и ведения технологического процесса на мельницах и Временными правилами магнитной защиты на мельницах.

Основой рабочего процесса магнитных сепараторов является различие в магнитных свойствах зерна и примесей. Для извлечения металломагнитных частиц необходимо, чтобы сила притяжения магнита, действующая на них, была не менее проекции на ее направление равнодействующей всех механических сил, испытываемых частицами.

Силу притяжения магнита  $P$  определяют по формуле

$$P = 4 \cdot 10^5 B^2 S,$$

где  $B$  — магнитная индукция, Тл;  $S$  — площадь сечения полюса,  $\text{м}^2$ .

Эффективность извлечения металломагнитных примесей зависит в основном от соотношения сил притяжения металломагнитных частиц к магнитному экрану, удерживающих их в магнитном поле, и смывающих сил потока зерна.

Эффективность выделения металломагнитных примесей определяют так же, как и эффективность работы других зерноочистительных машин, т. е. по содержанию примесей в зерне до и после очистки.

На мукомольных заводах используют сепараторы с постоянными магнитами контактного типа, т. е. очищаемое зерно непосредственно соприкасается с магнитным экраном. К ним относят три типа магнитных сепараторов: У1-БМЗ с дисковыми магнитами, У1-БМП с плоскими магнитами и У1-БММ с кольцевыми магнитами.

На рисунке 7-1 приведена технологическая схема сепаратора У1-БММ, предназначенного для выделения металломагнитных примесей из муки. Магнитная колонка — основной рабочий орган сепаратора. Она состоит из двух магнитов 3, 5, разделенных между собой диамагнитным диском 4. Для равномерного распределения муки в верхней части колонки установлен конус 2. Для удобства очистки магнитов установлены шариковые опоры, на которых вся колонка может поворачиваться.

Исходная мука / по конусу поступает в кольцевой канал сепаратора, где при помощи козырьков 7 направляется на магнитные блоки. Metalломагнитные приме си /// притягиваются к магнитам, а очищенная мука // выводится через выпускной конус 6.

Поверхность магнитных блоков очищают ежесменно, а выделенные металломагнитные примеси взвешивают и сдают в лабораторию, где ведут ее учет. Допускаемое содержание металломагнитных примесей в очищенной муке не более 3 мг/кг. Производительность магнитного сепаратора 8 т/ч (при очистке мучнистых продуктов).

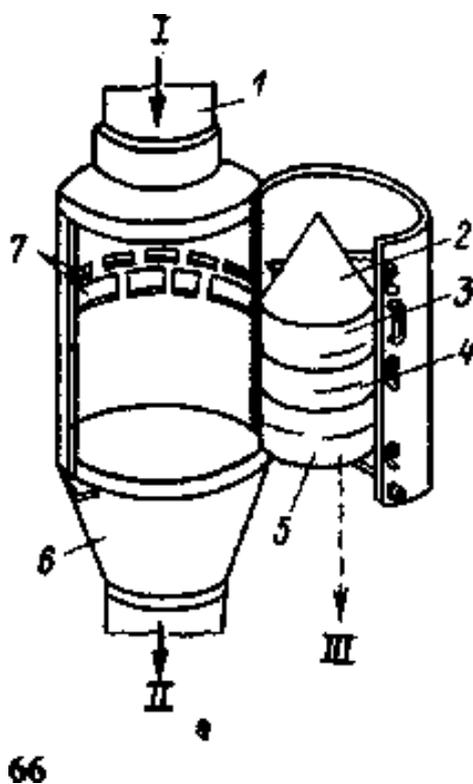


Рис. 1. Технологическая схема магнитного сепаратора У1-БММ: / — приемный патрубок; 2 — распределительный конус; 3, 5 — магниты; 4 — диаманитный диск; 6 — выпускной конус; 7 — направляющие козырьки; / — исходная мука; // — очищенная мука; /// — металломагнитные примеси

Для выделения металломагнитных примесей на пищевых предприятиях применяют магнитные колонки и электромагнитные сепараторы, где разделяющим признаком являются магнитные свойства компонентов. Силовое магнитное поле наводится постоянными магнитами или электромагнитами.

В настоящее время в магнитных колонках вместо постоянных магнитов из легированной стали, широкое распространение получили магниты из специальных сплавов, которые обладают более высокой магнитной характеристикой. Металломагнитные примеси в магнитных колонках удаляют вручную. Электромагнитные сепараторы выпускают чаще всего с неподвижной магнитной системой барабанного или ленточного исполнения.

Установка магнитных колонок на зерноперерабатывающих предприятиях регламентируется нормами в соответствии с правилами ведения технологического процесса.

На элеваторах магниты чаще всего устанавливают после пропуска зерна через воздушно-ситовые сепараторы, на мукомольных и крупяных заводах – в подготовительных отделениях, перед вальцевыми, шелушилными, шлифовальными и полировальными машинами, а также на контроле готовой продукции. На комбикормовых заводах магнитное ограждение, как правило, устанавливают перед измельчающими машинами, прессами и на контроле готовой продукции. Толщина слоя продукта не должна превышать 7 мм для мучнистых продуктов и 10 мм для зерна. На эффективность магнитной сепарации влияет равномерность распределения продукта по фронту магнитного аппарата. В необходимых случаях следует применять принудительное регулирование при помощи различных питающих устройств. Скорость  $V_{\text{п}}$  перемещения продукта, при движении в магнитном сепараторе, должна быть не более  $V_{\text{п}} = 0,5$  м/с.

Основой рабочего процесса магнитных сепараторов является различие в магнитных свойствах зерна и примесей. Для извлечения металломагнитных частиц необходимо, чтобы сила притяжения магнита, действующая на них, была не менее проекции на ее направление равнодействующей всех механических сил, испытываемых частицами.

Силу притяжения магнита  $P$  (кГ) в магнитном сепараторе определяют по формуле (1).

$$P = \left( \frac{B}{5000} \right)^2 * S \quad (1)$$

где  $B$  – магнитная индукция, гс;  $S$  – площадь сечения полюса, см<sup>2</sup>.

Эффективность извлечения металломагнитных примесей зависит в основном от соотношения сил притяжения металломагнитных частиц к магнитному экрану, удерживающих их в магнитном поле, и смывающих сил потока зерна.

Эффективность выделения металломагнитных примесей определяют также, как и эффективность работы других зерноочистительных машин, т.е. по содержанию примесей в зерне до и после очистки.

Производительность магнитного сепаратора  $Q$  (кг/ч) зависит от толщины слоя  $h$  (м), насыпной плотности  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>) и скорости транспортирования  $V$  (м/с), а также от ширины рабочей зоны  $b$  (м) магнитного экрана и определяется по формуле (2).

$$Q = b * h * V * \rho \quad (2)$$

На пищевых предприятиях используют сепараторы с постоянными магнитами контактного типа, т.е. очищаемый продукт непосредственно соприкасается с магнитным экраном.

По ГОСТ 12307-66 допускается содержание металлопримесей на 1 кг муки или крупы не более 3 мг, при этом величина отдельных частиц в наибольшем линейном размере не должна превышать 0,3 мм, а масса отдельных крупинок не более 0,4 мг.

Силу притяжения отдельных металломагнитных частиц определяем по формуле (3).

$$P_1 = \frac{G * \sin(\alpha + \varphi)}{\sin \varphi} \quad (3)$$

где  $G$  – вес отдельной частицы, кГ;  $\alpha$  - угол наклона магнитной площадки, град;  $\varphi$  - угол трения частицы по площадке, град.

Геометрические размеры магнитной колонки определяют исходя из ширины рабочей зоны магнитной площадки, угла наклона магнитной площадки и условий размещения рабочих элементов магнитной колонки.

#### Назначение и область применения машин для выделения примесей отличающиеся формой и коэффициентом трения.

Зерно, как и другие сыпучие материалы, отличается от жидкостей характером и величиной взаимодействия отдельных частиц.

Если сыпучую массу привести в движение, то различные физические свойства (плотность, размеры, форма, коэффициенты внешнего и внутреннего трения) отдельных частиц обусловят их взаимное перемещение. Это явление, называемое самосортированием сыпучей массы, наблюдается при любом ее движении, в том числе и при возвратно-поступательном и круговом поступательном движении рабочих органов машин, в которых находится зерно. Понятно, что в подобных случаях нужно рассматривать плотность как признак, характеризующий особенности отдельных зерен.

В зерновой массе наряду с другими встречаются примеси, отличающиеся от зерен основной культуры главным образом коэффициентом трения, формой и состоянием своей поверхности, которая может быть гладкой, шероховатой, бугорчатой или с бороздками.

Следует учесть, что коэффициенты трения скольжения зависят от: а) физических свойств трущихся тел; б) продолжительности статического контакта трущихся тел: чем продолжительнее контакт, тем больше величина коэффициента трения; в) степени шероховатости контактирующих поверхностей и кинематического состояния трущихся тел (в покое или в движении).

Для выделения указанных выше примесей используют машины, в которых также отделяют зерна пшеницы, зараженные головней и спорыньей, больные зерна гороха от здоровых и семена клевера, люцерны и льна от повилики,

горчака, плевела. Эти машины пригодны и для выделения из отходов, полученных в триерах, полноценных частиц в виде дробленых и мелких зерен основной культуры.

### Классификация машин

Ниже приведена классификация машин для выделения примесей, отличающихся от зерен основной культуры совокупностью различных свойств.

Машины для выделения примесей, отличающихся от зерен основной культуры				
Плотностью	Формой и коэффициентом трения	Плотностью и аэродинамическими свойствами	Плотностью и коэффициентом трения	Состоянием поверхности
Гидравлические машины	Фрикционные и спиральные сепараторы	Пневматические сортирующие машины	Камнеотделительные машины	Электромагнитные сепараторы

Гидравлические машины будем рассматривать позднее. Электромагнитные сепараторы для выделения примесей, отличающихся состоянием поверхности и широко распространенные для очистки семян в сельском хозяйстве, не применяются в промышленности по хранению зерна.

Спиральные сепараторы в этой промышленности применяются редко, лишь для контроля отходов. По указанным причинам спиральные и электромагнитные сепараторы в книге не рассматриваются.

#### Фрикционные сепараторы (фрикционные устройства)

На рисунке 2,а показана неподвижная наклонная плоскость, которую используют в качестве фрикционного устройства для выделения примесей, отличающихся коэффициентами трения и формой.

В этих устройствах движение каждой частицы состоит из двух периодов, совпадающих во времени с соответствующими стадиями сепарационного

процесса: с наложенными связями — до точки выброса А и свободного полета по параболам АС и АВ — после нее.

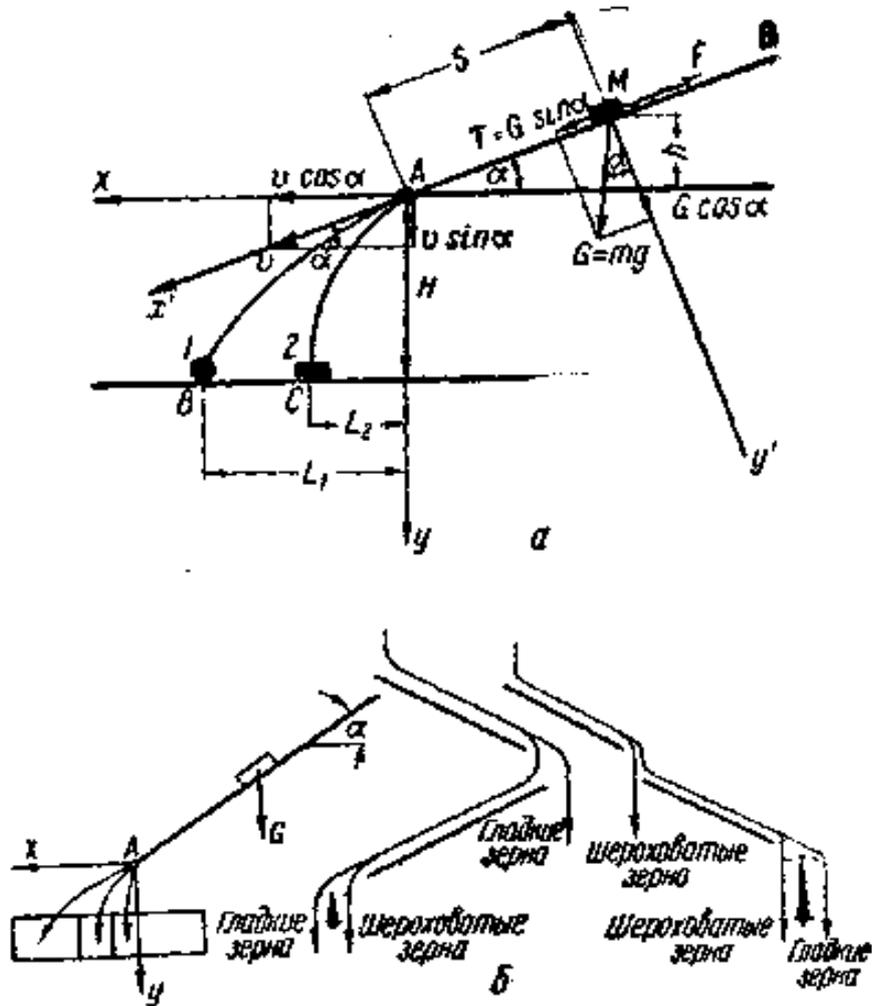


Рис. 2. Неподвижная наклонная плоскость, применяемая как фрикционное устройство для разделения сыпучей массы по коэффициентам трения: а — действие сил на частицу; б — схема разделения сыпучей массы.

Теория подобных устройств базируется на известной взаимосвязи между силами  $m_1 \cdot g$  и  $m_2 \cdot g$  и коэффициентами  $f_1$  и  $f_2$  внешнего трения частиц, скользящих под действием сил тяжести  $m_1 \cdot g$  и  $m_2 \cdot g$  вдоль неподвижной поверхности, наклоненной под углом  $\alpha$  к горизонту:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{f_1 \cdot m_1 \cdot g \cdot \cos \alpha}{f_2 \cdot m_2 \cdot g \cdot \cos \alpha} = \frac{f_1 m_1}{f_2 m_2} = \frac{f_1 \cdot D_1 \cdot V_1}{f_2 \cdot D_2 \cdot V_2} \quad (4)$$

где:  $D_1, D_2$  — плотность частиц;  $V_1, V_2$  — объем частиц.

При  $m_1 = m_2 = m$  и  $f_2 > f_1$  частица 2 окажется в точке С, частица 1 — в точке В.

Для определения скорости перемещения частицы в первом периоде ее движения напишем дифференциальное уравнение ее движения, которое без учета сопротивления воздуха имеет следующий вид:

$$m * \frac{dv}{dt_1} = N - F \quad (5)$$

где:  $t_1$  — время движения частицы по наклонной плоскости в интервале от точки приема до точки выброса. Из этого уравнения

$$\frac{G}{g} * \frac{dv}{dt} = T - F \quad (6)$$

Следовательно,

$$dv = g * (\sin \alpha - f * \cos \alpha) * dt_1 \quad (7)$$

Таким образом,

$$v = g * t_1 * (\sin \alpha - f * \cos \alpha) + C \quad (8)$$

При  $t_1 = 0$ ;  $v = v_0 = C$ ;  $v_0$  — начальная скорость частицы в несвободном периоде ее движения или в первой подготовительной стадии сепарационного процесса.

Таким образом,

$$v = g * t_1 * (\sin \alpha - f \cos \alpha) = g t_1 (\sin \alpha - tg \varphi * \cos \alpha) = g * t_1 * \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \quad (9)$$

Как известно,

$$v = \frac{ds}{dt_1} = g t_1 * \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \quad (10)$$

откуда:

$$S = \frac{g * t_1^2}{2} * \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} + C_2$$

При  $t_1=0$ ,  $S=0$ ,  $C_2=0$ ,

поэтому

$$S = \frac{g * t_1^2}{2} * \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \quad (11)$$

Из уравнения 11

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 * S}{g} * \frac{\cos \varphi}{\sin(\alpha - \varphi)}} \quad (12)$$

Если задача первого периода движения частиц (первой стадии процесса) состоит в создании условий для их выброса в точке А с различными скоростями движения, то задача второго периода (второй стадии процесса) — в их разделении, что и выполняется в течение свободного движения частиц по параболам различной кривизны.

В общей форме для второй стадии процесса можно записать, что

$$L = v * t_2 \cos \alpha \quad (13)$$

и

$$H = v * t_2 * \sin \alpha + \frac{gt^2}{2} \quad (14)$$

где:  $t_2$  — время свободного падения. Из уравнения 14

$$t_2 = \frac{\sqrt{2gH + v^2 * \sin^2 \alpha} - v * \sin \alpha}{g} \quad (15)$$

тогда

$$L = v * \cos \alpha * \frac{\sqrt{2gH + v^2 * \sin^2 \alpha} - v * \sin \alpha}{g} \quad (16)$$

При наличии в сепарируемом материале частиц с коэффициентами трения  $f_1$  и  $f_2$  для одной частицы можно записать:

$$L_1 = v_1 * \cos \alpha * \frac{\sqrt{2gH_1 + v_1^2 * \sin^2 \alpha} - v_1 * \sin \alpha}{g} \quad (17)$$

а для другой частицы:

$$L_2 = v_2 * \cos \alpha * \frac{\sqrt{2gH_2 + v_2^2 * \sin^2 \alpha} - v_2 * \sin \alpha}{g} \quad (18)$$

Таким образом, используя неподвижную наклонную плоскость как фрикционное устройство, можно разделить смесь на отдельные фракции, отличающиеся между собой коэффициентами трения и формой частиц.

На этом принципе основана работа фрикционных сепараторов с неподвижными наклонными поверхностями (2,б) и спиральные сепараторы.

На рисунке 3 показана схема движения ленты, натянутой на два горизонтально расположенных барабана. Если на такую ленту, движущуюся с определенной скоростью снизу вверх, направить смесь, то полноценные, с гладкой поверхностью зерна покатятся вниз, а плоские, щуплые, битые, шероховатые и другие подобные им зерна переместятся вверх.

Для регулирования процесса разделения смеси в машине предусмотрены механизмы, при помощи которых изменяют угол наклона и линейную скорость ленты.

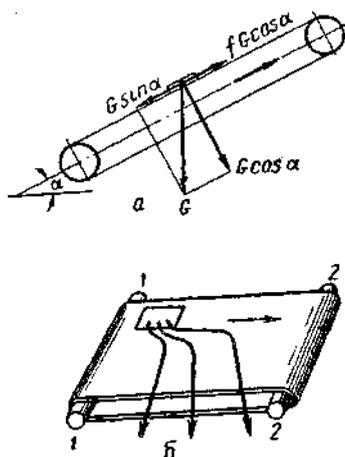


Рис. 3. Схемы ленточных фрикционных сепараторов:

а — движение ленты, натянутой на два горизонтально расположенных барабана; б — движение ленты, натянутой на два наклонных барабана.

Производительность машины можно определить по формуле:

$$Q = 3,6 \cdot 10^{-3} B \cdot v \cdot z \cdot q \cdot k \text{ кг/ч,}$$

где  $B$  — ширина ленты в м;

$v$  — скорость ленты в м/сек:

$z$  — количество зерен, укладываемых в один слой на  $1 \text{ м}^2$  полотна;

$q$  — вес 1000 зерен в Г;

$k$  — коэффициент загрузки полотна, принимаемый равным  $0,1 — 0,15$ .

Производительность машины колеблется в широких пределах в зависимости от свойств исходного материала.

На рисунке 3, б показана схема движения ленты, натянутой на два наклонно расположенных барабана 1-1 и 2-2. Гладкие либо шаровидные зерна будут падать с ленты ближе, чем шероховатые либо плоские примеси.

Машины, работающие по схеме 3, а, лучше очищают смесь, но менее производительны; они могут делить зерно только на две части — очищенное и отходы, поэтому их применяют главным образом для окончательной, контрольной очистки.

Машины, работающие по схеме 3, б, делят зерно по качеству на несколько сортов. Их применяют для очистки гороха и других культур. На этих машинах удается также очищать горох от половинок и больных зерен, что является очень трудоемкой операцией. Вполне удовлетворительных результатов достигают при двукратном пропуске зерна через эти машины.

Для очистки гороха применяют так называемую «горку» (рис. 4).

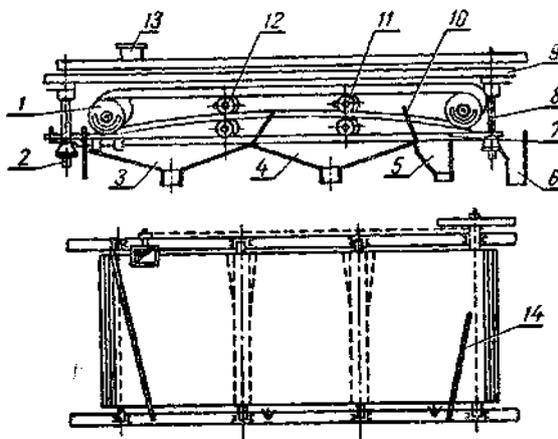


Рис. 4. Фрикционный ленточный сепаратор для очистки гороха от примесей.

В деревянной или металлической станине 9 на четырех болтах 8 и 2 подвешена металлическая рама 7, на которой установлены два барабана 1 и по две пары роликов 12. На верхних роликах имеются четыре радиальные пластинки 11, расположенные одна против другой. Они доходят только до середины длины роликов. На барабаны и ролики натянута прорезиненная лента.

При помощи четырех винтовых механизмов можно установить ленту в продольном и поперечном направлениях под углом к горизонтальной плоскости. В том и другом направлениях угол наклона обыкновенно колеблется от 3 до 5°. Чтобы лента не сползала с наклонных барабанов, их обшивают резиной либо кожей.

Зерновая смесь из приемного ковша 13, в котором имеется питатель, поступает на ленту. Так как она наклонена под некоторым углом к горизонтальной плоскости и непрерывно движется, горох скатывается в ковш 3. Здесь собирают лучшие по качеству зерна. Сморщенные, незрелые, изъеденные зерна с шероховатой или поврежденной поверхностью скатываются с меньшей скоростью и попадают в ковши 4 и 5, где собирают продукты второго и третьего сортов. Прилипшие к ленте частицы снимаются скребком 14. Камни, остатки стеблей и другие примеси попадают в ковш 6. Процесс разделения регулируют поворотными клапанами 10.

До направления зерна на «горки» его необходимо направлять в воздушно-ситовые сепараторы для выделения примесей, отличающихся от основной культуры геометрическими и аэродинамическими свойствами.

Фрикционные сепараторы изготавливают с одной, двумя и тремя лентами в одной станине. Для обработки гороха применяют ленты из специального прорезиненного полотна.

### Пневматические сортирующие машины

Основными рабочими органами пневматической машины для очистки зерна от тяжелых минеральных примесей (рис. 5) являются: дека 12, наклоненная к горизонту под определенным углом; вентилятор 10, подающий воздух снизу под деку; вентилятор 11, создающий разрежение в верхних слоях продукта.

Верхняя часть деки покрыта проволочной сеткой 8 (семь отверстий на 1 см, толщина проволоки 0,9 мм]. В нижней части деки помещена распределительная решетка 7 с отверстиями, у которых имеются наклонные козырьки. Поэтому струйки воздуха получают направление, наклонное к поверхности сетки 8.

Дека опирается на наклонные пружины 5 и получает колебания с амплитудой 1,5—2 мм от инерционного колебателя 6. Вентилятор 10 засасывает воздух через фильтр 3. Воздушный режим регулируется заслонкой при помощи винта 4.

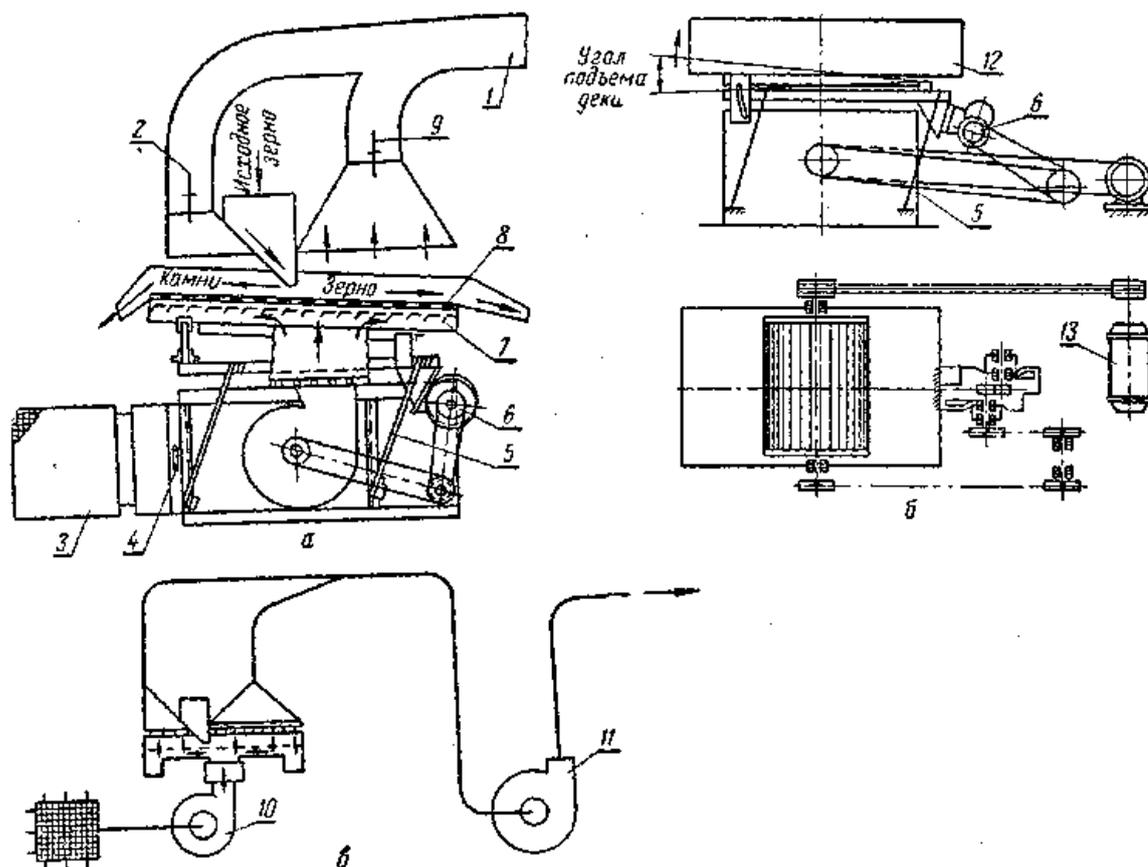


Рис. 5. Пневматическая сортирующая машина для очистки зерна от минеральных примесей:

а — технологическая схема; б — кинематическая схема; в — аэродинамическая схема.

Вентилятор соединен с машиной воздухопроводом 1, в котором имеются клапаны 2 и 9 для регулирования воздушного режима. Нижний вентилятор и инерционный колебатель получают движение от электродвигателя 13.

Распределительная решетка изготовлена из листовой стали с отверстиями 30X18 мм, расположенными в шахматном порядке.

Под каждым отверстием имеется отогнутый козырек. Угол наклона козырьков изменяется от 20 до 90° (0,35—1,57 рад) в направлении от схода

зерна к сходу минеральной примеси, чем достигается соответствующее изменение живого сечения отверстия и равномерное распределение воздушного потока по всей длине решетки.

Зерновая масса расслаивается и разрыхляется под действием восходящего воздушного потока, пронизывающего ее. При этом минеральная примесь, как более тяжелая, остается на поверхности сита. Зерно и легкие примеси поднимаются струйками воздуха наклонно по отношению к поверхности сита и опускаются под действием силы тяжести, передвигаясь вправо. Минеральная примесь под действием сил инерции, возникающих при колебаниях деки, перемещается по поверхности сита влево.

Таким образом, воздушный поток в условиях колебательных движений деки при определенном угле наклона ее обуславливает одно направление движения зерна, а силы инерции при тех же условиях определяют другое, противоположное зерну направление движения минеральной примеси.

При увеличении количества воздуха выше оптимального в слое зерна возникает усиленное псевдооживление (минеральные примеси также отделяются от сита), что неблагоприятно отражается на расслоении зерновой массы и тем самым влияет на эффект очистки.

Чрезмерное увеличение угла наклона деки также снижает эффект очистки, так как касательная составляющая силы тяжести минеральных примесей значительно увеличивается, вследствие чего последние не могут перемещаться вверх и направляются вниз вместе с зерном.

Испытания машины в производственных условиях показали, что ее целесообразно устанавливать только после воздушно-ситовых сепараторов, на которых зерно предварительно очищается.

Производительность машины 15—16 т/ч, при этом коэффициент очистки 90—96%.

Технологический процесс в этой машине регулируют изменением объема воздуха, подаваемого нижним вентилятором, подбором оптимальной толщины

слоя исходной зерновой массы и установкой деки под определенным углом к горизонту.

На рисунке 6 показана пневматическая машина для разделения на фракции сыпучей массы, состоящей из частиц, различных по удельному весу и аэродинамическим свойствам.

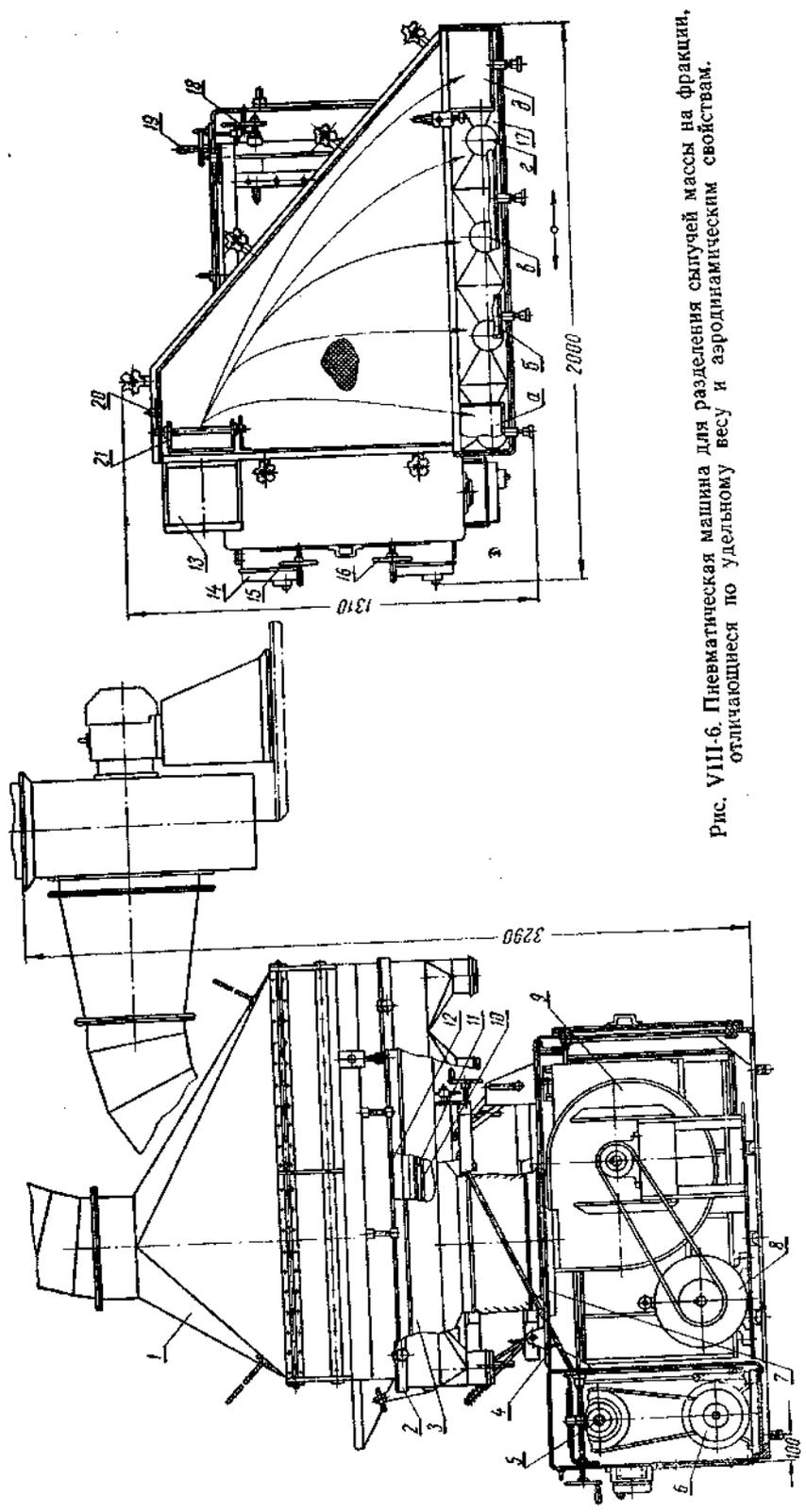


Рис. VIII-6. Пневматическая машина для разделения сыпучей массы на фракции, отличающиеся по удельному весу и аэродинамическим свойствам.

Машина состоит из трех основных частей: станины 7, ситового корпуса 3 и зонта 1.

В станине расположены: вентилятор 9, приводимый в движение электродвигателем 8; приводной вал 5 с двумя эксцентриками, приводимый в движение электродвигателем 6, снабженным дисковым вариатором для регулирования числа оборотов вентилятора.

Количество подаваемого воздуха регулируют винтовыми механизмами 15 и 16.

Продольный наклон ситового корпуса регулируют винтовым механизмом 19.

Рама снабжена -винтовым механизмом 18 для придания ситовому корпусу поперечного наклона. Такое устройство позволяет легко регулировать продольный наклон ситового корпуса на  $10^\circ$  и поперечный на  $6^\circ$  к горизонту.

В ситовом корпусе расположены три сита: нижнее 10, среднее 11 и верхнее (рабочее) 12. Сита прикреплены к корпусу посредством винтовых устройств 2. Верхнее сито сменное.

К углу корпуса приварено приемное устройство 13 с секторной заслонкой 21, приводимой в движение посредством винта 20.

К продольной стенке корпуса прикреплено выпускное устройство 17 с пятью выпускными отверстиями.

Верхнее отверстие вентилятора 9 соединено с ситовыми корпусами посредством гибкого рукава.

Эксцентрики выполнены в виде двух концентрических втулок, и величина эксцентриситета может меняться в зависимости от их расположения по отношению друг к другу. Они соединены с ситовыми корпусами шатунами 4. Верхний вентилятор служит для аспирации машины. К наружной поверхности корпуса прикреплены автоматические выключатели 14 для пуска и остановки электродвигателей машины.

Поступающий на верхнее сито продукт вследствие колебаний и наклона сита в двух плоскостях распределяется по его поверхности.

Поступающий же под сита воздух поддерживает материал во взвешенном состоянии. Более тяжелые частицы приходят раньше в соприкосновение с

ситом, чем легкие, и, скатываясь вниз, попадают в выпускные отверстия а и б, более близкие к приемному лотку, чем отверстия в, г, д.

Машины, сортирующие смесь на фракции по удельному весу и коэффициенту трения (камнеотборочные машины).

Разделение компонентов сыпучих смесей в условиях аэрации восходящим потоком воздуха в сочетании с колебаниями сортирующей поверхности называют вибропневматическим сепарированием. Разделять компоненты можно без просеивания и с просеиванием. Процесс первого типа реализован в камнеотделительных машинах, второго — в концентраторах.

Камнеотделительные машины предназначены для выделения из зерна минеральных примесей: мелких камней, кусочков земли, руды, стекла и т. п. В сепараторах их не удастся отделить, поскольку они по размерам сходны с зерном, а по аэродинамическим свойствам (скорость витания выше, чем у зерна) эти примеси не могут быть выделены в пневмосепарирующих каналах. По Правилам в зерне, передаваемом из подготовительного отделения в размольное, минеральных примесей не должно быть, поскольку даже их незначительное присутствие в готовой продукции вызывает ощущение хруста при разжевывании. Наиболее эффективна операция очистки в вибропневматических камнеотделительных машинах.

Вибропневматический способ разделения зерновой смеси заключается в сочетании процессов разрыхления зернового слоя до состояния псевдооживления, самосортирования частиц зерновой смеси по плотности и послойного транспортирования компонентов с разными скоростями или по различным направлениям.

Процесс выделения из зерна минеральных примесей на рабочем органе — наклонной сортирующей поверхности (деке) в условиях восходящего воздушного потока (без просеивания) можно рассматривать следующим образом. При совместном воздействии вибраций сортирующей поверхности и потока воздуха происходит разрыхление слоя зерна, при этом снижается

коэффициент внутреннего трения и зерновая смесь переходит в состояние псевдооживления. В таком слое создаются условия для эффективного самосортирования разнородных компонентов: тяжелые частицы опускаются в нижние слои, достигая сортирующей поверхности, а частицы с меньшей плотностью стремятся в верхние слои. В расслоенной смеси происходит процесс вибрационного перемещения разнородных компонентов в противоположных направлениях.

Транспортирование вверх создается в результате определенного сочетания кинематических параметров, угла наклона, коэффициента трения сортирующей поверхности и нагрузки. При отсутствии воздушного потока все компоненты смеси движутся вверх по сортирующей поверхности. При наличии аэрирующего воздействия воздуха псевдооживленный слой зерна, практически не подверженный транспортирующему воздействию деки, «течет», как жидкость, под уклон и разгружается в нижней части деки.

Тяжелые минеральные частицы, находящиеся в нижнем слое и имеющие наибольшее сцепление с шероховатой сортирующей поверхностью, транспортируются вверх против наклона деки и выводятся через верхнюю суженную ее часть.

На эффективность и производительность камнеотделительных машин вибропневматического принципа действия оказывают существенное влияние частота, амплитуда и направление колебаний, скорость воздушного потока, угол наклона деки и коэффициент трения ее поверхности, различие в плотности зерна и минеральных примесей, нагрузка и влажность зерна.

Рабочий процесс в камнеотделительных машинах типа РЗ-БКТ происходит следующим образом (рис. 7). Исходное зерно / из приемного устройства 1 попадает на сетчатую поверхность распределителя 2, продуваемую воздухом, и двумя равными потоками поступает на деку 3.

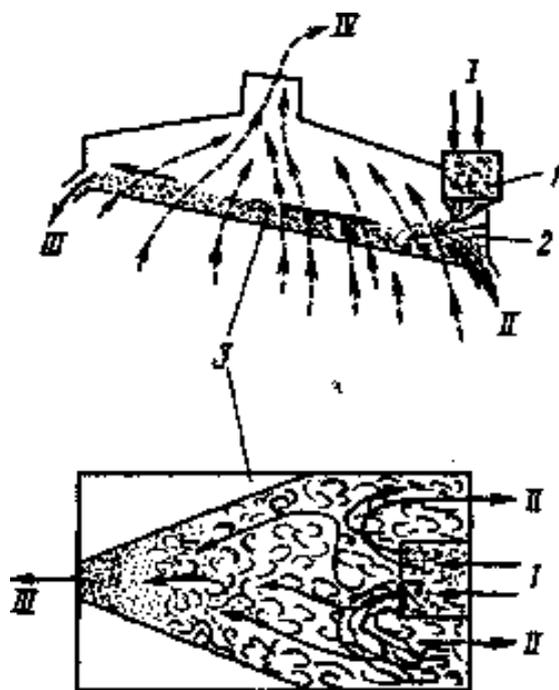


Рис. 7-7. Схема разделения зерна и минеральных примесей: / — приемное устройство; 2 — распределитель; 3 — дека; / — исходное зерно; // — очищенное зерно; /// — минеральные примеси; IV — воздух с легкими примесями

На деке осуществляется процесс разделения зерна и минеральных примесей по схеме, описанной выше. В результате минеральные примеси /// транспортируются в верхнюю часть деки и выводятся из машины, а очищенное зерно // «течет» в нижнюю часть и выводится с противоположной стороны.

Легкие примеси уносятся воздухом IV через вытяжное устройство и отделяются в фильтре.

Рабочий процесс имеет несколько регулируемых параметров: нагрузка, амплитуда, направление колебаний, расход воздуха, угол наклона деки и выходное сечение для выпуска минеральных примесей. Для регулирования параметров предусмотрены и соответствующие указатели установленных значений.

При соблюдении всех кинематических и аэродинамических параметров за один пропуск обеспечивается практически полное выделение минеральных примесей (при минимальном содержании в них зерна основной культуры). Необходимое условие нормальной работы камнеотделительной машины РЗ-

БКТ — четкое соблюдение требований монтажа и эксплуатации. В частности, необходимо строго следить за креплением станины, углом наклона деки (сортирующей поверхности) к горизонту, а также за величиной гидравлического сопротивления. Рекомендуемый расход воздуха должен составлять 75 м<sup>3</sup>/мин.

Величина отсоса воздуха в значительной мере оказывает влияние на эффективность выделения примесей. Поэтому должны быть созданы такие условия работы аспирационной установки, чтобы во время работы машины воздушный режим не изменялся. Для этого необходимо направлять в камнеотделительную машину зерно, прошедшее очистку в воздушно-ситовом сепараторе и не содержащее крупных, а также пылевидных примесей. В аспирационную сеть, обслуживающую камнеотделительные машины, не рекомендуется включать другое оборудование с переменным режимом отсоса воздуха и с большим выделением пылевидных частиц. Необходимо также создать условия, обеспечивающие постоянство подачи зерна в машину.

Выпускают две модификации камнеотделительных машин: РЗ-БКТ-100 и РЗ-БКТ-150, различающиеся производительностью— 9 и 12 т/ч. Эффективность выделения минеральных примесей достигает 98...99%.

В концентраторах типа А1-БЗК также используют вибропневматический способ разделения зерновой смеси по плотности ее составных компонентов. В результате отделяются низконатурные (в том числе овсюг), малоценные компоненты зерна и легкие примеси. Устанавливают концентратор после камнеотделительных машин. Основной рабочий орган — сита, совершающие колебательные движения в горизонтальной плоскости.

При движении зерновой массы по ситам в условиях аэрации восходящим воздушным потоком происходят интенсивное разрыхление и самосортирование разнородных компонентов смеси. В результате зерно и примеси одинаковой крупности и различной плотности концентрируются в разных слоях: тяжелые примеси опускаются вниз к ситам, а легкие всплывают на поверхность зерна. Последовательное просеивание расслоенной зерновой смеси через сита с

различными размерами отверстий позволяет выделить не только мелкие и низконатурные примеси, но и разделить очищенное зерно по плотности для последующей раздельной очистки. Учитывая, что во фракцию низконатурных примесей попадает практически весь овсюг, концентратор успешно выполняет функции триера-овсюгоотборника.

Эффективность разделения зерновой смеси зависит от ряда факторов, среди которых наиболее важны скорость зерновой смеси вдоль сита и кинематические параметры вибрации сит. Скорость  $v_3$  зерновой смеси вдоль колеблющегося сита существенно зависит от скорости воздуха  $v_B$ , проходящего через сито и слой зерна:

$$v_3 = 0,034 + 0,13v_B^{1,66}. \quad (19)$$

При увеличении  $v_B$  до 1,3 м/с величина  $v_3$  быстро возрастает от 0,03 до 0,24 м/с, затем ее рост замедляется и, достигнув значения 0,252 м/с, практически прекращается при скорости воздуха более 1,6 м/с.

Скорость воздуха  $v_B$ , проходящего через сито и слой зерна, характеризуется удельной величиной, определяемой по выражению

$$V_B = Q_B / F_C \quad (20)$$

где  $Q_B$  — расход воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $F_C$  — площадь поверхности сита, через которую проходит воздушный поток, м<sup>2</sup>.

В концентраторах типа А1-БЗК скорость воздуха  $v_B$  колеблется от 1,2 до 1,8 м/с в зависимости от обрабатываемой культуры. Выпускают две модификации концентраторов: А1-БЗК-9 и А1-БЗК-18, отличающиеся производительностью — 6 и 12 т/ч. Технологический процесс в концентраторе типа А1-БЗК (рис. 7-8) осуществляется следующим образом. Исходное зерно / через приемный патрубок и приемное устройство равномерным слоем поступает на первую ситовую раму 1 с отверстием 0 2 мм. Вследствие направленных колебаний корпуса и аэрации происходит расслоение зерновой массы при движении по первой раме: тяжелая фракция концентрируется в нижней части

слоя, а легкая — в верхней. Тяжелая фракция по сравнению с легкой отличается большей объемной массой и массой 1000 зерен. На первой ситовой раме проходом через сито отделяются мелкие примеси *V*.

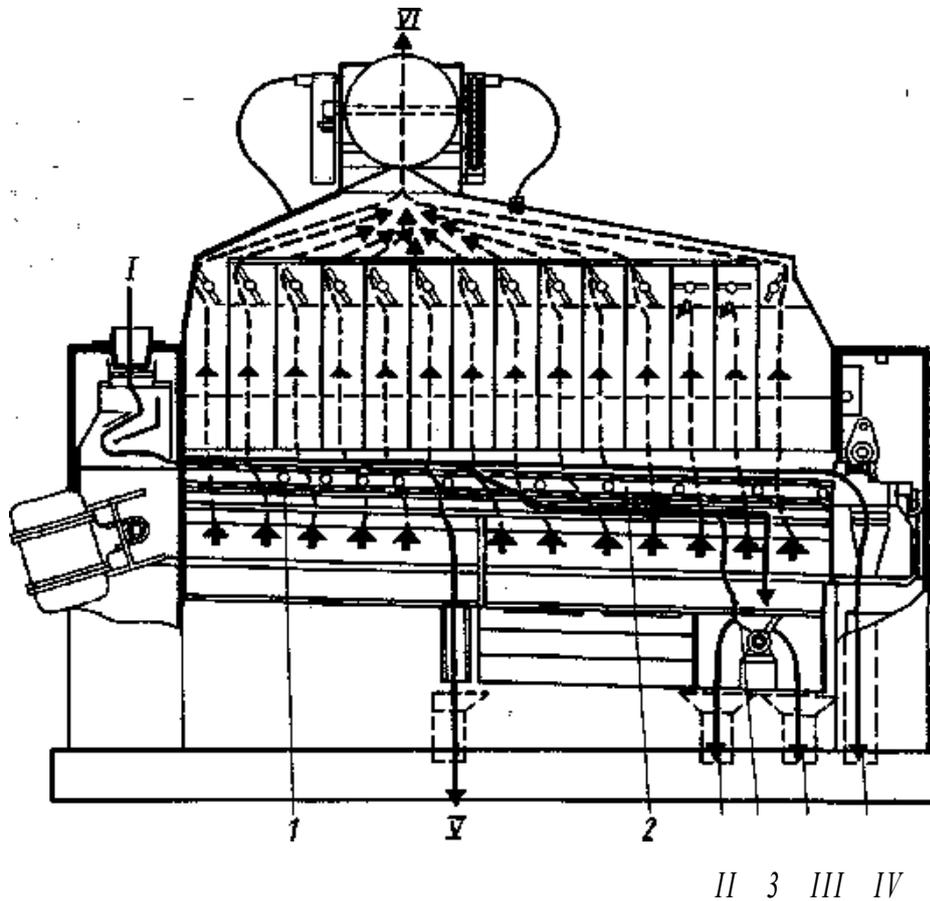


Рис. 7-8. Технологическая схема концентратора типа А1-БЗК: *1, 2* — ситовые рамы; *3* — регулировочный клапан; *I* — исходное зерно; *II* — тяжелая фракция зерна; *III* — легкая фракция зерна; *IV* — трудноотделимые примеси; *V* — мелкие примеси; *VI* — легкие примеси

При движении зерна по второй ситовой раме *2* с отверстиями 0,9 мм просеивается сначала тяжелая фракция зерна *II* из нижнего слоя, а затем более легкая фракция *III*.

Устанавливая сита с соответствующими размерами круглых отверстий, можно регулировать количество тяжелой фракции зерна, которая практически не содержит длинных посторонних примесей и может быть направлена

непосредственно на обработку в куколеотборочную машину. Выход этой фракции составляет примерно 65...70 %.

В средних слоях псевдоожиженной зерновой массы концентрируются зерна, имеющие меньшую плотность, а также проросшие, изъеденные, поврежденные сушкой. Эта легкая фракция зерновой массы должна быть направлена в обоечную машину для интенсивной очистки поверхности. Количество ее составляет 30...35 %. Соотношение тяжелой и легкой фракций зерна может быть отрегулировано клапаном 3. После обработки легкой фракции зерна в обоечной машине, выделения примесей и продуктов шелушения в пневмосепарирующем канале обе фракции зерна, полученные в результате обработки в концентраторе, объединяют и направляют в куколеотборочную машину, а затем в машины гидротермической обработки. Сходом с сит идут отходы — трудноотделимые низконатурные примеси *IV*. Сходовая фракция содержит в основном овсюг, ячмень, семена сорных растений, зерна основной культуры с пустотами, поврежденные, изъеденные и другие посторонние примеси, отличающиеся по плотности от основного зерна.

Отходы, выделенные проходом первой ситовой рамы и сходом со второй рамы, объединяют и направляют для обработки. Воздух с легкими примесями *VI* поступает в систему аспирации. Легкую фракцию подают в обоечную машину, после которой ее объединяют с тяжелой и направляют в куколеотборочную машину.

Эффективность работы концентратора зависит от равномерности подачи и распределения зерна по ситам, настройки аспирационного режима, а также от кинематических параметров движения сит.

Важным условием высокоэффективной работы концентратора является соблюдение кинематических и нагрузочных параметров, а также количества отсасываемого воздуха. Количество отсасываемого воздуха от концентратора А1-БЗК-9 должно составлять 70...80 м<sup>3</sup>/мин, аэродинамическое сопротивление машины — 1,8...2,0 кПа.

Режим работы концентратора настраивают с учетом показателей качества перерабатываемой партии зерна. Особое внимание обращают на поддержание стабильности нагрузки и устранение вредных присосов воздуха, что может существенно изменить режим псевдооживления зернового слоя, движущегося по ситам, и привести к резкому снижению эффективности выделения примесей. При уменьшении величины подачи зерна в концентратор на последнем участке ситовой поверхности сходовая фракция, содержащая в основном посторонние примеси, может попасть во фракцию зерна, направляемого в обочную машину.

Положительной особенностью концентратора является совмещение технологических операций эффективной очистки от мелких и низконатурных примесей с делением зерна на две фракции по плотности. Это позволяет проводить последующую раздельную их обработку.

Лекция 8. -2ч.

Технологическое оборудование для подготовки зерна к переработке.

Машины для обработки покрова зерна сухим способом. Назначение, область применения и классификация машин. Машины с абразивным и металлическим цилиндром для предприятий, оснащенных механическим и пневматическим транспортом.

Основные сведения для расчета и конструирования обоечных машин. Назначение и область применения щеточных машин.

Машины для сухой обработки поверхности зерна.

Общие положения.

Для обработки покрова зерновых культур служат обоечные и щеточные машины.

Обоечные машины применяют в мукомольном, крупяном и комбикормовом производствах для сухой очистки поверхности зерновок пшеницы и ржи от пыли, частичного отделения плодовых оболочек и зародыша, а также шелушения овса и ячменя. Обоечные машины иногда применяют и на элеваторах для обламывания остей овса и риса, что необходимо для облегчения последующей разгрузки силосов.

Для очистки поверхности и бороздки зерна от пыли и снятия надорванных оболочек, образующихся после пропуска через обоечные машины, применяют щеточные машины.

В обоечных машинах применяют ударно-истирающий принцип действия. Такой принцип действия, как правило, реализуют в машинах с бичевым ротором, вращающимся в неподвижной цилиндрической обечайке.

Обоечные машины конструктивно выполнены с вертикальным или горизонтальным рабочим органом, а цилиндрическую обечайку в зависимости от технологического назначения изготавливают из абразивного материала, стали или металлотканой сетки. Для отбора легкой фракции в обоечных машинах предусматривается пневмосепарирование.

На рисунке 8-1, а представлена принципиальная схема обоечной машины, применяемой на мельницах с механическим транспортом зерна. Зерно поступает через патрубок 1. Вращающиеся бичи 2 подхватывают зерно и от-

брасывают его на внутреннюю поверхность цилиндра 5. Внутренняя часть машины аспирируется через сетку 4.

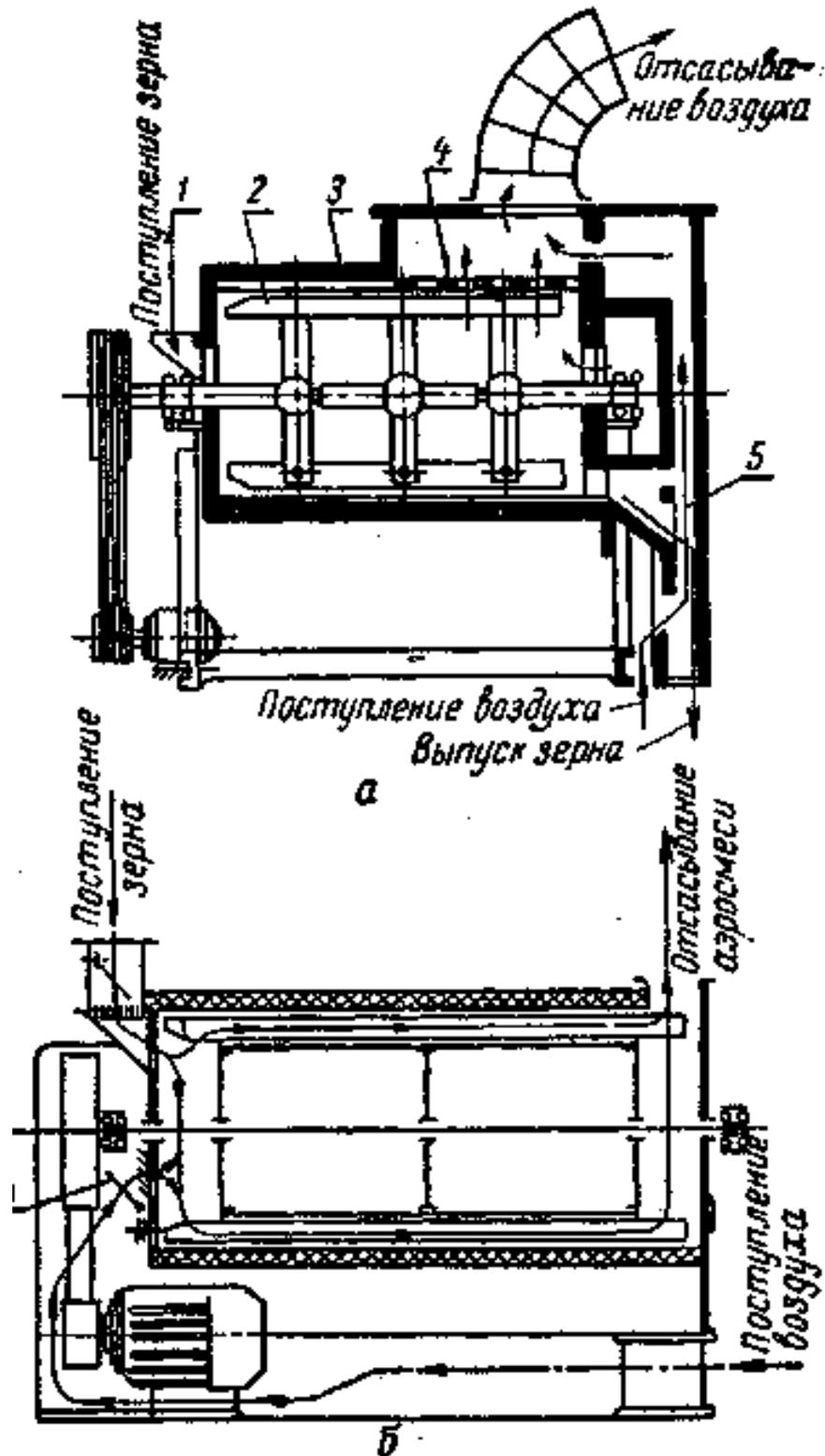


Рис. 8-1. Принцип действия обочных машин:  
 а — на мельницах с механическим транспортом; б — на мельницах с пневматическим транспортом.

Скорость зерновок и бичей не совпадает, поэтому зерновки подвергаются удару бичей и затем ударяются об абразивную поверхность. Являясь упруго-вязким телом, зерновка, отражаясь от абразивной поверхности, вновь поступает в соприкосновение с бичами, и после многократных ударов поверхность ее очищается.

При выходе из машины обработанное зерно подвергается пневматическому сепарированию восходящим воздушным потоком, движущимся в канале 5.

На рисунке 8-1,б показана принципиальная схема работы обоечной машины, применяемой на мельницах с пневматическим транспортом зерна. Воздух уносит с собой зерно вместе с частицами, отделенными в машине.

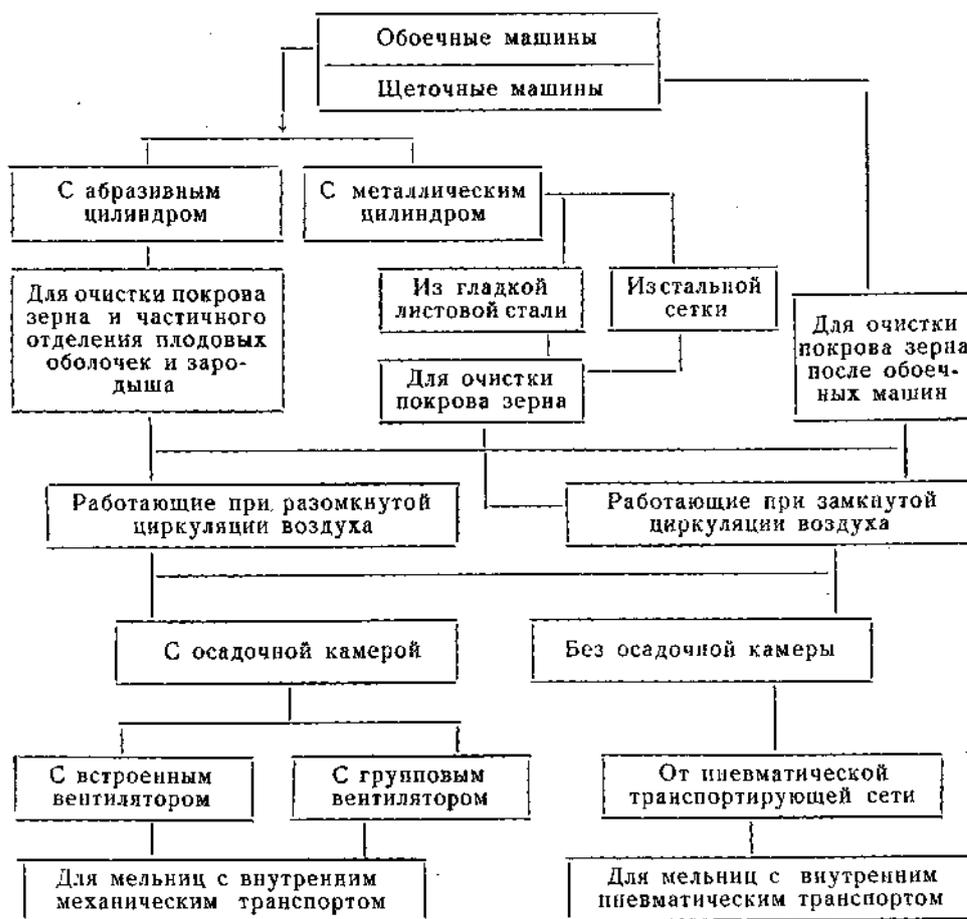
Очищенное зерно выделяется в пневматическом сепараторе-разгрузителе. Скорость движения воздуха в каналах регулируют клапаном А.

Обоечные и щеточные машины устанавливают на мельницах последовательно и через них пропускают зерно, предварительно очищенное от посторонних примесей.

О технологическом эффекте работы обоечных машин можно судить по величине снижения зольности зерновок, одновременно проверяя, насколько увеличивается количество разрушенных зерен.

### Классификация обоечных и щеточных машин

Ниже приведена классификация машин.



### Нормы эффективности обработки зерна пшеницы в обоечных машинах.

Показатель	Обоечная машина с цилиндром	
	абразивным	сетчатым
Снижение зольности (не менее), %	0,03...0,05	0,02
Увеличение количества битых зерен (не более), %	1...2	1
Содержание нормального зерна в отходах (не более), %	2	1

К основным факторам, влияющим на эффективность обработки зерна в обоечной машине, следует отнести: окружную скорость бичевого ротора; нагрузку; расстояние между кромкой бичей и цилиндром; характер и состояние

поверхности обечайки; деформативные и прочностные свойства; прочность связей оболочек с эндоспермом; влажность зерна.

Окружную скорость бичевого ротора следует выбирать в зависимости от обрабатываемой культуры. Например, для ржи, обладающей более вязкой структурой, чем пшеница, скорость должна быть 15...18 м/с, для мягкой пшеницы — 13...15, для твердой, более хрупкой пшеницы— 10...11 м/с. При уменьшении рабочего зазора интенсивность воздействия увеличивается, так как возрастает сила удара и взаимного трения.

Удельная нагрузка зависит от особенностей обрабатываемой культуры, от режима работы обочной машины, типа бичевого ротора и материала цилиндрической обечайки. Рекомендуются следующие удельные нагрузки при обработке пшеницы [кг/(м<sup>2</sup>-ч)]:

в вертикальных обочных машинах с металлотканой поверхностью 1500...3000;

в горизонтальных обочных машинах с металлотканой поверхностью 5000...8000;

в горизонтальных обочных машинах с абразивным цилиндром 1000...1200.

Для нормальной работы обочных машин необходимо соблюсти следующие условия:

-Камеры, примыкающие к ним аспирационные трубы, клапаны и крышки лючков должны иметь плотные соединения, не допускающие присоса воздуха или выделения пыли наружу.

-Подача зерна в машину — равномерная. При неполной загрузке получается много битых зерен, а при перегрузке снижается технологический эффект.

-В зерне, поступающем в обочную машину, не должно быть камней и металлических примесей, иначе возможно образование искры при ударе их об абразивную поверхность.

-Необходимо систематически проверять состояние сетки или жалюзи, установленных в абразивном цилиндре. При нарушении целостности сетки или

жалюзи ухудшается технологический эффект обработки зерна и могут возникнуть значительные потери.

-Все клапаны должны легко поддаваться регулированию вручную, а подвесные клапаны, открывающиеся под действием веса отсосов, не должны пропускать воздух в машину.

Основное внимание при обслуживании машины следует обращать на:

- предварительную очистку зерна от камней и металлических примесей;
- сохранение соответствующей шероховатости абразивной поверхности;
- свободный выход зерна из машины и непрерывное удаление отсосов по мере их накопления в относоосаждающих камерах;
- отсутствие битых и полноценных зерен в отходах;
- наличие смазки в подшипниках и достаточную степень натяжения ремней;
- соблюдение требований техники безопасности и производственной санитарии.

Вал и бичи должны быть изготовлены из стали с временным сопротивлением разрыву не менее 50—60 кГ/мм<sup>2</sup> и относительным удлинением не менее 15%.

Розетки должны быть из чугуна с пределом прочности при растяжении не менее 15 кГ/мм<sup>2</sup>, при изгибе 32 кГ/мм<sup>2</sup>. Поверхность розеток должна быть гладкой, без усадок, наплывов, пористых и ноздреватых мест, заливов и шлаковин.

Для сетчатой обечайки следует применять сетку саржевого переплетения из стальной низкоуглеродистой термически обработанной проволоки с антикоррозийным покрытием. Диаметр проволоки по основе 2,2 мм и по утку 1,8 мм, с размерами сторон квадратного отверстия 1,6 мм.

Абразивы изготовляют из смеси следующего состава (по весу в %):

шлифзерна корунда	69—76
каустического порошка из магнезита	14—17
хлористого магния технического	10—14

Твердость наждака по минералогической шкале твердости не менее 5; он должен быть сухим и очищенным от песка, пыли и металлических примесей. Содержание металла в 1 кг наждака не выше 10 мг.

Прочное схватывание — затверждение абразивной массы должно продолжаться 12—18 ч после окончания формовки.

Прочность абразивной массы проверяют на разрыв образцов, взятых в равном количестве от каждого замеса в течение суток.

Обработка абразивных поверхностей допускается после выдержки их в течение 14 суток при температуре 18—20°.

Изготовленный абразивный цилиндр снаружи следует покрыть кожухом из сосновой клепки. Между клепками не должно быть щелей и неплотностей. Боковые стенки цилиндра должны быть изготовлены из фанерованных щитов, защищенных изнутри листовой сталью толщиной не менее 3 мм.

Особое внимание следует уделять уравновешенности бичевого барабана.

Различают статическую и динамическую неуравновешенность.

Статическая неуравновешенность возникает при смещении центра тяжести вращающегося тела с геометрической осью вращения.

Динамическая неуравновешенность возникает при несовпадении главной центральной оси инерции тела с геометрической осью вращения его.

В результате неуравновешенности бичевого барабана быстрее изнашиваются подшипниковые узлы, повышается расход энергии, появляются вынужденные колебания и вибрации, приводящие к снижению долговечности машины при одновременном ухудшении качества ее работы, развиваются резьбовые соединения.

На рисунке 8-2, а показана схема статически неуравновешенного бичевого барабана.

Центры тяжести отдельных частей барабана I и II располагаются в одной осевой плоскости и по одну сторону от оси вращения O—O. Вследствие этого

центр тяжести всего барабана 5 окажется смещенным в ту же сторону от оси вращения на некоторое расстояние  $\rho$ .

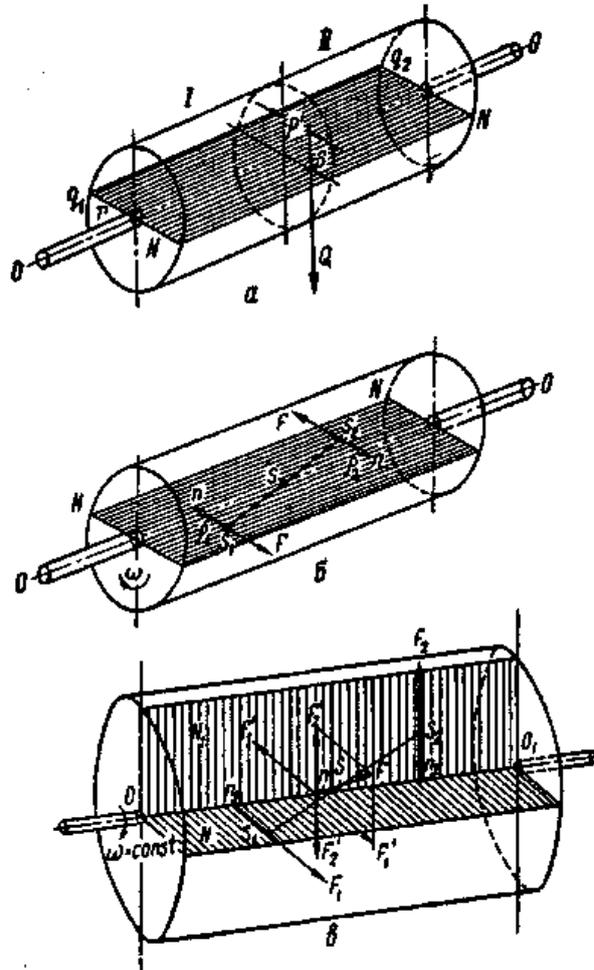


Рис. 8-2. Расчетные схемы:

а — схема статически неуравновешенного барабана; б — схема динамически неуравновешенного барабана; в — схема общей неуравновешенности бичевого барабана.

При вращении барабана массой  $Q$  будет развиваться переменная по направлению центробежная сила  $P = Q * \frac{\omega^2 \rho}{g}$ , которая при  $\omega = \text{const}$  будет функцией дисбаланса  $Q$ .

Статическую неуравновешенность можно обнаружить при перекатывании бичевого барабана по граням двух параллельно и горизонтально расположенных стальных брусков.

Барабан под воздействием неуравновешенного момента  $Q\rho_1$  будет перекачиваться, стремясь к устойчивому равновесию, т. е. к такому положению, при котором центр тяжести его займет наинизшее положение, и, следовательно, плоскость NN станет вертикальной.

Понятно, что перекачивание барабана возможно лишь при условии, если противодействующий момент трения качения будет меньше движущегося момента  $Q\rho_1$ . Поэтому грани стальных брусков должны быть шлифованными.

Для уравнивания барабана подбирают грузы  $q_1$  и  $q_2$ , которые располагают на плече  $g$  в той же плоскости NN, но по другую сторону от оси  $O—O$ .

При определенном весе грузов и значениях  $g$  центр тяжести  $S$  перейдет на ось  $O—O$ . В этом случае барабан будет находиться в безразличном равновесии при любом его положении.

На рисунке 8-2, б показана схема динамически неуравновешенного бичевого барабана. Такая неуравновешенность возникает при наличии момента пары центробежных сил  $m(F)$ , действующих в плоскости, проходящей через ось вращения барабана. При этом динамическая неуравновешенность может быть и при нахождении центра тяжести на оси вращения барабана, т. е. в условиях статической уравновешенности последнего.

При динамической неуравновешенности главная ось инерции  $s_1—s_2$  не совпадает с осью  $O—O$ , и при вращении барабана она описывает в пространстве конус, вершина которого совпадает с центром тяжести  $s$ .

На рисунке 8-2, в показана схема общей неуравновешенности бичевого барабана.

Пусть на ротор действуют две непараллельные и непересекающиеся силы  $F_1$  (в осевой плоскости  $N$ ) и  $F_2$  (в осевой плоскости  $NN_1$ ). Всякую систему непараллельных и непересекающихся сил можно привести к эквивалентной системе, состоящей из одной силы и одной пары сил.

К точке  $n$ , являющейся проекцией общего центра тяжести  $s$  на линию пересечения плоскостей  $N$  и  $N_1$ , можно приложить по две равные, но

противоположно направленные силы  $F'_2$  и  $F'_1$ . Линии действия приложенных сил параллельны линии действия сил  $F_1$  и  $F_2$ .

Система действующих сил  $F_2$  и  $F_1$  эквивалентна системе сил, состоящей из равнодействующей силы  $F=F_2+F_1$ , и равнодействующей пары сил, момент которой равен сумме моментов

$$m(F_2) = F_2 * nn_2 \quad \text{и} \quad m(F_1) = F_1 * nn_1$$

Неуравновешенность в данном случае является следствием одновременного воздействия на систему неуравновешенной центробежной силы и неуравновешенной пары центробежных сил. Ее можно устранить введением положительных или отрицательных корректирующих грузов в две произвольно выбранные плоскости исправления, перпендикулярные оси вращения бичевого барабана.

Динамическая балансировка производится на специальных машинах, позволяющих определять величину и угловое положение уравнивающих грузов в двух выбранных плоскостях исправления, а на некоторых машинах дисбаланс изделия устраняют путем высверливания лишнего материала сверлильным станком.

Во всех балансирующих машинах используют колебания, передаваемые на опоры быстровращающегося несбалансированного изделия. По амплитуде и фазе возникающих колебаний определяют соответственно величину и угловое перемещение уравнивающих грузов. Необходимые измерения выполняются механическими, оптическими или, особенно часто, электрическими способами.

#### Обочные машины

В настоящее время промышленностью выпускается различное оборудование для проведения этой технологической операции.

Машина обочная горизонтальная РЗ–БГО–6 (рис. 8-3). Машина предназначена для сухой отчистки поверхности зерна пшеницы, ржи, кукурузы

от пыли, песка, частичного отделения плодовых оболочек, бородки и зародыша зерна, а также для шелушения ячменя и риса.

Основные узлы: корпус, горизонтальный ротор, состоящий из пустотелого вала с приваренными цапфами и бичей, прикрепленных к ротору винтами, ситовой цилиндр из двух одинаковых половин, приемник, воронка, патрубков, привод и ограждение.

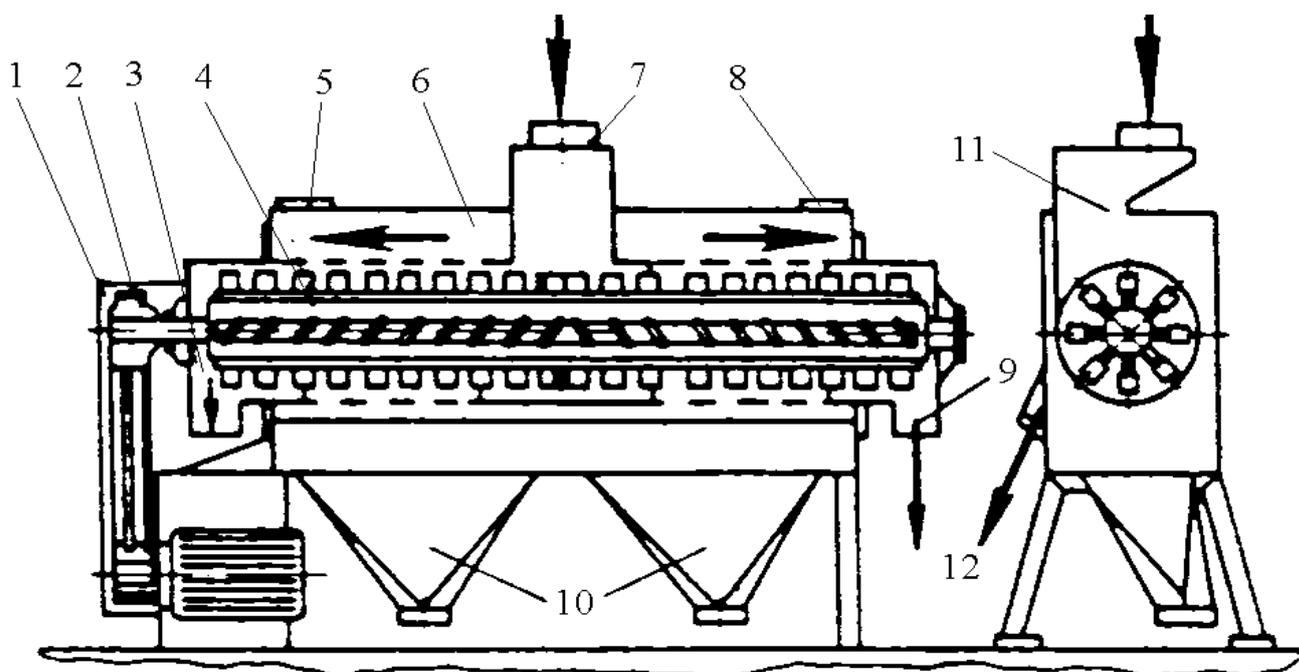


Рис.8-3. Машина обоечная горизонтальная РЗ-БГО-6

1 – ограждение; 2 – привод; 3 – выпускной патрубок; 4 – ротор; 5 – натяжной винт; 6 – корпус; 7 – приемник; 8 – болт; 9 – патрубок; 10 – воронка; 11 – бичи; 12 – выпускной патрубок.

Материал через приемник поступает для равномерного распределения в питатель, где захватывается бичами и обрабатывается путем трения зерен о бичи, о сетку цилиндра, друг о друга. Проход через ситовой цилиндр отводится воронкой.

Обработанное зерно выходит из машины по патрубку в аспирационный канал для дальнейшей очистки. Привод машины от двигателя через клиноременную передачу. Обслуживает один человек.

Машина обоечная горизонтальная РЗ–БГО–8 (рис.8-4). Машина предназначена для сухой очистки поверхности зерна пшеницы, ржи и кукурузы от пыли, песка, частичного отделения плодовых оболочек, бородки и зародыша, а также для шелушения ячменя и риса.

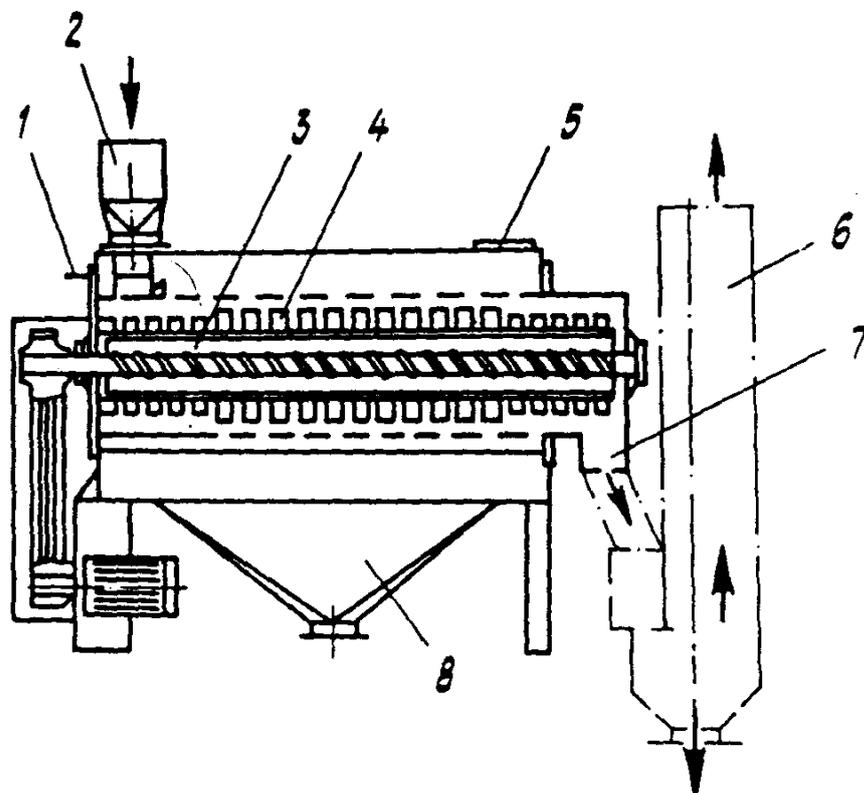


Рис.8-4. Машина обоечная горизонтальная РЗ–БГО–8

1 – корпус; 2 – приемник; 3 – ротор; 4 – ситовой цилиндр;  
5 – болт; 6 – привод; 7 – патрубок; 8 – ограждение.

Основные узлы: корпус, горизонтальный ротор, состоящий из пустотелого вала с приваренными цандрами и бичей, прикрепленных к ротору винтами, ситовой цилиндр из двух одинаковых половин, приемник, воронка, патрубок, привод и ограждение.

Материал через приемник поступает для равномерного распределения в питатель, где захватывается бичами и обрабатывается путем трения зерен о бичи, о сетку цилиндра, друг о друга. Проход через ситовой цилиндр отводится воронкой.

В горизонтальной обоечной машине РЗ-БГО очистка поверхности зерна происходит следующим образом (рис. 8-3, 8-4). Исходное зерно I поступает в

приемное устройство 1 и, пройдя магнитную защиту, распределяется по кольцевому зазору между бичевым ротором 2 и сетчатым цилиндром 3. Зерно продвигается гонками в осевом направлении, подвергаясь многочисленным ударам и трению. В кольцевом зазоре, заполненном зерном, под действием гонков, имеющих различный угол наклона и высоту, возникает сложная циркуляция зерна с различной скоростью, что повышает интенсивность шелушения. Далее зерно поступает в пневмосепарирующий канал 4, где удаляются легкие примеси IV. Очищенное зерно III направляется на последующую обработку, а продукты шелушения II — в отходы.

Выпускают две модели горизонтальных обоечных машин производительностью 6 и 12 т/ч.

Обработанное зерно выходит из машины по патрубку в аспирационный канал для дальнейшей очистки. Привод машины от двигателя через клиноременную передачу. Обслуживает один человек.

Вертикальная обоечная машина РЗ-БМО-6 представлена на рис.-8-5.

Рассмотрим технологический процесс в вертикальной обоечной машине РЗ-БМО-6 (рис. 8-5). Исходное зерно / поступает через приемный патрубок 1 в загрузочную воронку и накапливается в питающем цилиндре. Преодолевая сопротивление пружин, зерно через кольцевой зазор попадает в рабочую зону между ситовым цилиндром 2 и бичевым ротором 3. Здесь зерно подхватывается отогнутыми концами бичей и движется по спирали вниз между ситовым цилиндром и кромками бичей.

Перед поступлением в обоечные машины зерно обязательно должно пройти очистку от металломагнитных примесей.

Под действием центробежной силы инерции, создаваемой ротором, зерно многократно отбрасывается к внутренней поверхности ситового цилиндра. В результате интенсивного трения зерновок между собой и о ситовой цилиндр, поверхность зерна очищается от пыли, надорванных оболочек и частично от зародыша и бородки. Очищенное зерно II и продукты шелушения III выводятся через выпускные устройства.

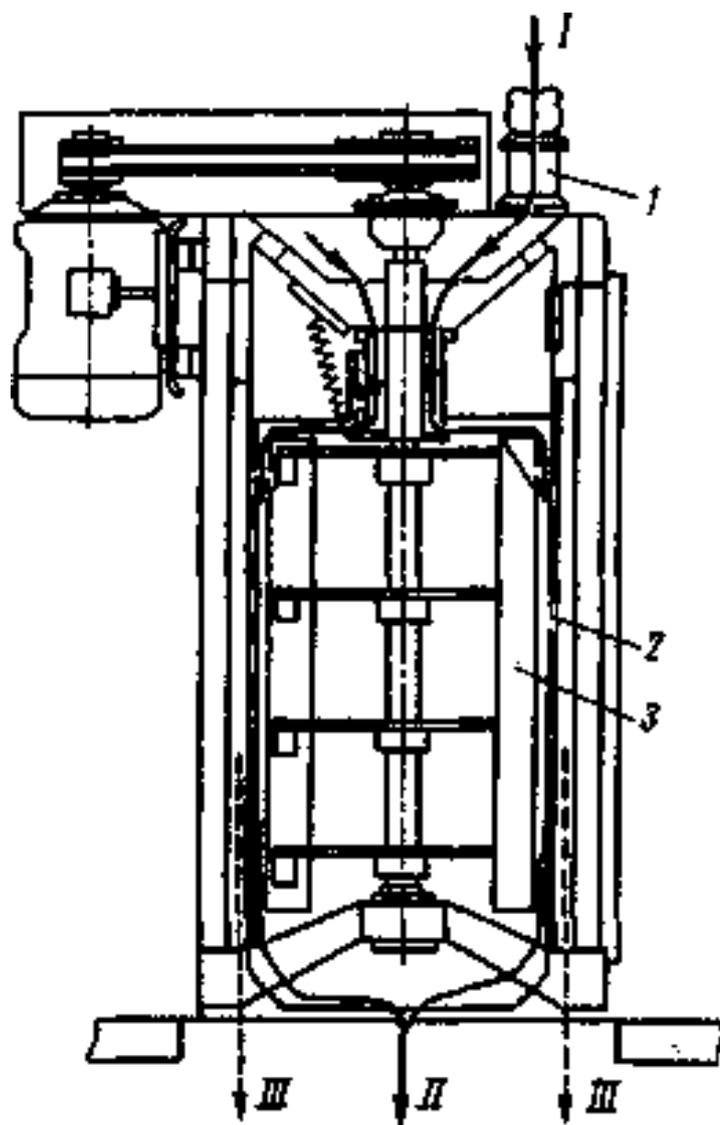


Рис. 8-5. Технологическая схема обоечной машины РЗ-БМО-6

1 — приемный патрубок; 2 — ситовой цилиндр; 3 — бичевой ротор; / — исходное зерно; // — очищенное зерно; /// — продукты шелушения

Выпускаются две модели вертикальных обоечных машин производительностью 6 и 12 т/ч.

Зерно, прошедшее через обоечные машины, имеет на поверхности надорванные, неотделенные частицы оболочек и зародыша. Для их отделения, а также для удаления пыли из бороздки зерна на мукомольных заводах применяют щеточные машины, в которых зерно полностью освобождается от надорванных частиц, пыли и приобретает гладкую полированную поверхность.

Основные рабочие органы щеточной машины — вращающийся ротор и неподвижная дека (в виде полуцилиндра).

Технологическая эффективность работы щеточной машины характеризуется снижением зольности зерна и состоянием его поверхности после обработки. При нормальной работе снижение зольности должно быть 0,01...0,03 %. Зональность отходов, получаемых со щеточных машин, должна быть 5,0...6,5%.

### Щеточные машины для обработки поверхности зерна

На рисунке 8-6 показана конструкция щеточной машины ЗЩГ-5 для обработки зерна после обочечных машин.

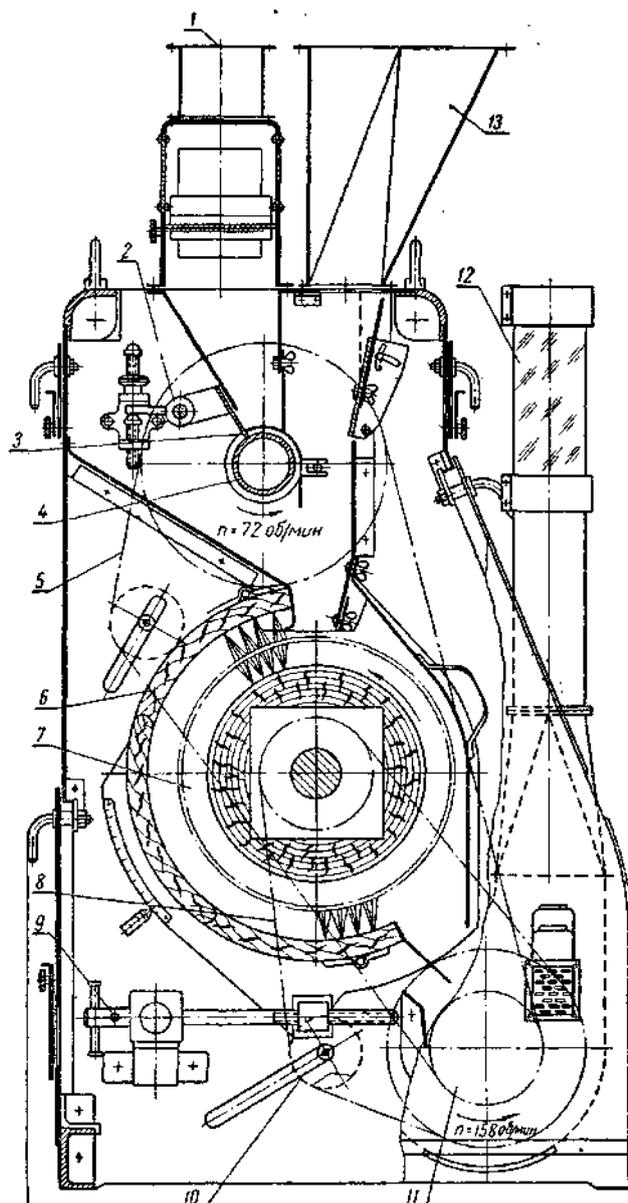


Рис. 8-6. Щеточная машина ЗЩГ-5 для зерна.

Исходный продукт поступает в машину через приемное устройство 1. С помощью питающего валика 4 и регулирующего механизма 2 можно изменять положение заслонки 3 и таким образом устанавливать величину зазора в соответствии с заданной производительностью машины.

Зерно подвергается обработке между вращающимся щеточным барабаном 7 и неподвижной щеточной декой 6. Посредством механизмов 9, расположенных с обеих сторон машины, можно изменять положение отдельных частей деки и таким образом регулировать расстояние между неподвижными и вращающимися щетками. Обработанное зерно направляется шнеком 11 к вращающемуся лопастному барабану, который подбрасывает зерно вверх к материалопроводу 12, присоединенному к пневматической сети мельницы. Труба 13 служит для аспирации питающей части машины.

Машина может быть использована и в мельницах с механическим транспортом. В этом случае зерно из машины удаляется через желоб шнека, а труба 13 присоединяется к аспирационной сети для обеспыливания машины. Машина приводится в движение от электродвигателя мощностью 2,2 кет. Посредством цепной передачи 5 вращение передается питающему валику, а посредством цепной передачи 8 — шнеку. Для натяжения цепей служит механизм 10.

#### Методика расчета обоечных машин.

К основным расчетным параметрам обоечных машин относят: производительность окружную скорость бичевого барабана, размеры цилиндра (диаметр и длину), потребную мощность электродвигателя и кинематический расчет привода.

Производительность  $Q$  (кг/ч) обоечной машины определяют по формуле (1).

$$Q = k * F * q \quad (1)$$

Где  $k$  – коэффициент, учитывающий размеры рабочей поверхности цилиндра,  $k=0.8\dots0.95$ ;

$q$  - удельная зерновая нагрузка,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

Удельная зерновая нагрузка зависит от особенностей перерабатываемой культуры и технологического назначения машины; ее параметры приведены выше.

Площадь  $F$  ( $\text{м}^2$ ) цилиндрической поверхности определяем по формуле (2).

$$F = \pi * D * L \quad (2)$$

$D$  – диаметр цилиндра, м;

$L$  – длина рабочей части цилиндра, м.

Соотношение  $k_1$  длины цилиндра к его диаметру определяем из выражения (3),  $k_1$  – составляет (1...2).

$$\frac{L}{D} = k_1 \quad (3)$$

Диаметр  $D_p$  (м) окружности ротора определяем по формуле (4).

$$D_p = D - \Delta \quad (4)$$

Где  $\Delta$ -радиальный зазор, м.

При уменьшении рабочего зазора интенсивность воздействия увеличивается, так как возрастает сила удара и взаимного трения.

Окружную скорость бичевого барабана, радиальный зазор между внутренней поверхности цилиндра и наружной кромкой бичей и продольный уклон бичей рекомендуется выбирать по таблице 10.

Окружную  $V$  (м/с) скорость также можно определить по формуле (5).

$$V = \frac{P * t}{m} \quad (5)$$

Где  $m$  – масса одного зерна, г;

$t$  – продолжительность удара, с;

$P$  – сила приложенная к зерну при соприкосновении с бичами, она должна быть достаточной для обработки поверхности зерна, но

значительно меньше силы сопротивления его разрушению. (Таблица 11).

Угловую скорость  $\omega$  ( $\text{с}^{-1}$ ) и частоту  $n$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) вращения бичевого барабана определяем по формулам (6), (7).

$$\omega = \frac{2 * V}{D_p} \quad (6)$$

$$n = \frac{30 * \omega}{\pi} \quad (7)$$

Потребную мощность  $N$  (кВт) электродвигателя обоечной машины определяем по формуле (8).

$$N = Q * n \quad (8)$$

Где  $Q$  – производительность, т/ч;

$n$  – удельная мощность, кВт\*ч/т, (определяется по таблице 12).

Для разработки кинематической схемы привода обоечной машины необходимо рассчитать общее передаточное число, которое определяем по формуле (9).

$$i = \frac{n_{\text{ог.}}}{n} \quad (9)$$

Общее передаточное число привода является произведением всех передаточных чисел привода и определяется по формуле (10)

$$i = i_1 * \dots * i_n \quad (10)$$

Общий коэффициент полезного действия является произведением всех к.п.д. передач привода и определяется по формуле (11).

$$\eta = \eta_1 * \dots * \eta_n \quad (11)$$

Установленная мощность привода  $N_{\text{пр}}$  (кВт) определяем по формуле (12).

$$N_{\text{пр}} = \frac{N}{\eta_{\text{пр}}} \quad (12)$$

По рассчитанной установленной мощности и частоте вращения выбираем по справочнику [10] тип электродвигателя.

Рабочими органами обочной машины являются ротор 1 с продольными или радиальными бичами и цилиндр 2. Зерно поступает через патрубок в цилиндр обочной машины. Вращающиеся бичи ротора 1 подхватывают зерно и отбрасывают его на внутреннюю поверхность цилиндра 2. Внутренняя часть машины аспирируется через сетку. Скорость зерновок и бичей не совпадает, поэтому зерно подвергается удару бичей и затем ударяются об внутреннюю поверхность. Являясь упруго-вязким телом, зерновка, отражаясь от поверхности, вновь поступает в соприкосновение с бичами, и после многократных ударов поверхность ее очищается.

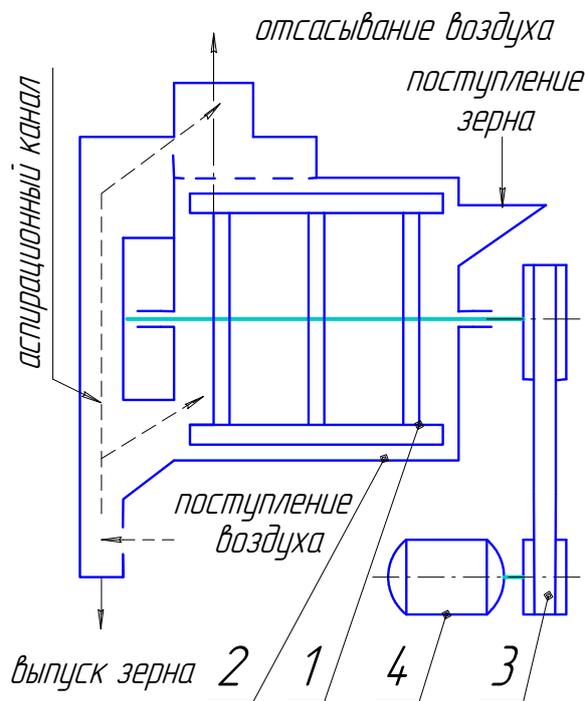


Рис.1. Схема обочной машины.

1. Ротор; 2. Стальной цилиндр; 3. Ременная передача;
4. Электродвигатель.

При выходе из машины обработанное зерно подвергается пневматическому сепарированию восходящим потоком воздуха в канале.

Из формулы (1) определения производительности находим  $F$  площадь цилиндрической поверхности обочной машины. Выбираем материал

цилиндра – металлоткань (металлическая сетка), удельную  $q$  зерновую нагрузку для пшеницы принимаем  $5000 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ .

Отсюда:

$$F = \frac{Q}{k * q} \text{ м}^2$$

Конструктивно принимаем  $D$  диаметр цилиндра обочной машины.

Для обеспечения вращения бичевого ротора с рассчитанной частотой разработаем кинематическую схему привода. Кинематическая схема представлена на рис.2.

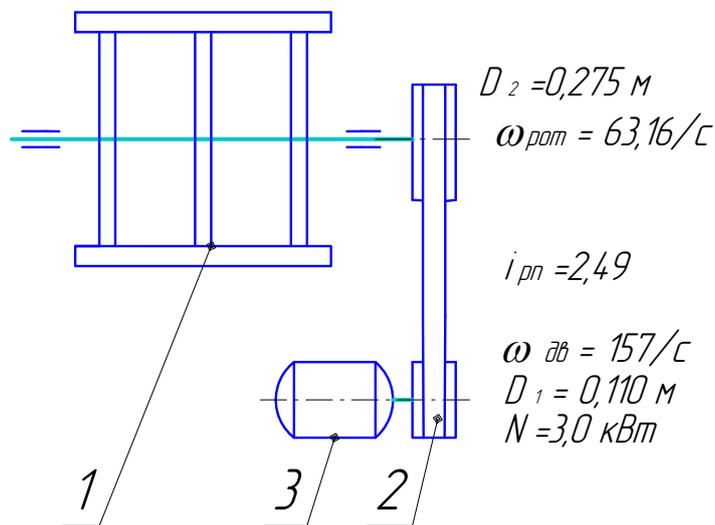


Рис.2. Кинематическая схема горизонтальной обочной машины.

1. Ротор; 2. Стальной цилиндр; 3. Ременная передача;
4. Электродвигатель.

## Лекция 9. -2ч.

Машины для обработки зерна водой.

Назначение, принцип действия и классификация этих машин. Элементы теории гидродинамической классификации и технические мероприятия по повышению эффективности действия моечных машин. Устройство, принцип действия машин для увлажнения зерна в капельножидком и распыленном состоянии, Оборудование для обработки зерна теплом и влагой. Назначение, классификация и область применения аппаратов для предварительного подогрева зерна. Технологические схемы. Назначение, область применения, классификация воздушно-водяных кондиционеров. Конструкция и основные элементы скоростного парового кондиционера. Оборудование для тепловой обработки зерна крупяных культур

### **Назначение и область применения**

Назначение обработки зерна водой — дифференцированное распределение влаги между оболочками и эндоспермом при минимальном увлажнении последнего.

### **КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА**

Технологические процессы взаимодействия зерна с водой и теплом являются важнейшими при подготовке его к помолу. Процессы гидротермической обработки направленно влияют на физико-механические и биологические свойства зерна, повышают ассортимент и качество готовой продукции.

Процесс гидротермической обработки зерна характеризуется технологической схемой, регламентирующей последовательность установки соответствующих технических средств, и совокупностью параметров их работы: степенью и кратностью увлажнения, типом влагоносителя (пар, вода), его температурой или давлением и др. Сочетание способа и режимов гидротермической обработки и отволаживания зерна в практике подготовки его к помолу называют кондиционированием (от латинского слова *conditio* — условие, состояние).

Комплекс процессов гидротермической обработки зерна включает следующие технологические операции:

-мойку зерна в моечных машинах, где в результате гидродинамической обработки происходит увлажнение зерна;

-очистку его поверхности от грязи, пыли, выделение тяжелых и легких примесей; отжим избыточной влаги и шелушение с частичным отделением плодовой оболочки, бородки и зародыша;

-дозированное поэтапное увлажнение в аппаратах различной конструкции, где в зависимости от комплексной технологической задачи происходит направленное перераспределение влаги в анатомических частях зерна;

-повышается эластичность оболочек, снижается прочность связей между оболочками и эндоспермом;

-мокрое шелушение зерна, где в процессе гидродинамической обработки происходят очистка и шелушение его поверхности, увлажнение и при необходимости отжим избыточной влаги;

-отволаживание — поглощение и распределение влаги в анатомических частях зерна в соответствии с их структурными особенностями; этот процесс сопровождается снижением прочности эндосперма в результате появления микротрещин. Отволаживание зерна осуществляется в статических или динамических условиях в силосах или при регулируемом истечении;

-тепловое воздействие на зерно служит усиливающим фактором при гидротермической обработке; оно осуществляется в кондиционерах, подогревателях или при использовании подогретой воды в машинах и аппаратах для гидротермической обработки зерна;

-обработку сточных вод после машин, работающих с избыточным количеством влаги (моечные, мокрого шелушения); включает операции фильтрации сточных вод, отжима мокрых отходов и их сушки.

В результате такой обработки ослабляются связи между эндоспермом и оболочками; структура оболочек из хрупкого состояния переходит в

пластично-вязкое. При этом расклинивающее действие воды создает напряженное состояние капилляров набухших оболочек, которому сопутствует концентрация местных повышенных напряжений на отдельных их участках. Все это в совокупности облегчает отделение оболочек с минимальными потерями эндосперма.

В мукомольном производстве применяют два вида обработки зерна:

увлажнение, при котором стремятся к тому, чтобы вода либо пар проникли в определенном количестве в оболочки для изменения структуры зерна;

мойку для очистки наружных покровов зерновок и особенно бороздок от приставшей пыли и микроорганизмов, а также для выделения из массы зерна легких и тяжелых примесей.

Опытным путем установлено, что при пребывании зерна в воде в пределах до 12 сек, вода удерживается только на поверхности зерна и им не поглощается.

После центрифугирования количество воды на поверхности зерна не превышает 1—2%.

Теплая вода более прочно удерживается на поверхности зерна, и поэтому зерно увлажняется быстрее.

Опыт показал, что с повышением температуры количество пленочной воды на зерне уменьшается, однако остаток ее на поверхности зерна после центрифугирования несколько увеличивается благодаря лучшей связи.

Так, например, если после погружения зерна на 5 сек в воду с температурой 20° на нем остается 20% воды, то при повышении температуры до 40° на зерне остается только 11% воды. Соответственно после пятисекундного отволаживания и обезвоживания поверхности зерна фильтровальной бумагой на нем остается 1,7 и 2% воды.

При мойке зерна водой с повышенным содержанием активного хлора (перехлорированной водой) успешно удаляют также микроорганизмы, чего нельзя достигнуть при обработке его сухим способом.

Современные конструкции машин для обработки зерна водой можно разделить на три группы:

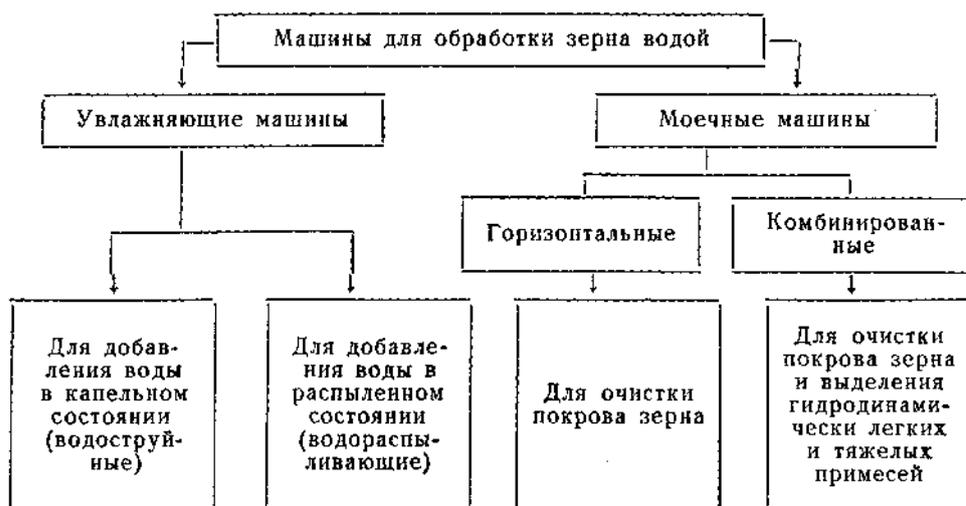
машины, в которых зерно увлажняют холодной либо теплой водой для изменения при последующей гидротермической обработке его структурно-механических свойств;

машины для увлажнения зерна паром перед шелушением или плющением, что необходимо при переработке различных культур в крупу;

машины, в которых при мойке одновременно отделяются примеси, отличающиеся от основного зерна гидродинамическими свойствами.

### Классификация машин

Ниже приведена классификация машин для обработки зерна водой.



Моечные машины для очистки поверхности зерна, известные под названием «горизонтальные моечные машины», применяются в настоящее время на некоторых предприятиях, но ввиду недостаточной эффективности не изготавливаются. По этой причине эти машины в учебнике не рассматриваются.

### Элементы теории гидродинамической классификации

Разделение массы зерна на фракции в зависимости от конечных скоростей падения в воде называется гидродинамической класси-

фикацией. Основные факторы, определяющие эти скорости, — сила тяжести, миделево сечение и гидродинамическое сопротивление, зависящее от инерционно-вязкостного критерия — числа Рейнольдса. Как показано ниже, под конечной скоростью понимается скорость падения частицы в воде, когда сила тяжести ее равна гидродинамическому сопротивлению воды.

Абсолютный вес частицы обуславливается ее размерами и удельным весом. Поэтому, используя конечные скорости падения в качестве определяющего признака, можно разделить массу на фракции по удельному весу, если она состоит из частиц одинаковых размеров, но имеющих различный удельный вес.

Если частицы обладают одним и тем же удельным весом, то разница в абсолютном весе позволяет разделить массу по крупности. Чем больше различие в удельном весе частиц, тем легче разделить массу. Этим и объясняется то, что массу зерна можно четко разделить в воде, так как при погружении в нее абсолютный вес отдельных зерен и частиц снижается, а отношение удельных весов отдельных зерен и частиц возрастает. Например, отношение удельных весов полноценных зерен пшеницы и зерен, пораженных головней, составляет в воздухе примерно  $1,35: 1,02=1,33$ , а в воде:

$$\frac{1,35-1,0}{1,02-1,0} = 17,5$$

т. е. увеличивается более чем в 12 раз.

Вес частицы объемом  $W$  в  $см^3$  и удельным весом  $\gamma$  в  $Г/см^3$  при погружении в воду с удельным весом  $\gamma_B = 1 Г/см^3$ :

$$G_B = W * (\gamma - 1) = W * \gamma * \left( \frac{\gamma - 1}{\gamma} \right) = G * \frac{\gamma - 1}{\gamma} \quad (X-1)$$

где  $G_B$  — сила тяжести частицы в воде в  $Г$ ;

$G$  — сила тяжести частицы в воздухе в  $Г$ .

При свободном падении частицы в воду на нее действуют сила тяжести  $G_B$  и гидродинамическое сопротивление воды  $P$ .

Векторы этих сил равны, но противоположно направлены.

При большой скорости падения частицы в воду обтекание ее водой происходит с завихрением струи воды на поверхности и особенно позади частицы. Такой характер движения воды называется турбулентным. Энергия падающей частицы расходуется при этом на преодоление гидродинамического сопротивления воды.

Если скорость падения мала, то обтекание частицы водой происходит параллельными слоями без завихрений. Подобный характер движения воды называется ламинарным. Энергия падающей частицы расходуется при этом на преодоление сопротивления, вызываемого трением слоев воды у поверхности частицы.

Закон гидродинамического сопротивления водной среды выражает уравнение:

$$P = \xi * F * \frac{\gamma_B * V^2}{2 * g} \quad (X-2)$$

где  $\xi$  — коэффициент гидродинамического сопротивления, величина которого зависит от формы частицы и состояния ее поверхности;  $F$  — площадь миделева сечения частицы в  $см^2$ ,  $v$  — скорость падения частицы в  $см/сек$ ;  $g$  — ускорение силы тяжести в  $см/сек^2$ .

Напишем уравнение движения частицы под действием указанных выше сил при турбулентном режиме обтекания ее жидкостью:

$$m * \frac{dv}{dt} = G_B - P = G \frac{\gamma - 1}{\gamma} - \xi * F * \frac{V^2 \gamma_B}{2 * g} \quad (X-3)$$

Так как  $m = \frac{G}{g}$ , то это уравнение можно записать так:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\gamma - 1}{\gamma} g - \frac{\xi * F * V^2 * \gamma_B}{2 * W * \gamma} \quad (X-4)$$

Для частиц шарообразной формы  $F = \frac{\pi * d^2}{4}$ , а  $W = \frac{\pi * d^3}{6}$

Сопротивление частиц шарообразной формы при падении в воду составляет  $2/3$  сопротивления частиц, имеющих пластинчатую форму. Поэтому последнее уравнение примет следующий вид:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\gamma - 1}{\gamma} g - \frac{\xi * V^2 \gamma_B}{2 * d * \gamma} \quad (X-5)$$

При  $v = 0$ , т. е. в начале движения, частица будет иметь наибольшее ускорение, не зависящее от размера  $d$ .

С увеличением скорости  $v$  гидродинамическое сопротивление среды будет возрастать и может достичь значения, при котором ускорение частицы станет практически равным нулю.

После этого частица начнет двигаться с постоянной скоростью:

$$V = 45 * \sqrt{\frac{(\gamma - 1) * d}{g}} \quad (X-6)$$

определяемой из равенства при  $\gamma_B = 1$ .

$$(\gamma - 1) * g = \frac{\xi * V^2}{2 * d}$$

Последняя формула для определения  $v$  действительна лишь для крупных частиц, при падении которых вязкостное сопротивление играет значительно меньшую роль, чем динамическое сопротивление.

Для случаев падения мелких частиц в воду при ламинарном режиме обтекания ее водой необходимо учитывать главным образом сопротивление внутреннего трения жидкости, зависящее от абсолютной вязкости ее и имеющее более существенное значение, чем динамическое сопротивление.

Поэтому конечную скорость падения частиц шаровидной формы в воде определяют по величине вязкостного сопротивления среды:

$$R = 3 * \pi * \mu * d_0 \text{дин}$$

где:  $\mu$ —коэффициент динамической вязкости в пуазах  $\left(\frac{\text{дин} * \text{сек}}{\text{см}^2}\right)$ ; для

воды при температуре  $20^{\circ}\text{C}$   $\mu = 0,01 \text{ нз} (\approx 0,001 \frac{\text{нн} * \text{сек}}{\text{м}^2})$  ;

$d$  — диаметр шара в  $\text{см}$ ;

$v_0$  — скорость падения в  $\text{см/сек}$ .

Сила тяжести частицы при достижении ею конечной скорости падения равна сопротивлению среды.

Поэтому, выражая обе силы в динах, получим:

$$981 * \frac{\pi * d^3}{6} * (\gamma - 1) = 3 * \pi * \mu * dv_0$$

откуда

$$V_0 = \frac{981 * d^2 * (\gamma - 1)}{18 * \mu} = k_0 * d^2 * (\gamma - 1) \quad (\text{X-7})$$

где:  $k_0 = \frac{981}{18 * \mu}$  .

Если зерно ввести в восходящую струю воды, то при определенной скорости оно окажется во взвешенном состоянии.

Сопротивление воды, обтекающей частицу пластинчатой формы со скоростью  $c$ , определяют из уравнения:

$$R = \frac{2 * \xi * c^2 * F * \gamma_B}{3 * g} = \frac{\xi * c^2 * F * \gamma_B}{3 * g} \quad (\text{X-8})$$

В случае равновесия частицы

$$\frac{\gamma - 1}{\gamma} * G = \frac{\xi * c^2 * F * \gamma_B}{3 * g} \quad (\text{X-9})$$

Подставив значения  $F = \frac{\pi * d^2}{4}$  ,  $G = \frac{\pi * d^3}{6}$  и  $\gamma_B$ , найдем, что скорость

восходящей струи воды

$$c = 45 * \sqrt{\frac{(\gamma - 1) * d}{\xi}} \text{ см/сек} \quad (\text{X-10})$$

Сравнивая это значение для скорости  $c$  и полученное выше значение (X-6) для скорости  $v_0$ , можно сделать следующие заключения.

1. Для того чтобы зерно могло находиться во взвешенном состоянии в

восходящей струе воды, последняя должна иметь скорость, равную конечной скорости падения зерна в неподвижной воде.

2. Для удержания во взвешенном состоянии двух зерен, по размерам поперечного сечения эквивалентных  $d_1$  и  $d_2$  и обладающих удельными весами  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  отношение скоростей восходящих струй воды должно быть:

$$\frac{c_1}{c_2} = \sqrt{\frac{(\gamma_1 - 1) * d_1}{(\gamma_2 - 1) * d_2}}$$

3. Если зерна имеют одинаковые размеры, но различный удельный вес, то отношение этих скоростей выразится формулой:

$$\frac{c_1}{c_2} = \sqrt{\frac{\gamma_1 - 1}{\gamma_2 - 1}} \quad (\text{X-11})$$

Следовательно, струя воды, удерживающая тяжелые зерна в состоянии равновесия, заставит легкие зерна подниматься, и таким образом произойдет разделение по удельному весу.

4. Если зерна, наоборот, имеют один и тот же удельный вес, но различную площадь поперечного сечения, то

$$\frac{c_1}{c_2} = \sqrt{\frac{d_1}{d_2}} \quad (\text{X-12})$$

В этих случаях зерна с большим диаметром потребуют и большей скорости восходящей струи воды. Струя, удерживающая во взвешенном состоянии зерна большего диаметра, поднимает мелкие зерна. Таким образом, в восходящей струе воды зерна разделяются на фракции по удельному весу или по размерам. Обобщающим же признаком разделения смеси служит разница между конечными скоростями падения зерен в неподвижной воде.

Тяжелые и крупные зерна погружаются в воду быстрее, чем легкие и мелкие. Крупные легкие и мелкие тяжелые зерна могут падать вместе в тех

случаях, когда больший размер одного зерна компенсируется большим удельным весом другого мелкого зерна.

Зерна являются равнопадающими, если их конечные скорости падения  $c_1$  и  $c_2$  равны, т. е.

$$\sqrt{d_1 * (\gamma_1 - 1)} = \sqrt{d_2 * (\gamma_2 - 1)} \quad (\text{X-13})$$

откуда

$$E = \frac{d_2}{d_1} = \frac{\gamma_1 - 1}{\gamma_2 - 1} \quad (\text{X-14})$$

где  $E$  — коэффициент равнопадаемости.

Чем больше разница между размерами и удельными весами отдельных зерен, тем больше коэффициент равнопадаемости и тем легче разделяется масса.

Закон падения зерен в воде можно изобразить так, как показано на рисунке 9-1, а.

Если по оси абсцисс отложить  $\sqrt{d}$ , а по оси ординат  $c$ , то угол наклона удельного веса зерен. Чем больше их удельный вес, тем больше и угол. прямой к оси абсцисс определится величиной  $\sqrt{\gamma - 1}$ , т. е. он зависит от удельного веса зерен. Чем больше их удельный вес, тем больше и угол.

Если масса состоит из зерен различного удельного веса, то графически закон скоростей для легких зерен выразится прямой  $OB$ , а для тяжелых — прямой  $OA$ .

Смесь зерна в гидродинамический классификатор (рис. 9-1,б) подается в воду с уменьшающимися скоростями  $c_1, c_2, c_3$ . Легко убедиться, что в первое отделение попадут зерна более тяжелой фракции с размерами  $d_1, d_m$ , если только они имеют скорость падения большую, чем скорость восходящей струи. В следующее отделение, где скорость восходящей струи воды  $c_2 < c_1$  будут падать зерна той же фракции, но меньшего размера (от  $d_2$  до  $d_3$ ) и зерна более легкой фракции размером  $d_1$  и  $d_2$ . Так же можно определить размеры зерен

легкой и тяжелой фракций, падающих в остальные отделения и уносимых водой.

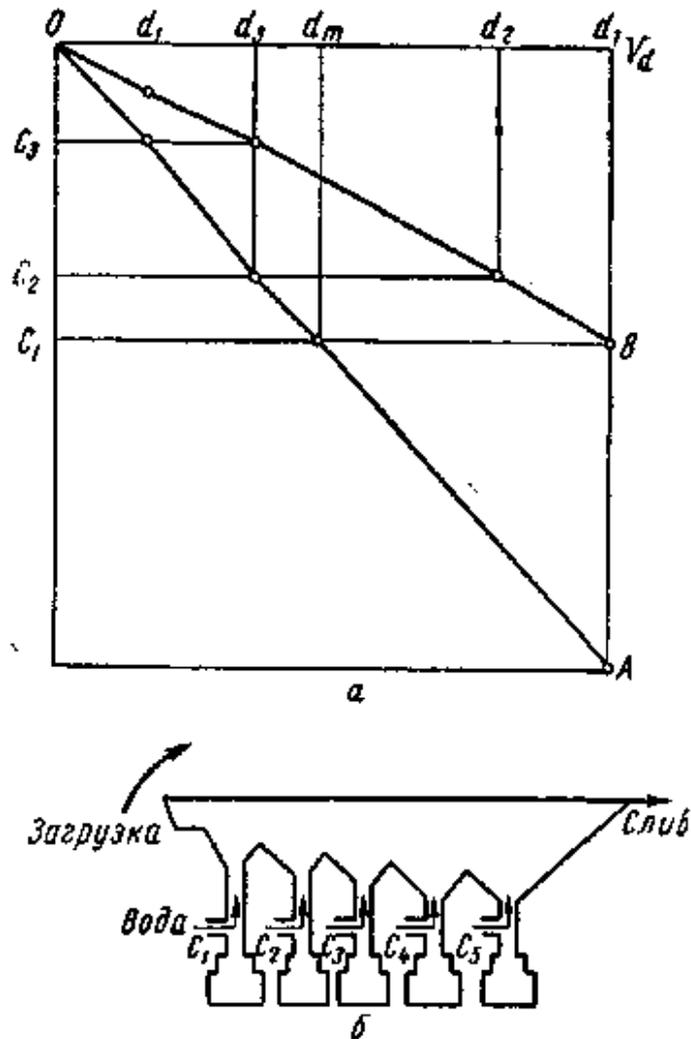


Рис. 9-1. Принципиальные схемы гидродинамической классификации:

*a* — скорости падения частиц в воде; *б* — схема гидродинамического классификатора.

Применять воду в качестве сепарационной среды можно только при разделении тел, у которых  $\gamma_1 > 1$  или  $\gamma_2 > 1$ . Чтобы отделить примеси от зерна, у которого  $\gamma_2 < 1$  или  $\gamma_1 < 1$ , нужно применить жидкость с меньшим удельным весом, чем вода. Можно подобрать жидкость с таким удельным весом, что зерна основной культуры будут тонуть, а легкие примеси и поврежденные зерна — всплывать. Удаляя легкие частицы, всплывающие на поверхность,

можно добиться достаточно эффективной очистки массы зерна от легких примесей.

### Машины для увлажнения зерна

Для обработки зерна водой применяют увлажнительные (водоструйные и водораспыливающие) машины и аппараты. Основные эксплуатационно-технические требования к увлажняющим машинам следующие:

-возможность установочного и оперативного регулирования расхода воды в зависимости от массового расхода зерна и задаваемой степени его увлажнения (от 0,5 до 3,5%);

-возможность автоматического регулирования массового расхода воды при эксплуатационных колебаниях интенсивности подачи зерна; равномерность увлажнения поверхности зерна распылением воды, присоединением к увлажняющей машине смесительного устройства, отволаживанием зерна в накопительном бункере.

Расход воды  $G_B$  (м<sup>3</sup>/ч) для увлажнения зерна  $G_3$  (т/ч) определяют по формуле:

$$G_B = G_3 * \left( \frac{100 - B_H}{100 - B_K} - 1 \right) = G * \frac{B_K - B_H}{100 - B_K}$$

где  $B_H$  и  $B_K$  — соответственно начальная и конечная влажность зерна, %.

**Водоструйная машина для увлажнения зерна водой.** Машина (рис. 9-2) работает следующим образом. Поступая в машину, зерно приводит в движение лопастное колесо 9. Посредством зубчатой передачи 2 движение передается водоналивному колесу 8, погруженному в резервуар 4 с водой. Колесо подает воду в лоток 5, откуда по трубе 3 она попадает в шнек, установленный под машиной, в котором зерно при движении смешивается с водой.

Положение лотка по отношению к водоналивному колесу регулируется винтовым механизмом. Уровень воды в резервуаре устанавливается посредством поплавка 10 с клапаном. В наиболее приподнятом положении поплавок клапан закрывает входное отверстие для воды.

Эта машина широко распространена на мельницах. Главное ее достоинство — лопастное колесо вращается под действием кинетической энергии потока зерна, в связи с чем не нужен специальный источник энергии для привода колеса. Поскольку вода в таких машинах подается в капельном состоянии, зерновая масса равномерно увлажняется только после длительного отволаживания в закромах. Производительность машины составляет 9—10 т/ч зерна при увлажнении его на 0,5-4%.

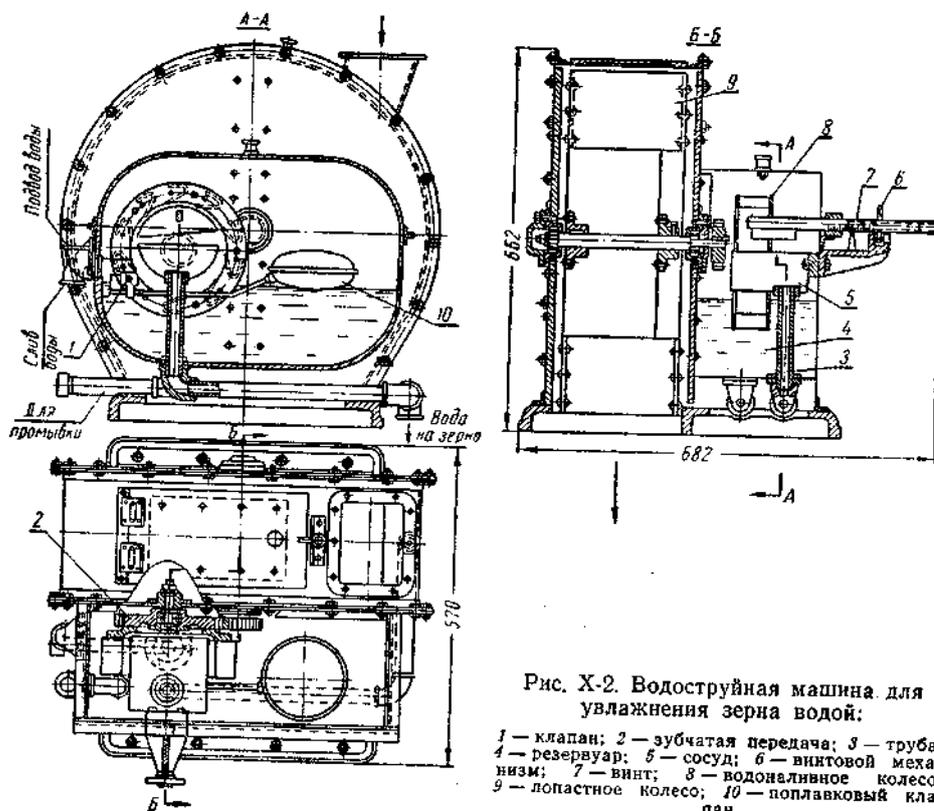


Рис. X-2. Водоструйная машина для увлажнения зерна водой:

1 — клапан; 2 — зубчатая передача; 3 — труба;  
4 — резервуар; 5 — сосуд; 6 — винтовой механизм;  
7 — винт; 8 — водоналивное колесо;  
9 — лопастное колесо; 10 — поплавковый клапан.

**Водораспыливающая** машина ЗУМ-2 (рис.9-3) для увлажнения зерна водой распыленном состоянии. Машина работает следующим образом. Вода

подается по трубке 11, проходит через кольцевой зазор, образованный между игольчатым клапаном 10 и седлом, а затем по трубке 8 попадает на диск 6 и распыливается. Под действием грузового момента, создаваемого по током зерна, заслонка 18 открывается, зерно падает на диск 4 и под действием центробежной силы разбрасывается.

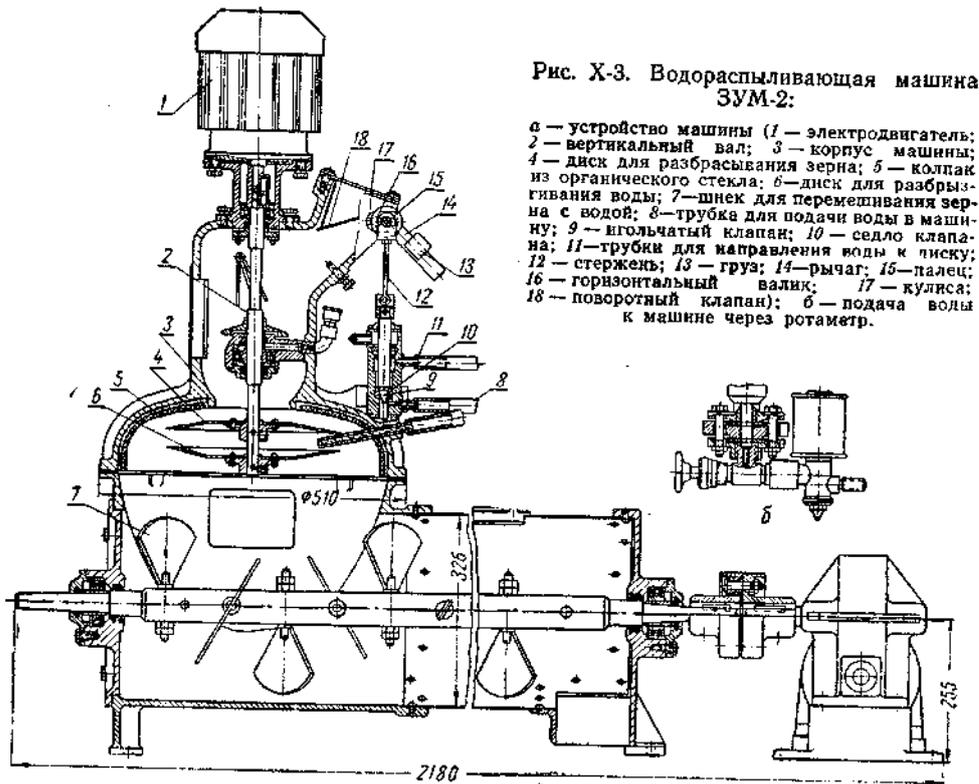


Рис. X-3. Водораспыливающая машина ЗУМ-2:

а — устройство машины (1 — электродвигатель; 2 — вертикальный вал; 3 — корпус машины; 4 — диск для разбрасывания зерна; 5 — колпак из органического стекла; 6 — диск для разбрызгивания воды; 7 — шнек для перемешивания зерна с водой; 8 — трубка для подачи воды в машину; 9 — игольчатый клапан; 10 — седло клапана; 11 — трубки для направления воды к диску; 12 — стержень; 13 — груз; 14 — рычаг; 15 — палец; 16 — горизонтальный валик; 17 — кулиса; 18 — поворотный клапан); б — подача воды к машине через ротаметр.

В результате поверхность отдельных зерновок увлажняется равномерно, что повышает эффективность технологического процесса переработки зерна. Шнек 7 дополнительно перемешивает увлажненное зерно и перемещает его в бункер для отволаживания.

Механизм для регулирования расхода воды состоит из горизонтального валика 16, к которому прикреплена заслонка 18. На конце валика укреплен кулиса 17, в пазу которой можно перемещать палец 15, соединенный с тягой 12. Таким образом можно регулировать расстояние между осями валика и пальца. На другом конце валика укреплен рычаг 14 с грузом 13. При отсутствии зерна заслонка занимает положение, указанное на рисунке, и тяга находится в нижнем положении. При поступлении зерна заслонка поворачивается вместе с

валиком против часовой стрелки и поднимает тягу, которая соединена с игольчатым клапаном для подачи воды. Автоматическое регулирование расхода воды в зависимости от количества поступающего зерна является важнейшей особенностью этой машины.

Электродвигатель *1* заблокирован с электродвигателем шнека так, что самостоятельная работа одного из этих двигателей невозможна.

Увлажнительная машина **ЗПУБ-10**. Эта машина (рис. 9-4) служит для поверхностного увлажнения зерна. Принцип действия заключается в следующем.

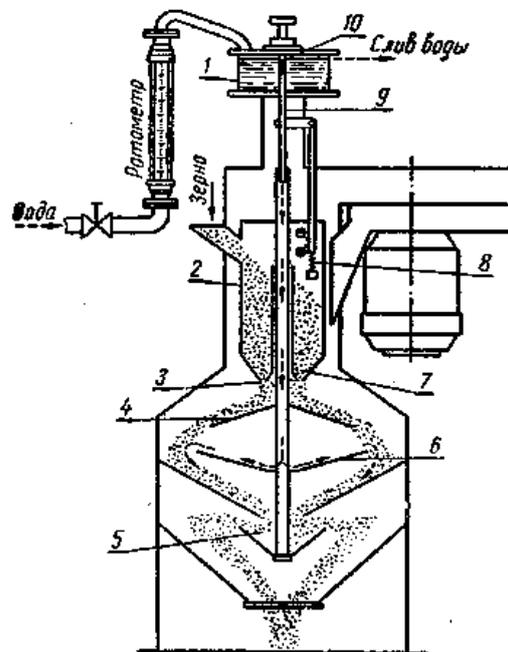


Рис. 9-4. Схема увлажнительной машины.

Рис. 9-4. Схема увлажнительной машины ЗПУБ-10.

При включении привода машины вращение передается клиновым ремнем на распиливающий аппарат. Вручную открывается вентиль водопроводной системы, и вода поступает через ротаметр в бачок *1*, который заполняется до определенного уровня. Избыток воды стекает через сливную трубку в канализацию. Нижний конец прорези *10* в штоке *9* при отсутствии зерна находится выше уровня воды в бачке на *0,5 мм*. Зерно самотеком подается в приемный патрубок и заполняет бункер *2*. Бункер под действием веса зерна опускается вниз, преодолевая сопротивление спиральной пружины *8*, и

образует цилиндрическую щель 3 между нижним концом бункера и внутренним конусом 7. Через образовавшуюся щель зерно попадает в центральную часть верхнего распыливающего диска 4, откуда под действием центробежной силы удаляется с него. В зависимости от количества зерна, поступающего в бункер, последний опускается вниз до определенного уровня и при помощи системы рычагов увлекает за собой шток 9. Через прорезь в штоке вода подается по полуму валу на нижний распыливающий диск 6, где под действием центробежной силы она распыливается и образует водяную завесу, через которую проходит поток зерна.

Увлажненное зерно направляется верхним конусом в смеситель 5, где оно дополнительно перемешивается. Из смесителя зерно удаляется

Наличие штока с прорезью, регулируемого по высоте, обеспечивает подачу необходимого количества воды в полый вал в зависимости от требуемого увлажнения зерна.

После прекращения подачи зерна бункер под действием усилия спиральной пружины через систему рычагов поднимается в верхнее положение, увлекая за собой шток с прорезью выше уровня воды на 0,5 мм. Таким образом, подача воды в полый вал прекращается при прекращении поступления зерна в машину.

Дозированное увлажнение зерна проводят в аппаратах А1-БУЗ и А1-БАЗ. В аппарате А1-БУЗ зерно увлажняется капельно-жидкой влагой, которая постепенно проникает внутрь зерна и распределяется в его анатомических частях в процессе отволаживания.

Перед I др. с. доувлажняют зерно в аппарате А1-БАЗ, где вода тонко распыливается с помощью сжатого воздуха. Это способствует более равномерному распределению влаги по поверхности зерна и предотвращает проникновение ее внутрь.

Увлажнительные аппараты А1-БУЗ и А1-БАЗ имеют одинаковый принцип действия и идентичное устройство. Рабочие органы этих аппаратов

(форсунки для подачи воды) работают совместно со шнеками, обеспечивающими перемешивание и транспортирование зерна.

Система подачи воды оборудована устройством контроля расхода, фильтром для очистки воды, вентилями и клапанами для управления потоком воды. Предусмотрено также автоматическое устройство, отключающее воду в случае прекращения подачи зерна в увлажнительный шнек. Элементы системы, обеспечивающие подачу воды, смонтированы на панели, которая закрепляется на стене в непосредственной близости от аппаратов. В увлажнительном аппарате А1-БУЗ распыливание воды в форсунке производится под давлением в водопроводной системе, а в аппарате А1-БАЗ — с помощью компрессора, подающего сжатый воздух.

Работу увлажнительного аппарата рассмотрим на примере А1-БАЗ (рис. 9-5). Исходное зерно поступает в индикатор 13, внутри которого установлена поворотная заслонка. Под действием потока падающего зерна заслонка отклоняется от исходного положения и через систему рычагов замыкает контакты микровыключателя. Электрический сигнал подается на электромагнитный вентиль 6, открывающий подачу воды.

Вода очищается, проходя через керамический фильтр 5. Регулируют подачу воды, вращая игольчатый вентиль 10. Для контроля расхода воды предназначен ротаметр 9. Расход воды определяют по положению поплавка относительно шкалы на трубке. Вода и зерно поступают в корпус шнека /. При прекращении поступления зерна в индикатор заслонка возвращается в исходное положение, электроконтакты размыкаются, электромагнитный вентиль обесточивается, перекрывая подачу воды.

Форсунка 12 аппарата А1-БАЗ обеспечивает распыление воды в результате подачи сжатого воздуха. Распыленная влага поступает в поток зерна через одно сопло. Форсунка 15 подает капельно-жидкую влагу через три сопла.

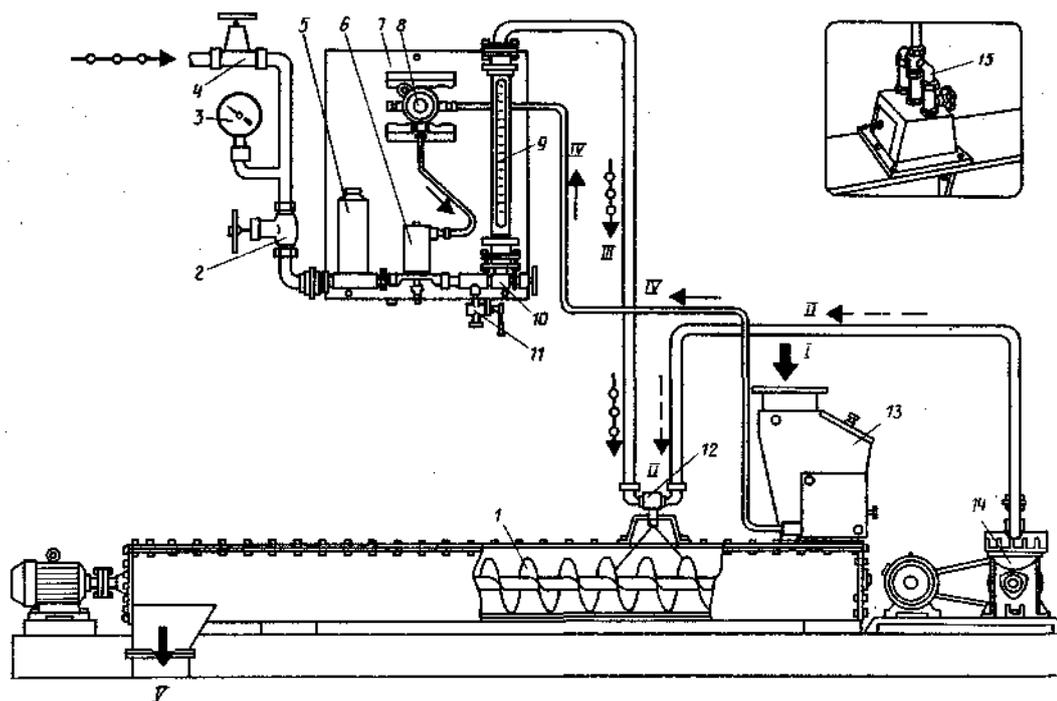


Рис. 9-5. Технологическая схема увлажнительного аппарата А1-БАЗ: / — шнек; 2 — вентиль; 3 — манометр; 4 — редукционный клапан; 5 — фильтр; 6 — электромагнитный вентиль; 7 — панель; 8 — распределительная коробка; 9 — ротаметр; 10 — регулирующий вентиль; // — спускной кран; 12 — форсунка А1-БАЗ; 13 — индикатор наличия зерна; 14 — компрессор; 15 — форсунка А1-БУЗ; / — исходное зерно; // — воздух; /// — вода; IV — электрический ток;

Производительность аппаратов А1-БАЗ и А1-БУЗ соответственно 6 и 12 т/ч, расход воды не более 300 и 50 л/ч, увлажнение зерна 4 и 1 %.

Для интенсификации процесса мойки зерна учеными созданы гидродинамические излучатели ультразвука, которые применяются для интенсификации мойки зерна в воде. Излучатель представляет собой устройство для преобразования энергии движущегося потока воды в энергию ультразвуковых либо звуковых колебаний, излучаемых в жидкую среду. Наиболее широкое распространение получили пластинчатые и стержневые преобразователи.

Принцип действия пластинчатых преобразователей заключается в том, что струя жидкости, вытекающая с большой скоростью из сопла, при встрече с пластинкой создает в среде около поверхности пластинки завихрение с

избыточным давлением в центральной части. При истечении жидкость возбуждает колебания пластинки, которые распространяются в среде в виде звуковых волн.

При распространении звуковых волн возникает чередование периодов сжатия и разрежения, причем амплитуда сжатия равна амплитуде разрежения, а чередование соответствует частоте колебаний звуковой волны. Когда собственная частота колебаний пластинки совпадет с частотами колебаний, образуемыми завихрениями жидкости, образуется резонирующая система. Интенсивность колебаний зависит от скорости истечения жидкости из сопла, размеров отверстия для вытекания жидкости из сопла и расстояния между соплом и пластинкой.

Принцип действия стержневых преобразователей основан на взаимодействии струи жидкости, выходящей из сопла и отраженной от упора и стержней, расположенных по окружности вокруг сопла.

В машинах пищевых производств в последнее время находят применение многостержневые преобразователи акустических колебаний типа АГА, созданные в лаборатории ВНИЭКИПродмаш.

Преобразователь (рис. 9-6) состоит из трубы для подвода жидкости 7, заканчивающейся сменным соплом 5, упора-отражателя 4 и многостержневого резонатора 6.

Резонатор изготавливают из хромистой стали; он представляет собой цилиндр с продольными прорезями, между которыми образуется 48 тонких пластинок (стержней).

Вода из насоса под давлением  $5 \text{ кг/см}^2$  поступает по трубе в сопло, выходя из которого отражается от упора-отражателя и направляется веерообразной струей на выступы стержней резонатора.

Регулируя расстояние между соплом и упором, можно изменять поперечное сечение выходящей струи жидкости и расход ее. Интенсивность колебаний усиливается стержнями, подвергающимися резонансным колебаниям.

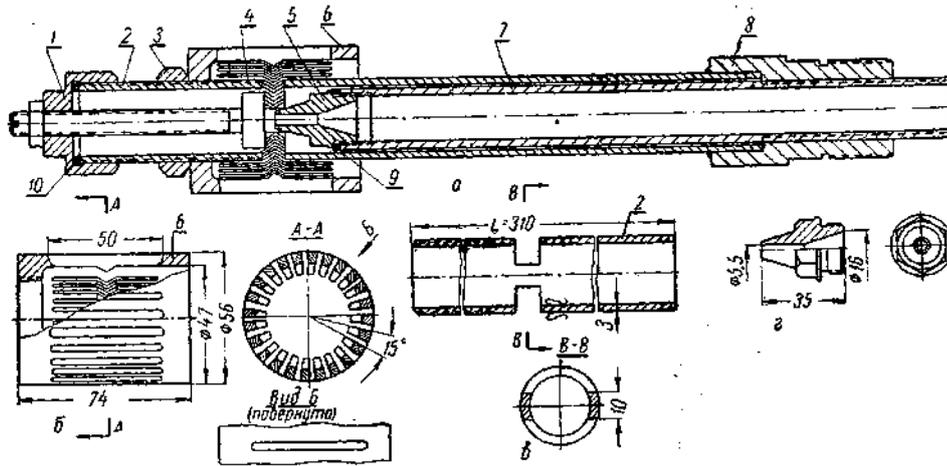


Рис. 9-6. Гидродинамический преобразователь:

*a* — конструкция (1 — накидная гайка; 2 — труба наружная; 3 — контргайка; 4 — упор-отражатель; 5 — сопло; 6 — резонатор; 7 — труба; 8 — гайка; 9 и 10 — прокладки); *б* — резонатор; *в* — наружная труба; *г* — сопло.

Энергия струи преобразуется в энергию колебательного движения, распространяющуюся в жидкости со скоростью звука. Это приводит прилегающие к преобразователю частицы в колебательное движение относительно их положения равновесия и вызывает постоянное их смещение, образуя постоянный поток, который носит название звукового ветра. Он проявляется в виде сильных течений, приводящих к интенсивному перемешиванию жидкости и интенсификации процесса мойки зерна в моечных машинах.

Для настройки преобразователя предусмотрена возможность перемещения сопла, упора-отражателя и резонатора. Частота звуковых колебаний в основном определяется параметрами резонирующих стержней (размерами и материалом).

Основная частота звуковых колебаний, получаемая в многостержневом преобразователе типа АГА в воде, — 2500—5000 колебаний в секунду. При работе в более вязких жидкостях частота ультразвуковых колебаний резко снижается. В зависимости от вязкости обрабатываемой среды интенсивность звуковых колебаний изменяется в пределах от 0,01 до 0,1  $вт/см^2$  при давлениях

рабочей жидкости от 6 до 15 кг/см<sup>2</sup>. В этих преобразователях достигается равномерное озвучивание жидкости вокруг резонатора.

Расчет стержня производится условно по аналогии расчету прямого бруса (балки) для случая, когда один конец ее жестко закреплен, а другой подперт.

Собственная частота колебаний  $f$  стержня резонатора для такого случая определяется по формуле:

$$f = \frac{1}{2 * \pi} * \left( \frac{\beta_i}{l} \right)^2 * \sqrt{\frac{E * J}{\rho * F}} \text{ Гц} \quad ()$$

Где:  $\beta_i$  — безразмерный коэффициент;

$l$  — длина стержня в см;

$E$  — модуль упругости (для стали  $2,1 \cdot 10^6$  кг/см<sup>2</sup>);

$J$  — момент инерции сечения стержня в  $\frac{b * h^3}{12}$ , см<sup>4</sup>;

$b$  — ширина сечения стержня в см;

$h$  — толщина сечения стержня в см;

$F = b * h$  — площадь сечения стержня в см<sup>2</sup>;

$\rho$  — плотность стали в кг/см<sup>3</sup>.

### Назначение и область применения

В мукомольном производстве применяют обработку зерна водой и теплом, так называемую гидротермическую обработку (кондиционирование).

Гидротермическая обработка зерна является обогатительным приемом, способствующим повышению использования пищевых ресурсов зерна для продовольственных целей и улучшению его технологических свойств.

В результате гидротермической обработки (ГТО) улучшаются:

-мукомольные качества зерна, так как оболочки становятся более вязкими и эластичными, чем эндосперм, что способствует лучшему их отделению;

-хлебопекарные свойства муки вследствие воздействия тепла на белковый комплекс увлажненного зерна.

На современных предприятиях по переработке зерна в продовольственные продукты для гидротермической обработки применяют аппараты для подогрева зерна; аппараты для гидротермической обработки зерна; аппараты для пропаривания зерна.

### Классификация аппаратов

Ниже приведена классификация аппаратов.

Кондиционеры, работающие в атмосферных условиях				
Водяные Зерно нагревается от стенок горячих водяных радиаторов; охлаждение осуществляется атмосферным воздухом	Воздушные Нагрев зерна и отбор влаги осуществляется горячим воздухом; охлаждение осуществляется атмосферным воздухом	Воздушно-водяные Зерно нагревается от соприкосновения со стенками горячих водяных радиаторов; отбор влаги осуществляется горячим воздухом; охлаждение осуществляется атмосферным воздухом	Паровоздушные водяные кондиционеры Зерно прогревается паром; отбор влаги осуществляется горячим воздухом; охлаждение осуществляется атмосферным воздухом	Паровые Зерно нагревается паром, а охлаждается холодной водой или воздухом

В настоящее время установлено, что водяные кондиционеры пригодны только для обработки твердых пшениц. При обработке мягких пшениц, нуждающихся в улучшении клейковины, воздействием более высоких температур воздуха и более интенсивным удалением образующихся водяных паров, такие кондиционеры не дают удовлетворительных результатов.

Недостатки воздушных кондиционеров заключаются в трудности регулирования температуры нагрева зерна и нерентабельности использования воздуха для подогрева его. Так, для получения одной калории тепла в водяном

кондиционере необходимо охладить на один градус 1 кг (0,001 м<sup>3</sup>) воды, а в воздушном кондиционере около 4 кг (4 м<sup>3</sup>) воздуха. Совершенно очевидно, что для этого требуются весьма мощные вентиляторы.

По этим причинам наибольшее распространение получили воздушно-водяные кондиционеры.

### **Воздушно-водяные кондиционеры**

На рисунке 9-7 приведена схема устройства воздушно-водяного кондиционера производительностью 4,5 т/ч, выпускаемого отечественными заводами.

В этом аппарате зерно нагревается главным образом водяными радиаторами, а влага удаляется нагретым воздухом.

Как видно из схемы, горячая вода подается в радиаторы из двух подогревателей. Из радиаторов вода возвращается в подогреватели. На восходящих линиях установлены расширительные сосуды, обеспечивающие максимальное заполнение радиаторов и предохраняющие систему от возможных нарушений действия при случайном повышении температуры и давления воды.

Кондиционер состоит из следующих основных узлов.

Приемного устройства 1, посредством которого поступающее зерно равномерно распределяется по всему поперечному сечению кондиционера.

Верхнего подогревательного отделения, состоящего из двух секций 2 и 3; здесь зерно подогревается до 40—60°, в зависимости от структурных свойств эндосперма.

Сушильного отделения 4, в которое подается горячий воздух (70—80°), нагревающий зерно и уносящий поверхностную влагу; температура воздуха при выходе из сушильного отделения 40° С.

Нижнего подогревательного отделения, состоящего из трех секций 5, 6, 7, в которых имеются радиаторы для подогрева зерна и перпендикулярные радиаторам воздушные каналы. Воздух поступает из окружающей среды, а температура зерна поддерживается около 40—60°

С; процесс собственно кондиционирования зерна происходит в основном в этом отделении.

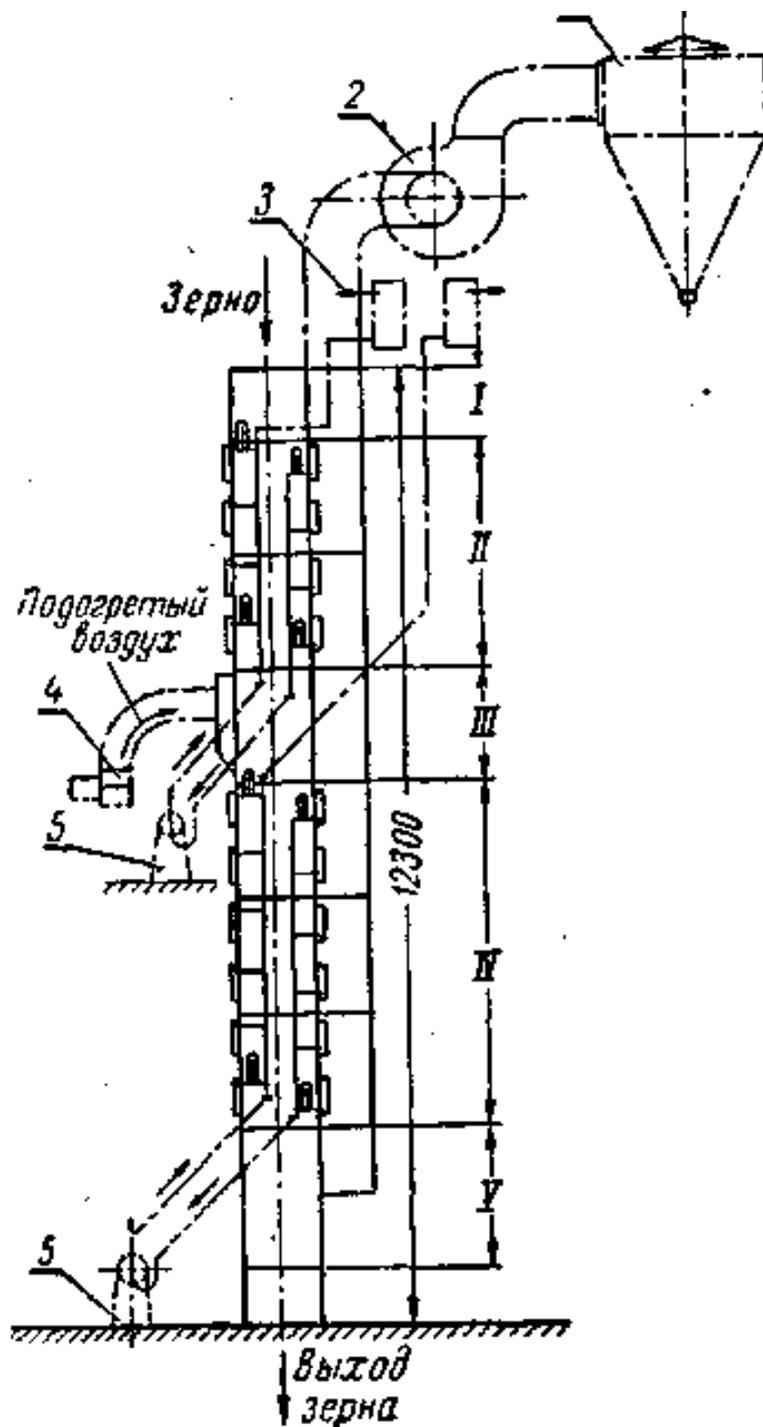


Рис. XI-3. Схема воздушно-водяного кондиционера производительностью 4,5 т/ч зерна:

1 — циклон; 2 — вентилятор; 3 — расширительные сосуды; 4 — калорифер; 5 — подогреватели воды; / — приемная часть; // — верхнее нагревательное отделение; /// — сушильное отделение; IV — нижнее нагревательное отделение; V — охлаждающее отделение.

Охлаждающего отделения 8, где зерно охлаждается до  $20^{\circ}\text{C}$  воздухом, который поступает по воздухопроводу 9.

Аппараты для скоростного кондиционирования зерна.

Скоростное кондиционирование основано на использовании в качестве влагоснимателя насыщенного водяного пара для увлажнения и нагревания зерна.

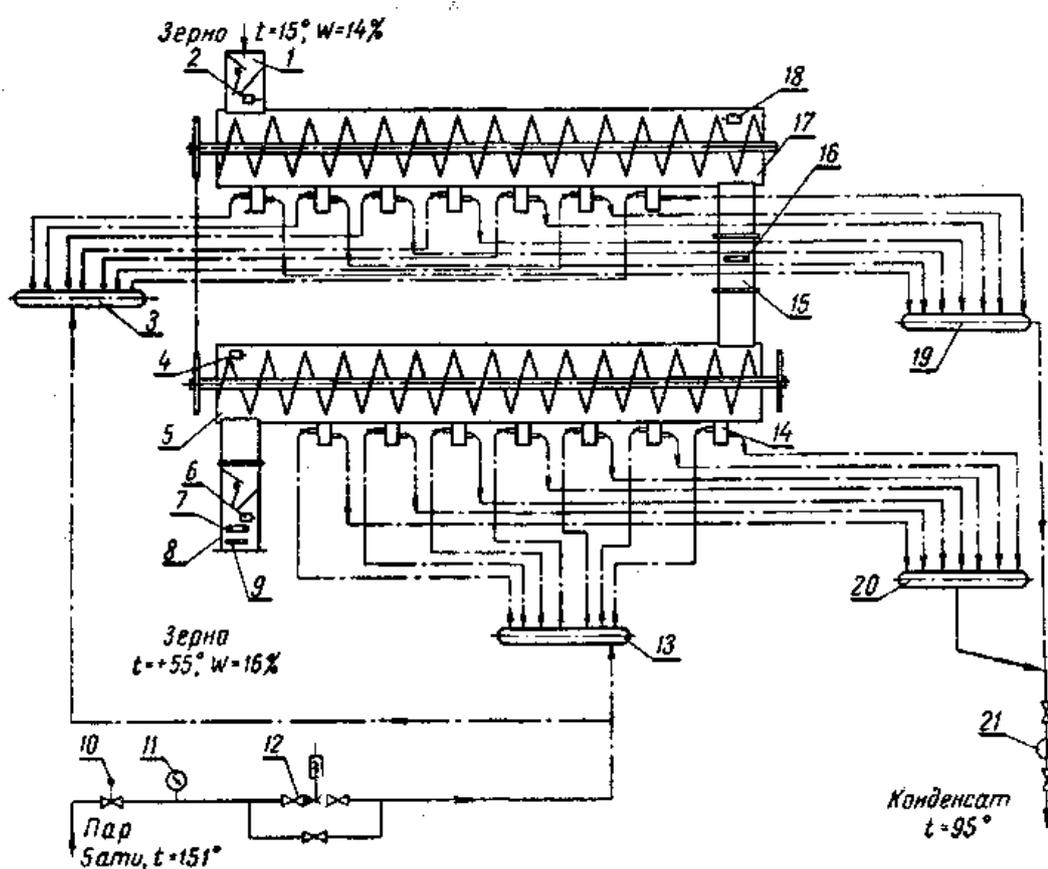


Рис. 9-8. Аппарат АСК-Ш для нагрева зерна:

- 1 — загрузочный клапан; 2, 4, 6, 18 — микропереключатели; 3, 13 — коллекторы пара; 5 — контрольный шнек; 7, 16 — манометрическим электроконтактные термометры; 8 — выпускной клапан; 9 — регулятор температуры; 10 — регулятор давления; 11 — манометр; 12 — вентиль с электромагнитным приводом; 14 — паровая форсунка; 15 — контрольный патрубок; 17 — нагревательный шнек; 19, 20 — коллекторы конденсата; 21 — конденсатоотводчик.

В аппарате АСК зерно обрабатывается паром, а в аппарате В-10 — воздухом.

Зерно с влажностью 14%, поступая в нагревательный и контрольный шнеки аппарата АСК-10, перемешивается лопастями и паром, поступающим из форсунок, нагревается до 45—55° С и увлажняется на 2%.

При нагревании увлажненного зерна значительно ускоряется диффузия влаги с его поверхности внутрь. Быстрее увлажняются оболочки, в результате чего они становятся более эластичными и ослабляется связь между ними и эндоспермом.

После обработки в АСК-10 зерно поступает в моечную машину и во влагосниматель В-10. Зерно, проходя через влагосниматель, продувается теплым воздухом с температурой 40—50° С. Воздух снимает с поверхности зерна влагу и отводится из шахты вентилятором. Снижение влажности зерна во влагоснимателе не более 2%.

Аппарат АСК-10 (см. рис. 9-8) состоит из нагревательного и контрольного шнеков, станины с кожухом, контрольного патрубка, привода, системы трубопроводов, выходного патрубка, пульта управления и сигнализации.

Нагревательный шнек представляет собой короб, в котором смонтирован вал с питателем и поворотными лопатками. Питатель представляет собой шнек с шагом 150 мм. Продолжением этого шнека являются поворотные лопатки с шагом 160 мм:

В приемном патрубке установлена заслонка и смонтирован микропереключатель, который при отсутствии зерна отключает вентиль с электромагнитным приводом, в результате чего прекращается подача пара к форсункам.

Короб сверху имеет съемные крышки для доступа к валу и перьям шнека. У задней стенки короба смонтирована заслонка с микропереключателем для остановки аппарата в случае завала. На боковой поверхности короба установлены паровые форсунки. Нагревательный и контрольный шнеки соединены контрольным патрубком, в котором смонтирован

термобаллон электроконтактного термометра. Под контрольным шнеком установлен выходной патрубок, где вмонтирован термобаллон электроконтактного термометра.

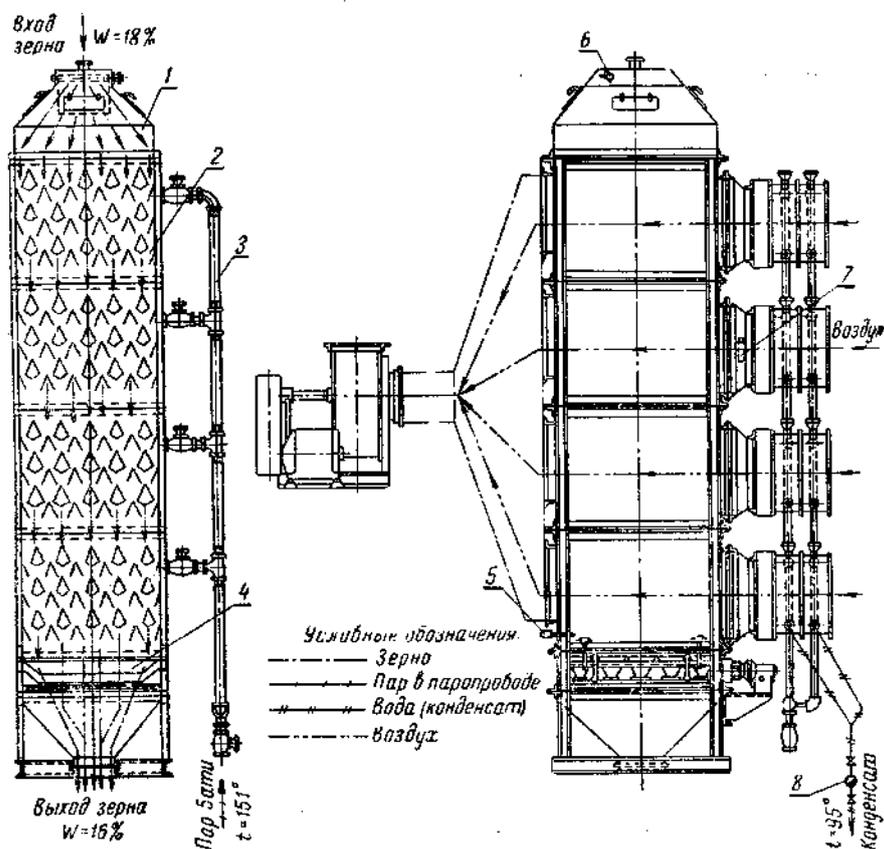


Рис. 9-10. Аппарат В-10 для охлаждения зерна воздухом:

1 — приемное устройство; 2 — сушильная секция; 3 — паропровод; 4 — выпускной механизм; 5 — дистанционный термометр; 6 — микропереключатель; 7 — манометрический электроконтактный термометр; 8 — конденсагоотводчик.

Кроме того, выходной патрубок аналогично с приемным патрубком имеет заслонку с микропереключателем, который при поступлении зерна открывает вентиль с электромагнитным приводом, в результате чего пар подается к форсункам. В выходной патрубок вмонтирован также датчик автоматического регулятора температуры зерна, изменяющего подачу пара в скоростной кондиционер.

В системе паропроводов, соединяющей форсунки с паровой магистралью, установлен вентиль, работающий от электромагнитного привода.

Аппарат В-10 (см. рис. 9-10) представляет собой конструкцию шахтного типа. Он состоит из приемного устройства, четырех сушильных секций, паропровода, пульта управления и сигнализации, калориметра, вентилятора и выпускного устройства.

В приемном устройстве смонтирована заслонка с микропереключателем, который служит для пуска аппарата при наполнении шахты зерном и остановки его при отсутствии зерна в шахте.

Влагосниматели секции представляют собой сварные рамы, внутри которых в шахматном порядке установлены короба, открытые в нижней части и выполняющие роль воздушных каналов. Нижние ряды коробов, считая через один, сообщаются с коллектором для подвода воздуха, верхние ряды рассекателей сообщаются с коллектором для отвода воздуха. В связи с этим теплый воздух, поступая в нижние ряды рассекателей, пронизывает снизу вверх слой зерна по всей длине секции, поступает в верхние ряды рассекателей и по ним направляется в отводящий коллектор.

В качестве механического побудителя выпуска зерна служит каретка, которая приводится в возвратно-поступательное движение экс-центриково-рычажным механизмом от электродвигателя через червячный редуктор.

Калориферы предназначены для нагрева воздуха и последующего направления его в шахту влагоснимателя через подводящий зонт, крепящийся одной стороной к шахте. С другой стороны зонта крепятся жалюзи с калориферами. На одном из зонтов устанавливается термобаллон электроконтактного термометра для замера температуры воздуха, поступающего в шахту.

Паропровод предназначен для соединения калориферов с паровой магистралью и представляет разветвленную систему трубопроводов, включающую в себя муфтовые вентили.

Лекция 10,11. -4ч.

Машины для измельчения зерна и компонентов комбикормов.

Вальцовые измельчители. Назначение, область применения и классификация вальцовых станков. Теоретические основы процесса измельчения зернами продуктов его переработки.

Конструкция и основные узлы вальцовых станков. Методика определения минимального диаметра вальцов. Типы вальцов, конструкция, общие требования. Типы приводов вальцовых станков. Устройство системы подачи зерна в межвалковый зазор и системы

Методика расчета вальцовых станков. Современные типы вальцовых станков,

Дробилки для зерновых продуктов и компонентов комбикормов. Назначение, область применения и конструкция дробилок. Схемы и принцип действия основных элементов и систем. Определение основных параметров молотковых дробилок.

Измельчители специального назначения. Конструкция и принцип действия» Классификация, устройство и работа разрыхлителей для спрессованных мучнистых продуктов.

Общие положения.

#### § 1. Назначение и область применения

На мельницах, перерабатывающих зерно в муку, и комбикормовых предприятиях, изготавливающих продукты для кормления животных, птиц и рыб, измельчающие машины являются основным и наиболее энергоемким видом технологического оборудования.

Ниже приведена классификация измельчающих машин, применяемых на предприятиях по хранению и переработке зерна, в зависимости от назначения их и принципов воздействия рабочих органов на разрушаемый материал.

Рабочие органы всех измельчающих машин совершают вращательное движение с окружными скоростями от 4 до 100 м/сек и больше.

#### Классификация машин

Ниже приведена классификация измельчающих машин

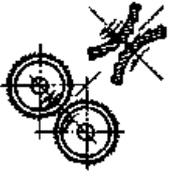
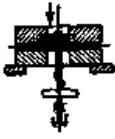
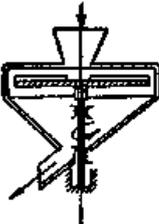
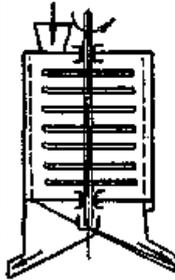
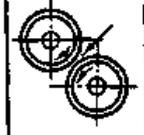
<i>Вальцовый станок</i>	<i>Жерновой постап</i>	<i>Дисковый измельчитель</i>	<i>Молотковая мельница</i>	<i>Бичебая машина</i>	<i>Плосцильный станок</i>
					
<i>Вид воздействия рабочих органов машины на измельчаемый продукт</i>					
<i>Сжатие и сдвиг</i>	<i>Сжатие и сдвиг</i>	<i>Удар</i>	<i>Удар и истирание</i>	<i>Истирание и удар</i>	<i>Сжатие</i>

Рис. 1. Классификация измельчающих машин.

### Назначение и структура процесса измельчения.

При производстве муки процесс измельчения зерна и промежуточных продуктов является одним из главных, так как в значительной мере влияет на выход и качество готовой продукции, на эффективность и стабильность работы последующего оборудования для сортирования продуктов размола. Измельчение зерна — одна из наиболее энергоемких операций. Технологические приемы и машины, применяемые для измельчения, в значительной степени определяют технико-экономические показатели мукомольного завода.

Измельчением называют процесс разрушения твердых тел под действием ударных или ударно-истирающих внешних сил. Различаются два вида измельчения:

-простое измельчение, при котором все составляющие твердое тело части разрушаются равномерно для получения однородной смеси;

-избирательное измельчение, при котором твердые тела, неоднородные по составу, разрушаются для извлечения определенных частиц, входящих в состав данных тел. В этом случае измельчение происходит многократно, с тем чтобы достигнуть более полного извлечения указанных частиц.

В мукомольной промышленности при простых помолах зерна пшеницы и ржи, например в обойную муку, используют метод простого измельчения, при

сложных помолах для получения сортовой муки высокого качества — метод избирательного измельчения. Избирательность измельчения связана с необходимостью выделения максимального количества эндосперма как наиболее ценной части зерновки.

Основные требования, предъявляемые к процессу измельчения при сортовых помолах зерна пшеницы и ржи, сводятся к получению максимального количества промежуточных продуктов в виде крупок и дунстов высокого качества, обогащению полученных промежуточных продуктов, последующему их измельчению в муку и вымолу оболочек от оставшихся частиц эндосперма. Поэтому процесс измельчения зерна пшеницы при сортовых помолах по своей структуре состоит из трех этапов: крупобразование с вымолом оболочек (драной процесс), обогащение промежуточных продуктов (шлифовочный процесс), тонкое измельчение обогащенных промежуточных продуктов с вымолом оставшихся оболочек (размольный процесс).

Указанные этапы имеют определенное назначение и взаимосвязь в последовательном измельчении зерновых продуктов. Измельчение зерна и зерновых продуктов на мукомольных заводах — основной процесс, наиболее эффективно изменяющий физическую и технологическую характеристику продуктов. Рассматривая измельчение зерна как основу технологического процесса на мукомольном заводе, не следует забывать, что оно органически связано с другими процессами переработки зерна, и в первую очередь с сортированием, без которого невозможно современное производство сортовой муки. Основной измельчающей машиной в процессе производства муки, определяющей режим работы, производительность и эффективность последующего технологического и транспортного оборудования, служит вальцовый станок. Дополнительные (вспомогательные) операции измельчения осуществляют в результате ударного воздействия в вымольных машинах, энтолейторах, деташерах.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Учитывая избирательность процесса измельчения при сортовых помолах зерна пшеницы и ржи, заключающуюся в стремлении получить максимальный выход наиболее ценной части зерновки — эндосперма, технологическую оценку эффективности процесса измельчения проводят по двум показателям одновременно: количественным и качественным.

К количественным показателям относят общее, или суммарное, извлечение, частное извлечение и коэффициент извлечения, характеризующий относительное приращение количества измельченного продукта.

Коэффициент извлечения определяют по формуле:

$$K_{II} = \frac{I_K - I_{II}}{100 - I_{II}} * 100 \quad (1)$$

где  $I_K$  — величина конечного извлечения через определенный номер сита;  $I_{II}$  — величина начального извлечения через сито того же номера до измельчения.

Коэффициент извлечения можно определить как по общему, так и по частному извлечению.

Количественные показатели процесса измельчения применяют к различным этапам технологического процесса дифференцированно. Так, показатель общего извлечения обычно используют при оценке эффективности измельчения зерновых продуктов на крупнообразующих системах (I...IV др. с.), на которых образуются частицы различной крупности, представляющие измельченный эндосперм и частично оболочки. На других этапах технологического процесса (шлифовочный и размольный) для оценки процесса измельчения удобно пользоваться показателем частного извлечения, например муки.

К качественным показателям процесса измельчения относятся такие показатели, как зольность различных продуктов измельчения, цвет муки, количество клетчатки в муке и отрубях и количество крахмала в

отрубях. Качественные показатели эффективности процесса измельчения, как и количественные, используют также дифференцированно для различных этапов технологического процесса. Наибольшее применение находит показатель зольности различных промежуточных продуктов (крупок, дунстов) и готовой продукции (муки, манной крупы, отрубей). Зольность служит лишь относительным показателем качества зерновых продуктов. За последние годы широкое применение получило определение белизны муки на цветометре, что повысило оперативность в оценке качества муки.

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Процесс измельчения зерновых продуктов — наиболее энергоемкий среди других технологических процессов мукомольного производства. Энергоемкость процесса измельчения учитывают по расходу электроэнергии на производство 1 т муки. Рассматривая зерновые продукты как совокупность твердых тел, при определении энергоемкости их измельчения принимают следующее упрощающее допущение: измельченный продукт является сплошным (без пустот), однородным и изотропным, т.е. во всех точках и в каждой точке во всех направлениях он имеет одинаковые физико-технологические свойства. Энергоемкость процесса измельчения зерновых продуктов определяют совокупностью таких взаимосвязанных элементов, как:

- а) работа, необходимая для упругого и пластического деформирования частиц, образования и развития в них макро- и микротрещин;
- б) работа, необходимая для образования новых поверхностей при разрушении частиц в условиях создаваемого в них напряжения, превосходящего предел прочности;
- в) работа, необходимая для преодоления сопротивлений, обусловленных внутрисистемными силами сцепления, взаимного трения движущихся частиц, их трения о поверхность рабочего органа;
- г) работа, обусловленная деформированием и изнашиванием поверхности рабочего органа при его контакте с частицами;
- д) работа, обусловленная преобразованием подводимой

механической энергии в тепловую, колебательную (энергию вибрации и звука), а также в энергию электростатических зарядов.

Образующаяся в измельчителе теплота конвективным и радиационным способами передается измельченному продукту, аспирируемому воздуху, технологическому и транспортному оборудованию, окружающей воздушной среде.

Если напряжения, возникающие в материале превышают силы сцепления материал распадается на куски. Определение затрачиваемой при этом энергии составляет одну из главных проблем в теории измельчения. Работа, затрачиваемая на измельчение твердых тел, может быть выражена следующим уравнением (по П. А. Ребиндеру):

$$A = A_{у.п.д.} + A_{п.р.} + A_{д.и.} \quad (2)$$

где:  $A_{у.п.д.}$ ,  $A_{п.р.}$ ,  $A_{д.и.}$  — соответственно работа, затрачиваемая на упругие и пластические деформации измельчаемых частиц, на образование поверхностей их раздела, на деформацию и изнашивание рабочих органов.

Работу, отнесенную к единице деформируемого объема твердых тел (Н·см), можно найти по формуле

$$A_{у.п.д.} = m * \frac{\sigma_B^2 * V}{2 * E} \quad (3)$$

Где:  $m$  — число циклов измельчения;  $\sigma_B^2 / 2E$  — удельная работа, затрачиваемая на деформирование материала при его разрушении, Н·см/см<sup>3</sup>;  $\sigma_B$  — предел прочности тел, Н/см<sup>2</sup>;  $E$  — модуль упругости измельчаемого материала, Н·см<sup>2</sup>;  $V$  — общий объем деформируемых тел, см<sup>3</sup>.

Если  $K_r$  — работа, затрачиваемая на образование единицы площади поверхности раздела, Н·см/см<sup>2</sup>;  $F_K$  —  $F_H = \Delta F$  — площадь вновь образованной поверхности раздела, см<sup>2</sup>;  $a = \left( \frac{F_K}{F_H} \right)^n$  — коэффициент, значение которого обусловлено конструктивными особенностями измельчителя и условиями его действия;  $F_K$  и  $F_H$  — конечная и начальная площади поверхности частиц,

образующих продукт измельчения и исходный материал, см<sup>2</sup>;  $\Pi > 0$  (при тонком измельчении), то

$$A_{п.р.} = K_R * \Delta F_a = K_R * \Delta F * \left( \frac{F_K}{F_H} \right)^n \quad (4)$$

При этом энерготехнологический коэффициент полезного действия измельчителя составляет:

$$\eta = \frac{A_{п.р.}}{A} = \frac{A_{п.р.}}{A_{у.п.д.} + A_{п.р.} + A_{д.и.}} = \frac{1}{1 + \frac{A_{у.п.д.} + A_{д.и.}}{A_{п.р.}}} = \frac{1}{\left( 1 + \frac{\frac{m\sigma_B^{2V}}{2E} + A_{д.и.}}{K_R * \Delta F * \left( \frac{F_K}{F_H} \right)^n} \right)} \quad (5)$$

Таким образом, с увеличением  $K_R \Delta F$  и уменьшением  $m$ ,  $\sigma_B^2/2E$  и  $A_{д.и.}$  увеличивается значение коэффициента полезного действия.

Иначе говоря, для снижения энергоемкости процесса измельчения зерновых продуктов необходимо: а) повысить износостойкость рабочего органа измельчителя, что приведет к уменьшению  $A_{д.и.}$ ; б) технологически рационально уменьшить число измельчающих систем и интенсифицировать режим их работы, что позволит уменьшить число циклов измельчения  $\underline{m}$ ; в) уменьшить величину отношения  $\sigma_B^2/2E$  и увеличить произведение  $K_R \Delta F$  (для этого нужно применять водную или гидротермическую обработку зерна).

Существенное влияние на энергоемкость процесса измельчения оказывают структурно-механические свойства зерна и его анатомических частей, среди которых необходимо особо выделить: деформативные, прочностные и упругокинетические свойства. При характеристике зерновой массы по указанным показателям возникают трудности из-за различия свойств зерновок, входящих в состав данной зерновой массы. Поэтому для характеристики структурно-механических свойств применяют такие показатели, как стекловидность, влажность, размолоспособность и другие, которые комплексно учитывают указанные свойства.

Так, В. Я. Гиршсон установил, что структурно-механические свойства эндосперма, оцениваемые его общей стекловидностью, оказывают существенное влияние на сопротивляемость зерен пшеницы и их анатомических частей (эндосперма и оболочек) разрушающим усилиям.

Зерновую массу целесообразно подвергать такому динамическому нагружению, при котором в частицах в результате деформации сдвига и среза возникают касательные напряжения наряду с нормальными напряжениями. Учитывая значительное различие в пределах прочности эндосперма и оболочек зерна пшеницы, целесообразно для обработки оболочечных продуктов применять машины ударно-стирающего действия, в которых в результате многократных сдвигающих усилий образуются мучнистый и оболочечный продукты без существенного измельчения покровных тканей.

Влажность зерен пшеницы также оказывает существенное влияние на энергоемкость процесса измельчения. По данным И. А. Наумова можно заключить, что увеличение разрушающих усилий сжатия обусловлено повышением стекловидности эндосперма при неизменной влажности зерна и уменьшением влажности зерна при неизменной стекловидности эндосперма.

## ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ В ВАЛЬЦОВЫХ СТАНКАХ

Основные факторы, влияющие на процесс измельчения зерновых продуктов в вальцовых станках, — это структурно-механические и технологические свойства зерна, кинематические и геометрические параметры парноработающих вальцов и нагрузка на машину. Наибольшее влияние на эффективность процесса измельчения в вальцовых станках оказывают стекловидность и влажность зерновой массы.

Стекловидность характеризует консистенцию эндосперма зерна, его структурно-механические и технологические свойства, т. е. поведение зерна в процессе измельчения, его количественные, качественные и энергетические

показатели. Зерно с более высокой стекловидностью обладает повышенной прочностью и требует больших энергетических затрат на измельчение.

Установлено, что с повышением влажности зерна возрастает его сопротивляемость разрушению, снижается микротвердость и повышается удельный расход электроэнергии. Повышение влажности зерна от 14 до 16,5 % снижает выход промежуточных продуктов на крупнообразующих системах, качество их улучшается по показателю зольности при одновременном росте удельного расхода электроэнергии на измельчение. Учитывая существенное улучшение качества промежуточных продуктов и муки вследствие меньшей дробимости оболочек, следует стремиться к повышению влажности перерабатываемого зерна до возможных пределов, что широко используют передовые предприятия мукомольной промышленности.

К кинематическим параметрам относят окружные скорости быстро- и медленно вращающегося вальцов  $V_B$  и  $V_M$  и их отношение  $K=V_B/V_M$ . К геометрическим параметрам вальцового станка относят: величину межвальцового зазора  $b$ , рабочую поверхность вальцов — рифленая или микрошероховатая, характеристику поверхности рифленых вальцов — число рифлей на единицу длины окружности вальца  $P$ , уклон рифлей  $U$ , профиль рифлей, взаимное расположение рифлей парноработающих вальцов, диаметр вальцов  $D$ , длину вальцов  $L$ .

Окружные скорости вальцов ( $v_6$  и  $v_M$ ). Они оказывают основное влияние на скорость приложения усилий от вальцов к измельчаемому продукту, а также на скорость обработки продукта в рабочей зоне вальцов. Окружные скорости вальцов определяют скорость  $v_ч$  измельчаемых частиц в рабочей зоне вальцов:

$$V_ч = \frac{V_B + V_M}{2} * \cos \alpha \quad (6)$$

где  $\alpha$  — угол захвата частицы вальцами.

Из приведенной зависимости видно, что по мере перемещения частицы от входного зазора между вальцами А к выходному В угол  $\alpha$  уменьшается, а скорость частицы возрастает.

На линии центров  $\cos\alpha = 1$ , а  $V_q = (V_B + V_M)/2$ . Учитывая, что  $v_6 > v_M$ , можно записать соотношение  $V_B > V_q > V_M$ . Из соотношения следует, что быстровращающийся валец обгоняет частицу в зоне измельчения и обрабатывает ее своими рифлями, а частица, обгоняя медленновращающийся валец, обрабатывает себя о его рифли. Повышение окружных скоростей с 4 до 10 м/с (для быстровращающегося вальца) приводит к увеличению степени измельчения зерновых продуктов на всех этапах. При этом качество извлекаемых промежуточных продуктов и муки по зольности ухудшается, а удельный расход электроэнергии возрастает.

Особенно заметно качество муки ухудшается на системах, обрабатывающих продукты, содержащие оболочки. Это объясняется повышением скорости деформирования всех измельчаемых продуктов, в том числе и оболочечных продуктов, которые, попадая в извлекаемые продукты, ухудшают их качество по зольности. Поэтому при сортовых помолах пшеницы окружную скорость быстровращающегося вальца на системах вымола оболочечных продуктов следует устанавливать в пределах 4...6 м/с, а на остальных системах — 5...6 м/с.

Отношение окружных скоростей валцов. Оно связано с величиной сдвигающих усилий и соотношением сдвигающих и сжимающих усилий в рабочей зоне валцов. С увеличением отношения окружных скоростей валцов возрастают усилия на измельчаемый продукт как со стороны быстровращающегося, так и со стороны медленновращающегося вальца. При этом сжимающие усилия также возрастают, поскольку снижается средняя скорость частиц продукта в рабочей зоне валцов из-за увеличения тормозящего воздействия со стороны медленновращающегося вальца. С увеличением отношения окружных скоростей валцов повышается степень измельчения зерновых продуктов на всех этапах, качество извлекаемых продуктов по зольности несколько ухудшается, особенно при измельчении продуктов, содер-

жащих значительное количество оболочек, что указывает на их интенсивное измельчение.

При определенных условиях увеличение отношения скоростей может привести к снижению степени измельчения продуктов, особенно на размольных системах с износившимися рифлями. Это объясняется ростом пластических деформаций. Рекомендуются следующие отношения окружных скоростей валцов: на системах этапа крупобразования 2,5; на системах вымола в драном процессе 1,5...2,0; на системах шлифовочного процесса 1,2...1,5; на системах размола продуктов первого качества 1,8...2,5; на системах размола продуктов второго качества и вымола 1,5.

Для валцовых станков типа А1-БЗН рекомендуются:

окружные скорости быстровращающихся нарезных валцов 5,5...6 м/с, микрошероховатых валцов 5,15... 5,4 м/с;

отношение окружных скоростей быстро- и медленно-вращающихся рифленых валцов 2,5, микрошероховатых 1,25.

Нарезные валцы применяют в станках на драных системах, 11-й и 12-й размольных системах, на остальных системах рекомендуются станки с микрошероховатыми валцами.

Величина межвальцового зазора. При сортовых помолах пшеницы изменяется от 0,03 до 1,5 мм и является единственным оперативно регулируемым параметром процесса измельчения. Величина межвальцового зазора, как параметр процесса измельчения, зависит от многих структурно-механических и технологических свойств зерна, состояния рабочей поверхности валцов, степени износа рифлей, нагрузки на машину. Поэтому величина межвальцового зазора непостоянна даже для одной и той же системы, хотя заданная величина извлечения определенных продуктов должна быть неизменной.

Изменение величины межвальцового зазора вызывает изменение силового нагружения частиц в зоне измельчения, поскольку изменяются величина сдвигающих и сжимающих усилий, а также их соотношение. При уменьшении

межвальцового зазора силовое нагружение частиц продукта возрастает, а степень измельчения увеличивается.

Для математического описания зависимости общего извлечения от величины межвальцового зазора А. В.Панченко предложил эмпирическую зависимость

$$U = te^{-nb}, \quad (7)$$

где  $t$  и  $n$  — опытные коэффициенты для данной системы;  $e$  — основание натуральных логарифмов;  $b$  — величина межвальцового зазора.

Анализ указанной зависимости показывает, что изменение межвальцового зазора в арифметической прогрессии вызывает изменение общего извлечения в геометрической прогрессии. Уменьшение величины межвальцового зазора вызывает, как правило, повышение дисперсности извлекаемых продуктов. Зольность муки при этом также повышается. Исключение составляют системы, обрабатывающие хорошо обогащенные частицы эндосперма, т. е. продукты первого качества.

Вальцовые устройства применяются для выполнения технологических операций дробления, перетирания, размола, отжима, плющения и др. Рабочими органами вальцовых устройств являются вальцы, установленные с небольшим зазором и вращающиеся с одинаковыми или разными скоростями навстречу друг другу.

Вальцы должны быть прочными, жесткими, износостойкими и теплопроводными, отбалансированными, со строго цилиндрической поверхностью, с цапфами, выполненными с высокой точностью соосности.

Поверхность вальцов должна соответствовать их технологическому назначению. Применяют нарезные (рифленые), гладкие и микрошероховатые вальцы. Наибольшее распространение получили нарезные вальцы. Вид нарезки обозначают:  $\Pi$  — количество рифлей на один сантиметр ( $\Pi = 3,5 \dots 11$ ); продольный уклон рифлей ( $\gamma = 4 \dots 10\%$ ); угол заострения рифлей ( $\gamma = 90 \dots 110^\circ$ ); угол острия ( $\alpha = 30 \dots 40^\circ$ ); угол спинки ( $\beta = 60 \dots 70^\circ$ ). В зависимости от

взаиморасположения граней острия и спинки рифлей парноработающих вальцов в зоне измельчения различают четыре положения: «острие по острию», «спинка по острию», «острие по спинке», «спинка по спинке» (обозначение рифлей начинают с быстровращающегося вальца). При расположении рифлей «острие по острию» превалируют деформации скалывания (сдвига и среза), «спинка по спинке» - деформации сжатия и сдвига. В первом случае крупнообразование происходит более интенсивно.

Пустотелые вальцы применяются в случае необходимости создания теплообмена (нагревания или охлаждения продукта). Подшипники вальцов должны быть самоустанавливающимися, обеспечивать параллельность геометрических осей вальцов и иметь надежные смазочные устройства. Для плавного регулирования зазора между вальцами необходимо предусматривать специальные устройства, исключающие их соприкосновение; величина зазора (от десятков микрометров до миллиметров) зависит от назначения вальцового устройства.

Типичная схема привода вальцов показана на рис.2,а. Движение от двигателя через клиновые ремни передается быстровращающемуся вальцу 1, связанному через зубчатые колеса 2 и 3 с медленно вращающимся вальцом 4. Характерным для рассматриваемой конструкции является наличие замкнутого контура, в котором происходит циркуляция мощности. Этот контур составлен зубчатой и фрикционной передачей, состоящей из пары вальцов, взаимодействующих друг с другом посредством измельчаемых частиц. Циркуляционная мощность  $N_{ц} = (0,5—0,6) * N_{д}$ , где  $N_{д}$  — полная мощность, подводимая к паре вальцов.

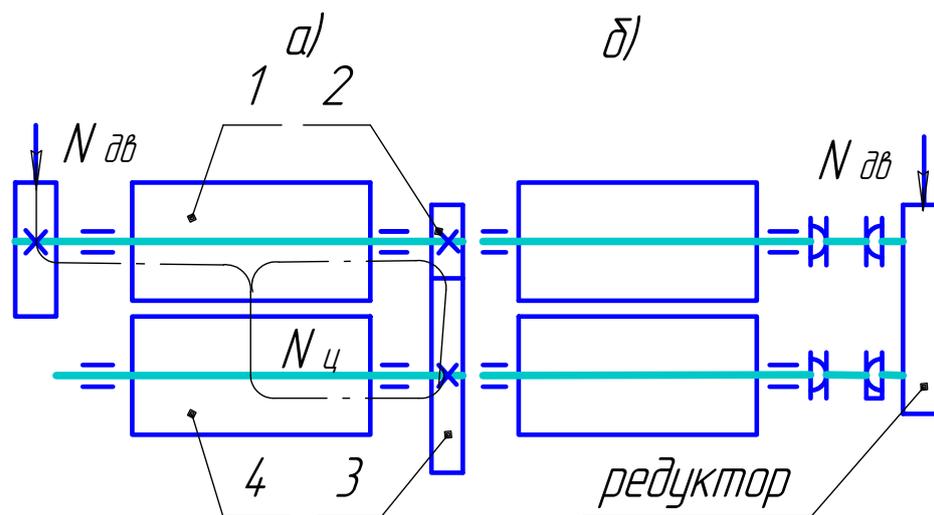


Рис. 2 Схема привода вальцов

Недостатком описанной конструкции привода является изменение межцентрового расстояния зубчатой передачи при регулировке зазора между вальцами, что приводит к ускоренному износу зубчатой передачи и повышенному шуму в ней. Этого недостатка не имеет привод вальцов, кинематическая схема которого показана на рис. 2,б. Возможность изменения межцентрового расстояния обеспечена за счет применения двойных универсальных шарниров. При этой конструкции вальцы не нагружаются усилиями от зубчатых колес, что также улучшает условия их работ.

## РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ВАЛЬЦОВЫХ УСТРОЙСТВ.

Основные факторы влияющие на процесс измельчения зерновых продуктов в вальцовых станках, - это структурно-механические и технологические свойства зерна, кинематические и геометрические параметры парноработающих вальцов и нагрузка на машину.

К кинематическим параметрам относят окружные скорости быстро- и медленновращающегося вальцов  $V_6$  и  $V_M$  и соотношения скоростей  $K = V_6 / V_M$ . В настоящее время при размоле зерна в сортовую муку принимают  $V_6 = 5,5 \dots 6,5$  м/с, при размоле зерна в обойную муку  $V_6 = 8 \dots 12$  м/с. В первом случае соотношение скоростей выбирают: для драных систем  $K = 2,5$  и для размольных

систем  $K = 1, 1 \dots 1, 6$ . Скорость обработки зерна в рабочей зоне вальцов определяем по формуле (8).

$$V_3 = \frac{V_0 + V_M}{2} * \cos \alpha \quad (8)$$

Величина (b) межвальцового зазора при сортовых помолах пшеницы изменяется от 0,03 до 1,5 мм и зависит от технологического назначения. При уменьшении межвальцового зазора силовое нагружение частиц продукта возрастает, а степень измельчения увеличивается.

Работа вальцовых станков характеризуется производительностью, степенью измельчения зерна и расходом энергии на размол. Производительность  $Q$  (кг/ч) одной пары вальцов определяем по формуле (9).

$$Q = 3600 * b * L_p * \rho * V_3 * k_1 \quad (9)$$

где  $b$  – зазор между вальцами, м;

$L_p$  – рабочая длина вальцов, м;

$\rho$  - объемная масса измельчаемого продукта,  $\text{кг/м}^3$  ;

$V_3$  – скорость обработки зерна в зазоре между вальцами, м/с;

$k_1$  – коэффициент полезного использования зоны измельчения, который всегда меньше единицы, ( $k_1 = 0.2 \dots 0.3$ ).

Для определения производительности работающей пары вальцов применяют упрощенную зависимость (10).

$$Q = q * L_p \quad (10)$$

где  $q$ - удельная нагрузка на вальцы,  $\text{кг}/(\text{см} * \text{ч})$ , определяется по таблице.

Производительность станка, степень измельчения и расход энергии взаимосвязаны и определяются отношением окружных скоростей вальцов, диаметром и правильностью геометрической формы вальцов, профилем и характеристикой рифлей.

Увеличение окружных скоростей вальцов существенно повышает производительность при незначительном увеличении расхода энергии.

Диаметр вальца определяют из условия затягивания частицы материала в зазор между вальцами. Частица (рис.3.), находящаяся между гладкими вальцами,

вращающимися с одинаковыми угловыми скоростями, будет увлекаться силами трения  $F$  в зазор (диаметры валцов одинаковые). Однако войти в зазор, не деформировавшись, частица не может. Оказывая сопротивление, частица воспринимает со стороны валцов нормальные усилия  $P$ . Если при этом разность вертикальных составляющих будет направлена к зазору (вниз), то частица, разрушаясь, попадает в зазор, если эта разность направлена от зазора (вверх), то валцы не смогут захватить частицу и увлечь ее в зазор.

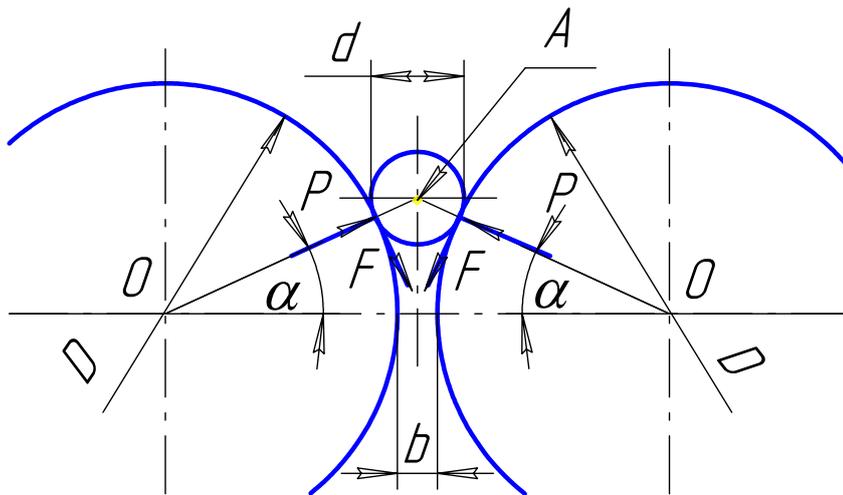


Рис.3. Схема к определению диаметра вальца.

При указанных условиях важную роль играет угол  $\alpha$  захвата частицы, под которым понимают угол, образованный нормалью  $OA$  и линией, соединяющей центры вращения валцов. Таким образом, необходимым условием работы вальцового устройства является соблюдение неравенства (11).

$$2 * P * \sin \alpha > 2 * P * \cos \alpha \quad (11)$$

откуда

$$\operatorname{tg} \alpha < f = \operatorname{tg} \varphi \quad \alpha < \varphi$$

где  $\varphi$  — угол трения частицы о поверхность валцов.

Исходя из геометрических построений получаем следующее выражение (12).

$$D + b = D * \cos \alpha + d * \cos \alpha \quad (12)$$

Отсюда

$$D = \frac{(d * \cos \alpha - b)}{(1 - \cos \alpha)}$$

где  $D$ — диаметр вальца;  $d$  — диаметр частицы;  $b$  — зазор между вальцами.

Минимальный  $D_{\min}$  диаметр вальцов определяют по формуле (13), которую получают при подстановке в последнее выражение вместо  $\alpha$  угла захвата  $\varphi$  угла трения.

$$D_{\min} = \frac{(d * \cos \varphi - b)}{(1 - \cos \varphi)} \quad (13)$$

Практически ( $D$ ) диаметр вальцов принимают в 2,5—3 раза большим, чем получают по расчету. Это объясняется необходимостью придания вальцам достаточной жесткости и получения достаточного махового момента, обеспечивающего равномерность их вращения. Рабочую длину вальцов выбирают примерно равной (2,5...4)  $D$  или определяют из формулы производительности. В случае применения рифленых вальцов влияние рифлей учитывают, увеличивая расчетный угол трения на 20—30%.

По требованиям технологии измельчения зерна ( $y$ ) величина рабочего прогиба вальцов не должна превышать  $[y]$  допустимый прогиб и сами вальцы должны также рассчитываться на жесткость. Допустимым прогибом вальца является ( $[y]= 0,01$  мм), так как при большем значении прогиба эффективное измельчение продукта будет происходить только по краям зазора.

Величина  $y$  (см) рабочего прогиба определяется по формуле (14).

$$y = \frac{5 * q * L^4}{384 * E * J} \quad (14)$$

где  $q$  — удельная нагрузка, кГ/см;

$L$  — расстояние между опорами, см, оно равно  $L = L_p + 2 * \Delta L$

$\Delta L$  — расстояние от торца вальца до середины подшипникового узла, см;

$E$  — модуль упругости материала вальца, кГ/см<sup>2</sup>;

$J$  — момент инерции сечения вальцов, см<sup>4</sup>.

Момент инерции сечения вальца определяем по формуле (15).

$$J = \frac{\pi * D^4}{64} \quad (15)$$

Мощность  $N$  (кВт), потребную для привода вальцов определяем по формуле (16).

$$N = 17 * L_p * D * n * \left( \frac{d_H}{0,02} + \frac{D^2}{2.4} \right) \quad (16)$$

где  $L_p$  – рабочая длина вальцов, м;

$D$  – диаметр вальца, м;

$n$  – частота вращения вальцов,  $c^{-1}$ ;

$d_H$  – диаметр частицы исходного материала, м.

Частоту  $n$  ( $c^{-1}$ ) вращения вальцов определяем по формуле (17).

$$n = \frac{V_{\delta}}{\pi * D} \quad (17)$$

Крутящий  $M_K$  (н\*м) момент на валу вальцов определяем по формуле (18).

$$M_K = \frac{N_{II} * 1000}{2 * \pi * n} \quad (18)$$

Вальцы работают в условиях сложного напряженного состояния, обусловленного действием контактных нагрузок, изгибающих и крутящих моментов. Расчетная схема вальца может быть представлена в виде балки на двух опорах, нагруженной равномерно распределенными нагрузками от силы взаимодействия с обрабатываемым продуктом и веса, а также сосредоточенными силами и моментами, приложенными в местах крепления зубчатых колес.

Валец с запрессованными осями может рассматриваться как одно тело, поскольку было экспериментально доказано, что даже при нагрузках, превышающих несущую способность вальца, плотное соединение осей с гильзой не нарушается.

На быстроходный валец (рис. 4.) действуют следующие силы:  $T$  – окружная составляющая силы взаимодействия вальца с продуктом;  $R$  — радиальная составляющая силы взаимодействия вальца с продуктом (под углом  $\beta$ );  $G_B$  — сила тяжести вальца;  $G_K$  и  $G_{III}$  — силы тяжести зубчатого колеса и

шкива;  $Q$ - сила натяжения ремня (под углом  $\zeta$  );  $P_o$  - окружное усилие в зубчатой межвальцовой передаче;  $P_r$  - радиальное усилие в зубчатой передаче.

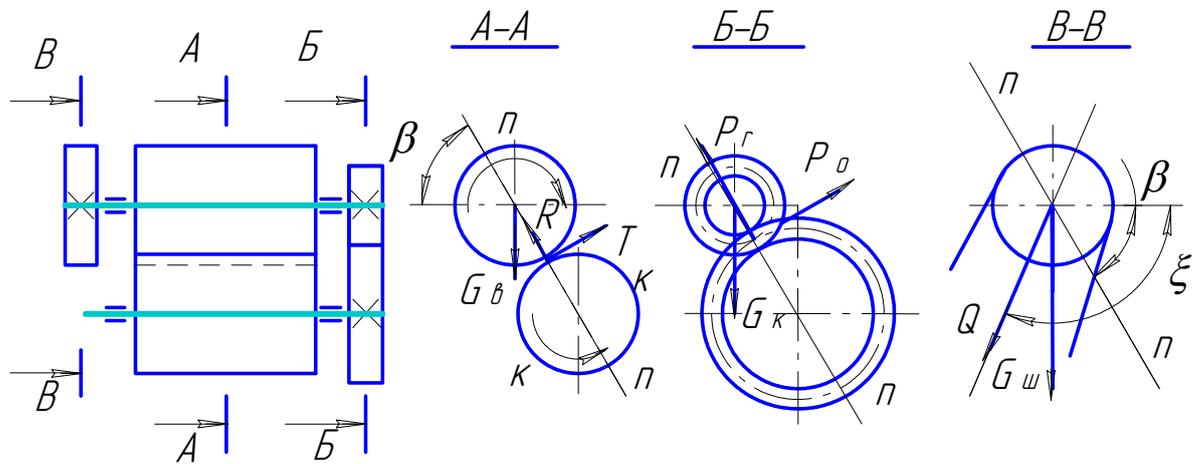


Рис.4. Схема действующих сил в вальцовочном устройстве.

Силы  $T$  и  $R$  (Н) определяются из технологического расчета по формулам (19), (20).

$$T = q * L_p * \cos \beta \quad (19)$$

$$R = q * L_p * \sin \beta \quad (20)$$

где  $q$  - равномерно распределенная нагрузка в межвальцовом зазоре (при измельчении  $q = 300$  Н/см, при плющении  $q=2500$ Н/см);

$L_p$  – рабочая длина вальцов, см;

$\beta$  - угол наклона оси вальцов, град.

Силы  $G_B$ ,  $G_K$  и  $G_{III}$  – определяются по проектным данным или результатам взвешивания.

Окружное усилие  $P_o$  (Н) определяется по формуле (21).

$$P_o = \frac{1000 * N_u}{\pi * d_d * n} \quad (21)$$

где  $d_d$  - диаметр делительной окружности, м;  $n$  - частота вращения ведущего колеса,  $s^{-1}$ .

Радиальное усилие  $P_r$  (Н) определяем по формуле (22).

$$P_r = P_o * tg\alpha_d \quad (22)$$

где  $\alpha_d$  — угол зацепления, град.

Сила  $Q$  (Н) от натяжения ремня передачи вычисляется по формуле (23).

$$Q \approx 3 * \sigma_o * F * \cos 0.5\gamma \quad (23)$$

где  $\sigma_o$  — напряжение от предварительного натяжения ремня ( $\sigma_o = 1,2$  МПа — для клиноременных передач,  $\sigma_o = 1,8$  МПа — для плоскоременных передач);  $F$  - площадь поперечного сечения ремня;  $\gamma$  — угол между ведущей и ведомой ветвями ремня.

Все силы проектируют на направление осей  $n - n$  и  $k - k$  (рис. ) и определяют составляющие опорных реакций по этим направлениям  $A_n, A_k, B_n, B_k$ . По этим данным могут быть построены эпюры изгибающих моментов  $M_n$  и  $M_k$  в плоскостях  $n - n$  и  $k - k$ , а также эпюра суммарного изгибающего момента, который определяется по формуле (24).

$$M = \sqrt{M_n^2 + M_k^2} \quad (24)$$

Эпюра крутящих моментов  $M_k$  строится в предположении, что на рабочей длине вальца и крутящий момент изменяется по линейному закону.

Напряжения от изгиба максимальны в том месте рабочей части вальца, в котором действует максимальный изгибающий момент  $M_{max}$ . Эти напряжения определяются по формуле (25).

$$\sigma_u = \frac{32 * D * M_{max}}{\pi * (D^4 - d_B^4)} \quad (25)$$

где  $d_B$  — внутренний диаметр пустотелого вальца.

В случае, если длина рабочей части вальца  $L_p$  и ее диаметр  $D$  близки, в формулу должен быть введен поправочный множитель.

Напряжения изгиба вычисляются по формуле (26).

$$\sigma_{max} = \sigma_u * f\left(\frac{L_p}{D}\right) \quad (26)$$

Приближенные значения поправочного множителя  $f(L_p/D)$  приведены ниже:

$L_p/D$	1,5	2	3	5
$f(L_p/D)$	1,82	1,32	1,032	1,015

Касательные напряжения определяем по формуле (27).

$$\tau_{\max} = \frac{16 * D * M_{KP}}{\pi * (D^4 - d_B^4)} \quad (27)$$

Условия прочности по усталости проверяем по формулам (28),(29).

$$n_{-1} = \frac{\varepsilon_n * \varepsilon_\sigma * \sigma_{-1}}{\sigma_{\max}} > [n_{-1}] \quad (28)$$

$$n_B = \frac{\sigma_B}{\sqrt{(\sigma_{\max}^2 + 4 * \tau^2)}} \geq [n_B] \quad (29)$$

где  $\varepsilon_n$  – коэффициент состояния поверхности (для гладких валцов  $\varepsilon_n=1,0$ ; для нарезных валцов  $\varepsilon_n=0,8$ );  $\varepsilon_\sigma$ - масштабный фактор;  $\sigma_{-1}$  – предел выносливости материала вальца.

Допускаемые значения запасов прочности составляют: по усталости  $n_{-1} = 2—3$ ; статической  $n_B = 5$ .

Опасное сечение запрессованных осей валцов, как правило, совпадает с торцом рабочей части вальца. Действующие напряжения в этом сечении определяют по формулам (30),(31).

$$\sigma = \frac{32 * M_H}{\pi * d_o^3} \quad (30)$$

$$\tau = \frac{16 * M_{KP}}{\pi * d_o^3} \quad (31)$$

где  $d_o$  — диаметр оси вальца.

Допускаемые значения запаса прочности оси составляют: по усталости  $n_{-1} = 1,6—2,0$ ; по текучести  $n_{\tau} = 2,1—2,5$ .

Чаще всего валцы изготовляют из специального чугуна литьем в металлические формы. У таких валцов поверхностный слой состоит из отбеленного чугуна глубиной 20...25 мм с твердостью HB 370—450.

Применяются также двухслойные валцы, сердцевина которых отлита из обычного серого чугуна, а наружная часть — из хромо-никелевого. Поверхностный слой двухслойных валцов обладает равномерной твердостью

НВ 500 на глубине 15—20 мм. Такие вальцы более износостойки и долговечны, чем отлитые из специального чугуна.

Вальцовые устройства снабжают механизмами питания и очистки поверхности вальцов. Механизм питания должен обеспечивать регулируемую равномерную по всей длине вальца подачу заданного количества продукта. В настоящее время чаще всего применяют двухвалковый питающий механизм (рис.5.), верхний питающий валик называют дозировочным, а нижний – распределительным. Дозировочный валик имеет продольные рифли, а распределительный валик имеет поперечные рифли.

Механизм питания должен подавать продукт в зону измельчения со скоростью равной или близкой к скорости медленновращающегося вальца. Скорость  $V_K$  (м/с) подачи частицы продукта можно определить из выражения (32).

$$V_K = V_o + \sqrt{2 * g * B} \quad (32)$$

где  $B$  – высота падения частицы, м;

$V_o$  – окружная скорость распределительного питающего вала, м/с.

Максимальную окружную скорость распределительного питающего вала определяем по формуле (33), при этом  $A = r$ , где  $A$ - расстояние от точки падения частицы до оси вращения распределительного вала.

$$V_o = \sqrt{g * r} \quad (33)$$

Диаметром ( $D_{\pi} = 2 * r$ ) питающего вала задаемся конструктивно,  $D_{\pi} = 74 \dots 90$  мм.

Для разработки кинематической схемы привода вальцов необходимо рассчитать общее передаточное число, которое определяем по формуле (34).

$$i = \frac{n_{об.}}{n} \quad (34)$$

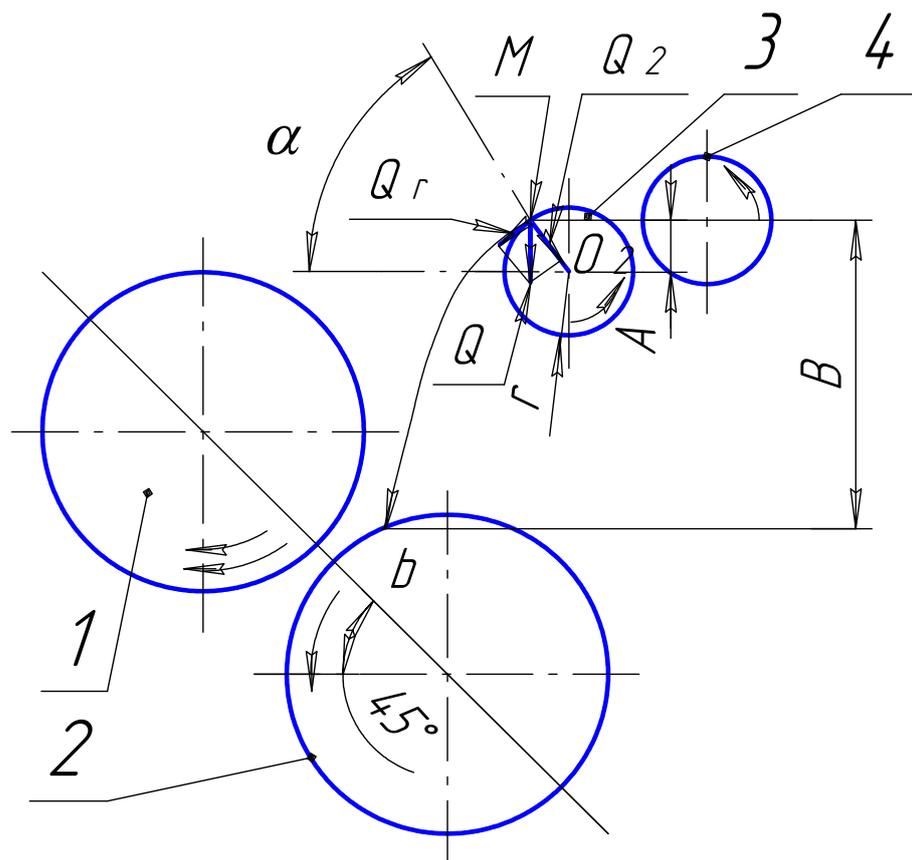


Рис.5. Питающий механизм вальцового станка.

1. Быстровращающийся валок; 2. Медленновращающийся валок;
3. Распределительный валок; 4. Дозировочный валок.

$M$  – точка отрыва частицы от распределительного валка;  $A$  – расстояние, отделяющее точку отрыва частицы от горизонтального диаметра валка;

$B$  – высота падения частицы;  $r$  – радиус распределительного валка;

$b$  – точка касания частицы медленновращающегося валка;

$Q$  – сила тяжести частицы.

#### Механизм регулирования зазора между вальцами.

Каждую пару вальцов в вальцовых станках обслуживает специальный привально-отвальный механизм, выполняющий следующие операции:

- грубый привал-отвал при пуске или остановке станка;
- мгновенный отвал вальцов в случае попадания между ними прочного инородного тела больших размеров, чем зазор между вальцами;
- выверку параллельности вальцов;
- настройку – параллельное сближение вальцов для установки требуемого зазора между ними.

В ряде современных конструкций вальцовых станков имеются механизмы для автоматического воздействия на величину зазора между вальцами. Эти механизмы можно разделить на три группы.

1. Механические автоматы для грубого отвала вальцов и остановки механизма питания при прекращении поступления продукта в приемный ковш станка. Эти автоматы предохраняют рифли вальцов от преждевременного износа, который происходит в случаях вращения вальцов с малым зазором без измельчаемого продукта, но не избавляют обслуживающий персонал от непрерывного наблюдения за работой станка.

2. Механические, электромеханические, гидравлические, электропневматические автоматы для грубого отвала-привала вальцов с автоматической остановкой-пуском механизма питания в связи с прекращением-возобновлением поступления продукта в питающий ковш станка. Некоторые из конструкций этих автоматов обеспечивают их срабатывание также в связи с ненормальным накоплением измельченного продукта под вальцами, перегрузкой электродвигателя данной пары вальцов, завалом измельченным продуктом пневмоприемника, обслуживающего данную пару вальцов. Эта группа автоматов не только предохраняет рифли от преждевременного износа, но и в значительной мере облегчает труд персонала, обслуживающего вальцовые станки. Кроме того, в данном случае исключается возможность загорания продуктов в станке из-за трения вальцов о продукт, накопившийся по той или иной причине под вальцами станка.

В конструкции этих автоматов очень важно предусмотреть, чтобы при отвале вальцов выключение механизма питания происходило с некоторым запаздыванием, а во время привала — с некоторым опережением. В этом случае поверхности вальцов при отсутствии продукта не будут соприкасаться, что исключит непроизводительный износ их поверхности.

3. Электромеханические автоматы для стабилизации заданного режима измельчения на данной паре вальцов. Эта группа автоматов пока, как

правило, является дополнением к автоматам второй группы и позволяет создать предпосылки к стабилизации режима помола в размольном отделении мельницы.

**Механизм привода валцов.** Механизм привода валцов состоит из привода быстровращающегося вальца и межвальцовой передачи, обеспечивающей разность скоростей валцов.

На современных мельницах быстровращающиеся валцы приводятся главным образом ременной передачей от индивидуальных электродвигателей, устанавливаемых преимущественно на нижележащем этаже, а в качестве межвальцовой передачи используются косозубые колеса с нормальным модулем  $M_n = 6$ .

При высоком режиме измельчения (извлечение до 5%), когда упругая — фрикционная связь поверхностей валцов через измельчаемый продукт незначительна и покрывается потерями на трение в опорах медленновращающегося вальца и в межвальцовой передаче, оба двигателя потребляют энергию из сети. В дальнейшем двигатель медленновращающегося вальца переходит в генераторный режим и отдает в сеть энергию, перенесенную силами сцепления через измельчаемый продукт с поверхности быстровращающегося вальца на поверхность медленновращающегося вальца. Таким образом, при наличии между валцами той или иной жесткой связи, в частности зубчатых колес, ведущим колесом является зубчатое колесо, укрепленное на шейке медленновращающегося вальца. Подобное явление происходит на всех системах помола в том случае, если  $K > 1$ . Практика показывает также, что лишь часть энергии, подводимой к быстровращающемуся валцу, проходит через межвальцовую передачу и в данном частном случае составляет максимально 40%. Из этого следует, что при расчетах на прочность межвальцовых передач следует принимать не все количество энергии, подводимой к данной паре валцов, а лишь часть ее в пределах 0,35—0,6.

Существуют следующие варианты привода быстровращающихся валцов:

-индивидуальный — от электродвигателя через плоско- или клиноременную передачу;

-трансмиссионный—через плоскоременную передачу;

групповой и непосредственно от электродвигателя через эластичную муфту.

В настоящее время в основном применяют первый тип привода. Второй еще сохранился на некоторых старых мельницах. Привод от трансмиссии имеет ряд недостатков:

большой расход металла и высокие первоначальные затраты на изготовление валов, шкивов, подшипников, муфт;

большие потери энергии на преодоление трения в подшипниках трансмиссионных валов и ременных передачах;

потребность в устройстве специального трансмиссионного этажа;

трудность в осуществлении автоматизации управления и контроля работы вальцовых станков.

Третий тип привода —групповой — применяется главным образом в агрегатных мельницах малой производительности, со сравнительно небольшим количеством малогабаритных вальцовых станков. Основными недостатками этого типа привода являются невозможность остановки половины и целого станка, не выключив всю батарею станков и трудность в осуществлении автоматизации управления работой каждого станка. Единственным преимуществом как группового, так и трансмиссионного приводов является несколько меньшая установленная мощность электродвигателя, чем суммарная установленная мощность индивидуальных электродвигателей для одного и того же количества вальцовых станков.

Для обеспечения вращения быстровращающегося вальца с частотой  $n$  мин<sup>-1</sup> разработаем кинематическую схему привода. Кинематическая схема представлена на рис.6.

Общее передаточное число привода является произведением всех передаточных чисел привода и определяется по формуле (35)

$$i = i_1 * \dots * i_n \quad (35)$$

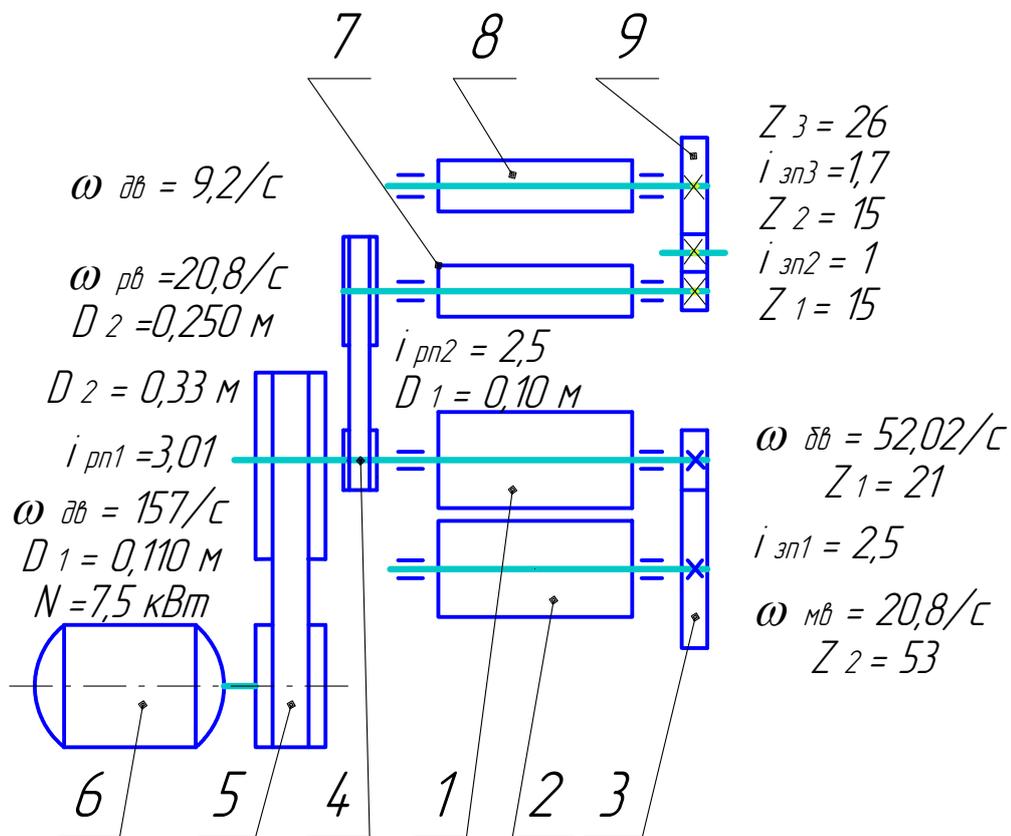


Рис.6. Кинематическая схема привода вальцовой пары.

1. Быстровращающийся валок; 2. Медленновращающийся валок;
3. Первая зубчатая передача; 4. Вторая ременная передача;
4. Первая ременная передача; 6. Электродвигатель;
7. Распределительный валок; 8. Дозировочный валок;
9. Вторая зубчатая передача.

Общий коэффициент полезного действия является произведением всех к.п.д. передач привода и определяется по формуле (36).

$$\eta = \eta_1 * \dots * \eta_n \quad (36)$$

Установленная мощность привода  $N_{пр}$  (кВт) определяем по формуле (37).

$$N_{пр} = \frac{N}{\eta_{пр}} \quad (37)$$

По рассчитанной установленной мощности и частоте вращения выбираем по справочнику [10] тип электродвигателя с частотой вращения  $n_{дв}$  мин<sup>-1</sup>.

Тогда  $i$  общее передаточное число привода определяем по формуле (38).

$$i = \frac{n_{дв}}{n}$$

Для рассчитанного передаточного отношения достаточно установить ременную передачу, которая позволит установить точную частоту вращения ротора.

Вальцовые станки. На мукомольных заводах используют в основном три типа вальцовых станков: ЗМ, БВ и А1-БЗН. Устройство вальцовых станков в основном одинаково, отличаются только конструкции отдельных узлов. Вальцовые станки состоят из двух параллельно работающих секций, разделенных продольной перегородкой. В каждой секции установлены пара вальцов, питающий механизм, привально-отвальное устройство, автомат управления (механический, гидравлический или электропневматический), приемные и выпускные устройства.

Рассмотрим работу вальцового станка на примере станка А1-БЗН (рис. 7). Измельчение зерна и промежуточных продуктов в вальцовых станках осуществляется в клиновидном пространстве, образованном цилиндрическими поверхностями двух параллельных вальцов, вращающихся навстречу друг другу с различными скоростями. Разрушение зерен происходит в результате сочетания деформаций сжатия и сдвига. Причем преобладание того или иного типа деформации зависит от отношения скоростей вальцов и взаимного расположения несимметричных рифлей на поверхности вальцов. Работа станка начинается с пуска электродвигателя, от которого клиновыми ремнями вращение передается шкиву верхнего вальца, а от него через межвальцовые шестерни — нижнему вальцу. От ступицы шкива верхнего вальца вращение плоским ремнем передается питающим валикам.

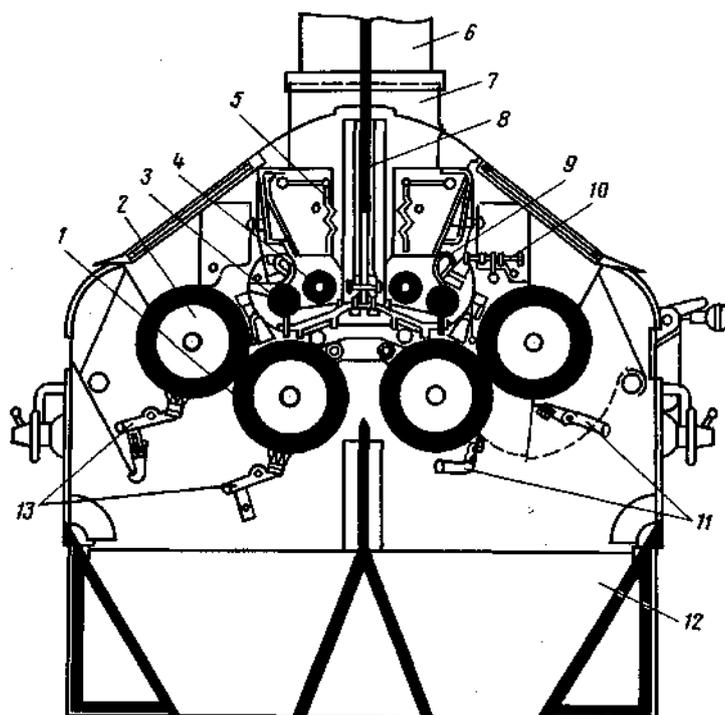


Рис. 7. Вальцовый станок А1-БЗН:

1,2 — мелющие вальцы; 3 — дозирующий валик; 4 — питающий шнек; 5 — датчики питания (шторки); 6 — приемная труба; 7 — горловина; 8 — сигнализатор уровня; 9 — заслонка; 10 — регулятор питающего зазора; // — ножи-очистители; 12 — выпускной бункер; 13 — щетки-очистители

При наполненной продуктом приемной трубе 6 емкостный сигнализатор уровня (датчик) 8 обеспечивает замыкание цепи электропневматического клапана, приводной механизм которого соединяет магистраль сжатого воздуха с рабочей полостью пневмоцилиндра. При этом поршень переместит шток вверх, а от него через систему рычагов повернется эксцентриковый вал, который обеспечивает привал мелющих вальцов. Под действием массы продукта, преодолевая сопротивление пружины, датчик питания 5 через систему рычагов повернет заслонку 9, и через зазор между ней и дозирующим валиком 3 начнет поступать продукт в зону измельчения. При прекращении поступления продукта в приемную трубу станка электронная схема разомкнет цепь электропневматического клапана и через систему рычагов произойдут отвал мелющих вальцов и остановка питающего механизма.

Форма исполнения вальцовых станков включает следующие переменные параметры:

- сочетание половин станка для определенной технологической системы;
- характер рабочей поверхности мелющих валцов (параметры рифления или микрошероховатости);
- отношение окружных скоростей мелющих валцов (2,5; 1,25);
- способ очистки мелющих валцов (нож, щетки);
- варианты устройства механизма подачи исходного продукта;
- мощность электродвигателя каждой половины станка;
- диаметры приводных шкивов (150, 132 мм);
- вариант установки электродвигателя (над перекрытием, под ним);
- способ капотирования вальцовых станков (групповой, индивидуальный);
- способ ввода измельчаемого продукта (вверх, вниз).

Отличительная особенность вальцового станка состоит в использовании системы водяного охлаждения верхнего быстровращающегося вальца (рис. 8).

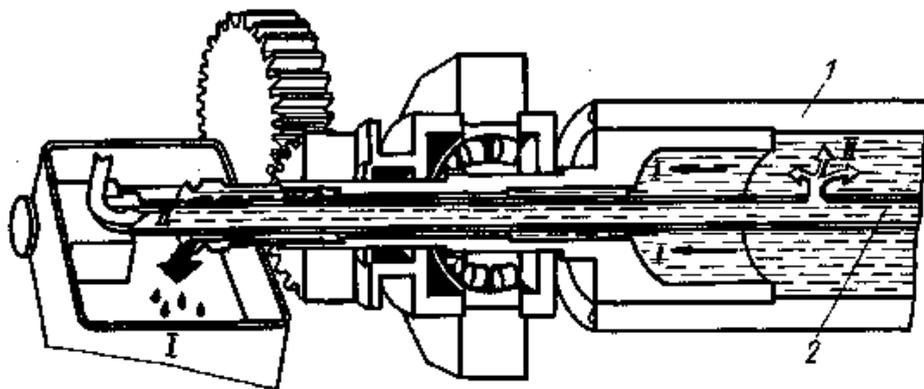


Рис. 8. Система охлаждения вальца:

1 — валец; 2 — трубка для подвода охлаждающей воды; / — горячая вода; // — холодная вода

Валец 1 охлаждается водой, поступающей через трубу 2, которая введена свободным концом во внутреннюю полость вальца. Трубка имеет два отверстия для разбрызгивания воды внутри вальца. В подводящей магистрали установлен кран, регулирующий подачу воды в полость вальца. Отработавшая вода поступает в сливную камеру, отводится по трубе в охлаждающее устройство и

возвращается в систему рециркуляции. Теплая вода частично используется для увлажнения зерна в зерноочистительном отделении мукомольного завода.

При нормальной работе системы охлаждения температура быстровращающегося вальца по нормам не должна превышать 60 °С. По данным испытаний, температура поверхности вальца не превышает 36 °С, а продукта после измельчения — 25 °С.

Охлаждение вальцов оказывает положительное влияние на технологические показатели помола. Снижение температуры в зоне измельчения предотвращает подсушивание и чрезмерное измельчение оболочек, а также перегрев продуктов размола. Расход воды на охлаждение не превышает 0,2 м<sup>3</sup>/ч для одного вальцового станка.

В условиях производства необходимо контролировать температуру нагрева вальцов и измельченного продукта. При повышении температуры продукта после прохождения через вальцовый станок необходимо выявить причину нарушения технологического процесса (износ рабочей поверхности вальцов, непараллельность вальцов, неравномерность заполнения мелющей щели, нарушение в системе охлаждения вальцов и др.).

Настройка и оперативное регулирование режима размола каждой половины станка под нагрузкой сводятся в основном к регулированию системы питания и рабочего зазора между мелющими вальцами. Удельная нагрузка на 1 см длины парноработающих вальцов составляет 70 – 75 кг/сут.

## Машины для измельчения зерна ударного действия.

### Общие положения.

При выработке из зерна обойной муки, измельчения ингредиентов комбикормов, размоле крупок, свободных от оболочек, разрушении частиц муки (при выработке фракций высокобелковой муки) – во всех этих процессах в задачу размола входит только разрушение частиц исходного продукта до вполне определенной степени дисперсности. Такое разрушение твердых тел

называется простым измельчением. Для этого применяют более простые машины ударного действия, в этих машинах измельчаемые частицы разрушаются под действием чистого удара (дисковые измельчители, дезинтеграторы) или под действием удара, сопровождаемого истиранием (молотковые дробилки).

Молотковые дробилки применяются в тех случаях, когда необходимо получить относительно мелко измельченный и однородный продукт без последующего применения сортировочных устройств. Они эффективны при измельчении хрупких продуктов (зерно, кость, лед, соль, сахар) и менее эффективны для продуктов с большим содержанием жира. Продукт в молотковых дробилках измельчается ударами молотков по частицам продукта, ударами частиц о кожух дробилки и в результате истирания частиц. Наибольшее распространение получили дробилки со свободно подвешенными молотками.

Измельчение сырья — одна из важнейших операций в комбикормовом производстве, приводящая к повышению кормовых достоинств продуктов. Измельченные продукты лучше усваиваются (особенно по сравнению с неизмельченным зерном), однородный по крупности комбикорм более эффективно прессуется при производстве гранулированных комбикормов и т. д. Измельченное сырье, особенно вводимое в состав комбикорма в малом количестве, распределяется по всему объему.

Технологический процесс производства комбикормов предусматривает грубое (крупное) измельчение кускового сырья, кукурузы в початках, минерального сырья. Для крупного измельчения устанавливают жмыхоломачи и камнедробилки, а для тонкого — вальцовые станки, молотковые дробилки и дезинтеграторы. Наиболее широко используют молотковые дробилки.

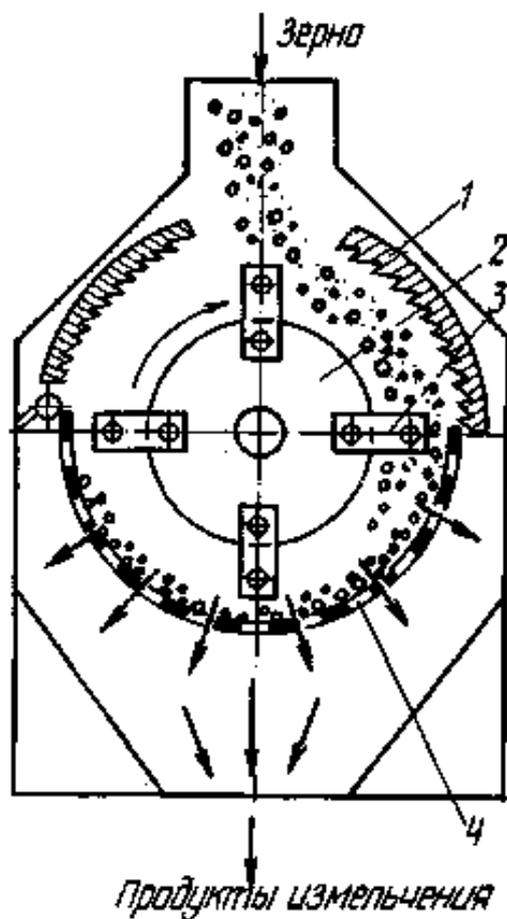


Рис. 9.Схема измельчения зерна в молотковой дробилке:

1-дека; 2-ротор; 3-молотки; 4-сито.

Принцип действия молотковых дробилок заключается в разрушении измельчаемых продуктов ударом быстро-вращающихся рабочих органов — молотков, ударом отбрасываемого молотками продукта о стальную деку и ситовую обечайку, истиранием продукта о сито (рис. 9).

Процесс измельчения продукта в молотковой дробилке можно разделить на несколько этапов. На первом этапе продукт, поступивший в зону вращения молотков, разрушается посредством их удара. На этом этапе основное значение имеют скорость молотков, структурно-механические свойства продукта, угол встречи рабочей поверхности молотка с продуктом и др.

Окружная скорость молотков может быть различной в зависимости от характера продукта и составляет 50...100 м/с. Так, по данным Л. А. Глебова,

разрушение пшеницы начинается при скорости 43 м/с, а ячменя — 70 м/с. Гарантированное (полное) разрушение продуктов происходит при значительно более высоких скоростях— 100...130 м/с. Однако практически скорость молотков в дробилках существенно меньше, поскольку зерно подвергается не одному, а многим ударам, причем после первых ударов происходит так называемое предразрушение продукта, в нем появляются микротрещины, снижающие прочность.

Повторные удары наносятся молотками, декой (на втором этапе), затем в результате вращения молотков и воздушного потока, создаваемого ротором, частицы продукта вовлекаются во вращательное движение, что приводит к их истиранию на сите (третий этап). Степень измельчения продукта зависит от многих факторов: окружной скорости молотков, их числа, расположения на роторе, формы, диаметра отверстий сита, вида сита и т. д.

Молотковые дробилки имеют молотки разной формы и размеров. Наиболее простые молотки имеют вид прямоугольной пластины толщиной 1,5...12 мм с двумя отверстиями по краям пластины. Так как молотки быстро изнашиваются, такая форма молотков позволяет его использовать четыре раза, поворачивая на 180° в двух плоскостях. Применяют более массивные П-образные молотки для тонкого измельчения. Для грубого измельчения устанавливают молотки треугольной формы с шестью рабочими гранями.

В дробилках используют сита толщиной 1,5...3,0 мм. Более тонкие сита изнашиваются очень быстро. Основные типы сит — с круглыми или чешуйчатыми отверстиями.

Степень измельчения продукта зависит от размеров отверстий сита. Чем больше размер отверстий, тем крупнее измельченный продукт.

Так как ротор молотковой дробилки имеет большую массу и высокую скорость вращения, необходима статическая и динамическая балансировка ротора. Молотки заменяют, при этом их подбирают, взвешивая. Разность массы молотков в сборе с осью и гайками для крепления молотков, устанавливаемых

на диаметрально противоположных сторонах ротора, не должна превышать 5 г. Ротор дробилки должен проворачиваться от руки свободно.

Достоинство молотковых дробилок заключается в их универсальности — с их помощью можно измельчать практически все виды сырья, поступающего в переработку. Молотковые дробилки имеют относительно небольшие габариты, высокую производительность. Недостаток молотковой дробилки состоит в неравномерной дисперсности измельченного продукта. Наряду с недостаточно измельченными частицами появляются и переизмельченные, т. е. очень тонкие. Получение тонких частиц сопровождается значительным расходом электроэнергии. В то же время стремление избавиться от таких частиц ведет к появлению большого количества неизмельченных частиц, особенно зерна. Поэтому часто применяют двух-этапное измельчение, заключающееся в повторном измельчении недоизмельченных частиц, которые выделяют при просеивании продуктов первичного измельчения. Крупная фракция может быть возвращена в эту же дробилку, измельчена в отдельной дробилке. Для повторного измельчения иногда применяют вальцовые станки.

Для тонкого измельчения применяют также дезинтеграторы, в которых измельчение происходит между двумя дисками с пальцами. Повышение износостойкости и прочности молотков и сит достигается не только выбором соответствующей стали, но и использованием рядовой конструкционной стали с упроченной поверхностью. Применение реверсивного ротора без какой-либо перестройки вдвое повысит ресурс дробилки. При износе сита, а также при изменении степени измельчения приходится заменять сито. Конструкция дробилок должна предусматривать возможность быстрой смены сит, в том числе без остановки ротора. В последнее время разработаны конструкции бесситовых дробилок.

Основными рабочими органами молотковых дробилок являются молотки, сита и деки. В комбикормовой промышленности применяют дробилки с пластинчатыми молотками прямоугольной формы, имеющими два отверстия. К преимуществам этих молотков можно отнести простоту изготовления,

возможность максимального использования их рабочих кромок, так как при износе одного конца молотка может работать другой после поворота молотка. Для их изготовления применяют легированную сталь 30ХГС либо другие стали, обладающие повышенной износоустойчивостью.

При износе молотков расстояние между их внешней кромкой и внутренней поверхностью ситового барабана увеличивается, вследствие чего продукт, находящийся в этой зоне, плохо измельчается, а расход энергии на преодоление трения увеличивается.

Кроме того, при чрезмерном и неравномерном износе молотков нарушается балансировка ротора. В результате этого возникает вибрация, вызывающая разрушение машины.

Считается [9], что первичное разрушение продукта должно происходить при встрече частицы с молотком. Это возможно при определенной окружной скорости молотков,  $V_{\min}$  минимальное значение которой определяют исходя из закона количества движения и принимая начальную скорость движения частицы перед соприкосновением ее с молотком равной нулю, по выражению (38).

$$V_{\min} = \frac{P * t}{m} \quad (38)$$

где  $P$  — средняя мгновенная сила сопротивления разрушению частицы в н;

$t$  - продолжительность удара молотка по частице в с;

$m$  - масса измельчаемой частицы в кг.

При конструировании молотковых дробилок с большими окружными скоростями рабочих органов необходимо считаться с возникновением инерционных сил из-за неуравновешенности ротора, значения которых могут достигать больших величин. В связи с этим при изготовлении деталей ротора дробилки необходимо точное выполнение геометрической формы деталей в соответствии с чертежом. Посадочные размеры и диаметры сопряженных

деталей необходимо выдерживать по 2-му классу точности. Все молотки должны располагаться строго симметрично по окружности дисков.

Наиболее сильные удары происходят при встрече частиц с концами молотков, когда последние занимают наивысшие положения. Эти удары при неправильной конструкции молотков передаются на всю машину и быстро выводят ее из строя.

Для снижения ударных воздействий на машину молотки должны быть уравновешены на удар. Это достигается при условии отсутствия или незначительности ударной реакции в оси подвеса молотков.

Исходя из условия равновесия молотка и закона количества движения в момент удара, найдено [9], [4], что молоток обеспечит безударную работу при соблюдении следующего равенства его конструктивных размеров определенных по формуле (39).

$$r^2 = l * c \quad (39)$$

где  $r$  - радиус инерции молотка, относительно оси подвеса в м;

$l$  - расстояние от оси отверстия молотка до его рабочего конца в м;

$c$  - расстояние между центром тяжести молотка и осью отверстия молотка

в м.

Для прямоугольного молотка с одним отверстием  $r_c^2$  квадрат радиуса инерции относительно центра тяжести определяем по формуле (40).

$$r_c^2 = \frac{a^2 + b^2}{12} \quad (40)$$

и  $r^2$  квадрат радиуса инерции относительно оси подвеса определяем по формуле (41).

$$r^2 = r_c^2 + c^2 \quad (41)$$

где  $a$  и  $b$  — длина и ширина молотка в м.

Принимая, что точка приложения удара находится на конце молотка, получают зависимость (42).

$$l = c + 0.5 * a \quad (42)$$

Расстояние  $c$  от оси подвеса до центра тяжести молотка определяем по формуле (43).

$$c = \frac{a^2 + b^2}{6 * a} \quad (43)$$

Рабочие размеры молотка с двумя отверстиями при соблюдении условия уравнивания его на удар можно определить из следующих зависимостей (44),(45).

$$r_c^2 = 0.5 * a * c \quad (44)$$

$$c^2 + \left( \frac{a^2 * b}{\pi * d^2} - \frac{a}{2} \right) * c - \frac{a * b * (a^2 + b^2)}{6 * \pi * d^2} + \frac{d^2}{8} = 0 \quad (45)$$

Наличие второго отверстия в молотке позволяет путем перестановки использовать для работы еще два его рабочих угла. При этом однако надо иметь в виду, что даже износ одного рабочего угла молотка ведет к нарушению условия равновесия при ударе со всеми вытекающими последствиями.

Во избежание нарушения устойчивой работы молотковых дробилок рекомендуется, чтобы расстояния от оси подвеса молотка до его внешней рабочей кромки и до оси ротора не были бы равны или достаточно близки.

Вал ротора, на котором крепятся диски с промежуточными кольцами [9], выполняется ступенчатым. Первая ступень — под шкив, вторая — под подшипник, третья — резьбовая и четвертая — под диски и кольца. Увеличение  $d_1$  диаметра вала от ступени к ступени можно ориентировочно оценить коэффициентом 1,2 [10] и определить по формуле (46).

$$d_1 = 1.2^n * d_0 \quad (46)$$

где  $d_0$  — диаметр вала в опасном сечении в м;

$n$  — число ступеней вала.

Считая в первом приближении, что вал будет испытывать переменные нагрузки и малые изгибающие моменты [10], его  $d_0$  диаметр можно определить по формуле (47).

$$d_o = 0.052 * \sqrt[3]{\frac{N}{\omega}} \quad (47)$$

где  $N$  — передаваемая валом мощность в кВт;

$\omega$  — угловая скорость вала в  $\text{с}^{-1}$ .

При расчете дисков ротора, учитывая центробежные силы как от массы дисков, так и от массы молотков, находят  $\sigma$  суммарное напряжение на образующей центрального отверстия [11] по формуле (48).

$$\sigma = \sigma_{t \max} + \sigma_t \quad (48)$$

где  $\sigma_{t \max}$  — максимальное окружное напряжение в диске постоянного сечения на образующей центрального отверстия в  $\text{н/м}^2$ ;

$\sigma_t$  - окружное напряжение на образующей центрального отверстия, учитывающее массу молотков в  $\text{н/м}^2$ .

Максимальное окружное напряжение в стальном диске можно определить из выражения (49)

$$\sigma_{t \max} = \rho * \omega^2 * (0.825 * R^2 + 0.175 * r_o^2) \quad (49)$$

где  $\rho$  — плотность материала диска в  $\text{кг/м}^3$ ;

$R$  - наружный радиус диска в м;

$r_o$  - радиус центрального отверстия диска в м..

Окружное  $\sigma_t$  напряжение от сил инерции молотков в стальном диске на образующей центрального отверстия определяется из зависимости (50), предложенной А. Р. Демидовым [9].

$$\sigma_t = \frac{P_u * R_o * z}{\pi * \delta * (R_o^2 - r_o^2)} \quad (50)$$

где  $P_u$  — центробежная сила инерции молотка (без учета отверстия в нем) в н;

$R_o$  - радиус окружности расположения центров осей подвеса молотков в м;

$z$  - число отверстий в диске под оси подвеса (число молотков);

$\delta$  - толщина диска в м.

Радиус окружности расположения центров осей подвеса назначаем конструктивно, во избежания нарушения устойчивой работы молотковой дробилки  $R_o > l$ , т.е. больше расстояния от оси отверстия молотка до его рабочего конца.

Центробежная сила инерции молотка определяется по формуле (51).

$$P_u = m_m * \omega^2 * R_c \quad (51)$$

где  $m_m$  — масса молотка в кг;

$R_c$  — радиус окружности расположения центров тяжести молотков в м.

Диаметр оси подвеса молотков определяют из условия ее работы как двухопорной балки на изгиб [10] по формуле (52).

$$d = 1.36 * \sqrt[3]{\frac{P_u * \delta_m}{[\sigma]_и}} \quad (52)$$

где  $\delta_m$  — толщина молотка (0,002—0,01) в м;

$[\sigma]_и$  - допускаемое напряжение при изгибе в н/м<sup>2</sup>

Перемишки между отверстиями под оси подвеса и наружной кромкой диска проверяют на смятие и срез по формулам (53),(54).

$$\frac{P_u}{\delta * d} \leq [\sigma]_{см} \quad (53)$$

$$\frac{0,5 * P_u}{\delta * h_{\min}} \leq [\sigma]_{ср} \quad (54)$$

где  $h_{\min}$  — размер перемишки в м.

Угловую скорость дисков ротора определяем по формуле (55).

$$\omega = \frac{V_{\min}}{R} \quad (55)$$

Массу молотка определяем по формуле (56).

$$m_m = a * b * \delta * \rho \quad (56)$$

где  $l$  – длина молотка, м;

$b$  – ширина молотка, м;

$\delta$  – толщина молотка, м;

$\rho$  – плотность стали, кг/м<sup>3</sup>.

Рабочий чертеж поперечного сечения ротора с молотками, который представлен на рис. 10.

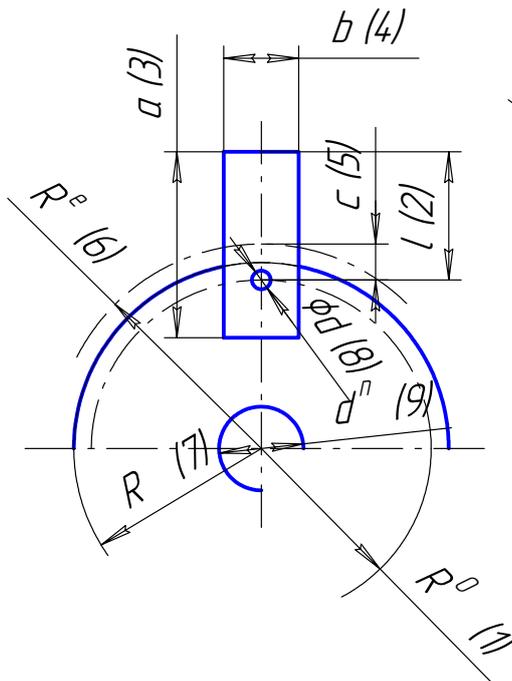


Рис.10. Схема установки молотка на диске.

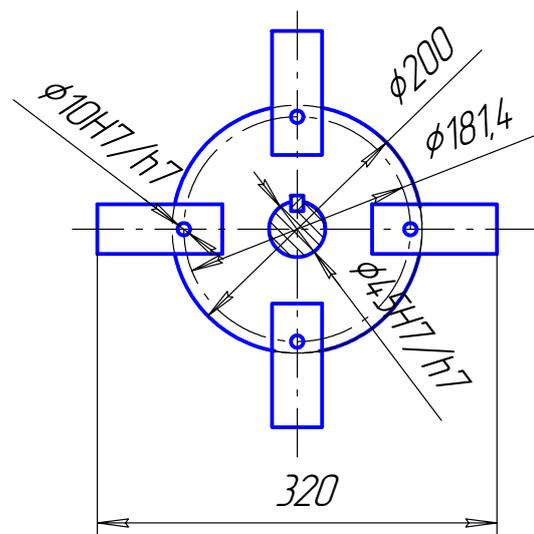


Рис.10. Конструктивный чертеж Поперечного сечения ротора с молотками.

Наружный радиус  $R$  (м) диска определяем по формуле (57).

$$R = l_o + 0.5 * d + h_{\min} \quad (57)$$

Радиус  $R_c$  (м) окружности расположения центра тяжести молотков определяем по формуле (58).

$$R_c = l_o + c \quad (58)$$

Радиус  $R_1$  (м) окружности описываемый концами молотков определяем по формуле (59).

$$R_1 = R_o + l \quad (59)$$

Вал, диски и оси под молотки изготовляют из обычных конструкционных сталей, а молотки — из легированной термически обработанной вязкой износоустойчивой стали, например 30ХГСА. Термообработка стали этой марки заключается в ее нагреве до  $880^\circ \text{C}$ , с дальнейшим охлаждением в масле и отпуске при  $225^\circ \text{C}$ . После такой термообработки молотки имеют твердость *НВ* 390—475.

Допускаемые напряжения при смятии и срезе для дисков, изготовленных из углеродистых сталей с временным сопротивлением разрыву 490—590  $\text{Мн/м}^2$ , при спокойном режиме работы можно принимать до 150  $\text{Мн/м}^2$ . Обычно их принимают исходя из выражений (60),(61).

$$[\sigma]_{см} = 59...88 \text{ Мн/м}^2 \quad (60)$$

$$[\sigma]_{ср} = (0,2...0,3) * \sigma_T \quad \text{или} \quad [\sigma]_{ср} = 0,8 * [\sigma] \quad (61)$$

где  $\sigma_T$  — предел текучести,  $\text{Мн/м}^2$ .

$[\sigma]$  —допускаемое напряжение материала при растяжении  $\text{Мн/м}^2$  (значения  $[\sigma]$  и  $\sigma_T$  для некоторых материалов приводятся в справочнике [10]).

Производительность молотковой дробилки  $Q$  (т/ч) определяем по формуле (62).

$$Q = \frac{3,6 * k_1 * \rho * D_p^2 * L_p * n_p^2}{60} \quad (62)$$

Где  $k$  —опытный коэффициент, величина которого зависит от типа и размеров ячеек ситовой поверхности. Для сит с диаметром отверстия

до 3 мм ( $k = 1,3 \cdot 10^{-4} \dots 1,7 \cdot 10^{-4}$ ), для чешуйчатых и для сит с диаметром отверстия 3...10 мм ( $k = 2,2 \cdot 10^{-4} \dots 5,25 \cdot 10^{-4}$ ).

$\rho$  - объемная масса измельчаемого продукта, кг/м<sup>3</sup>;

$D_p$  – диаметр ротора, м, который равен  $D_p = 2 \cdot R_1$ ;

$L_p$  - длина рабочей части ротора, м;

$n_p$  – частота вращения ротора, мин<sup>-1</sup>, ( $n_p = \frac{30 \cdot \omega}{\pi}$ )

Мощность  $N$  для привода молотковой дробилки (кВт), определяется по следующим эмпирическим формулам (63) или (64).

$$N = \frac{3,6 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \rho \cdot D_p^2 \cdot L_p \cdot n_p}{60} \quad (63)$$

$$N = 1,34 \cdot D_p^2 \cdot L_p \cdot \omega \quad (64)$$

Где  $k_2$  – коэффициент измельчения, ( $k = 6,4 \dots 10,5$ ), меньшее значение принимают при грубом измельчении, а большее – при тонком.

Степень измельчения в дробилке регулируется главным образом подбором отверстий сит. Ситовая обечайка устанавливается в нижней части корпуса и обхватывает вращающийся ротор. Зазор  $\delta$  между молотками и ситом выбирается в пределах 4...20 мм. Для измельчения зерна в дробилках устанавливают сита из листовой стали толщиной 1..3 мм, а размоле жмыхов - до 6 мм. Для выработки обойной муки применяют сита с круглыми отверстиями 1,5...2,5 мм, при размоле ингредиентов комбикормов рекомендуют отверстия диаметром 5 мм. Иногда для дробления ингредиентов комбикормов применяют чешуйчатые сита.

Площадь  $F$  (м<sup>2</sup>) ситовой поверхности определяем по формуле (65).

$$F = \frac{Q}{q} \quad (65)$$

Где  $q$  – удельная производительность сита,  $q = 2 \dots 4$  кг/(м<sup>2</sup> \* с).

Габаритные размеры сита (ширину  $B$  и угол  $\alpha$  обхвата ситом ротора) определяем из выражения (66).

$$F = \frac{B \cdot \pi \cdot R_{сита} \cdot \alpha}{180} \quad (66)$$

Где  $R_{\text{сита}}$  – радиус обечайки сита, м, равен  $R_{\text{сита}} = R_1 + \delta$  (67)

$B$  – ширина сита, м, равна длине ротора  $B = L_p$ ;

$\alpha$  - угол обхвата ротора ситом, град.

Для разработки кинематической схемы привода дробилки необходимо рассчитать общее передаточное число, которое определяем по формуле (68).

$$i = \frac{n_{\text{об.}}}{n} \quad (68)$$

Общее передаточное число привода является произведением всех передаточных чисел привода и определяется по формуле (69)

$$i = i_1 * \dots * i_n \quad (69)$$

Общий коэффициент полезного действия является произведением всех к.п.д. передач привода и определяется по формуле (70).

$$\eta = \eta_1 * \dots * \eta_n \quad (70)$$

Установленная мощность привода  $N_{\text{пр}}$  (кВт) определяем по формуле (71).

$$N_{\text{пр}} = \frac{N}{\eta_{\text{пр}}} \quad (71)$$

По рассчитанной установленной мощности выбираем по справочнику [10] тип электродвигателя.

Для обеспечения вращения ротора с частотой  $n$  мин<sup>-1</sup> разработаем кинематическую схему привода. Кинематическая схема представлена на рис.3.

В качестве электродвигателя применяем электродвигатель с частотой вращения  $n_{\text{дв}}$  мин<sup>-1</sup>.

Тогда  $i$  общее передаточное число привода определяем по формуле (72).

$$i = \frac{n_{\text{ДВ}}}{n}$$

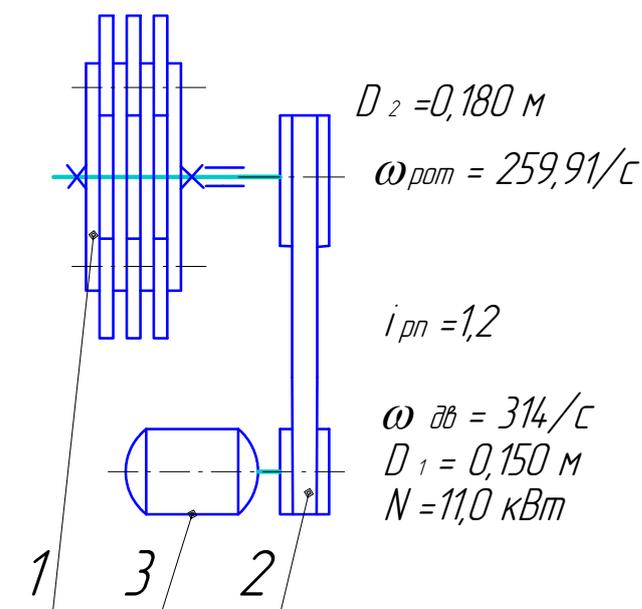


Рис.1. Кинематическая схема молотковой дробилки.

1. Ротор; 2. Ременная передача; 3. Электродвигатель.

Для рассчитанного передаточного отношения достаточно установить ременную передачу, которая позволит установить точную частоту вращения ротора.

#### Молотковые дробилки ДДМ и ДМ

Молотковые дробилки ДМ (рис. 11, а) и ДДМ (рис. 11, б) предназначены для измельчения зерна пленчатых и злаковых культур, жмыхов, а также других компонентов комбикормов [6].

Дробилки состоят из основания 2, ротора 7, правой откидной крышки 13, левой откидной крышки 8, питателя 11 и средней части корпуса 3. Дробилка ДМ дополнительно снабжена магнитной защитой 12. Крышки поворачиваются на осях, обеспечивая свободный доступ к ситам 17 и ротору 7, а также быструю замену сита и молотков 18.

На вал 5 ротора дробилки насажены диски 15, в отверстия которых вставлены оси 16 с пакетами молотков. Вал ротора дробилки опирается на два роликовых сферических подшипника, установленных в чугунных корпусах 4. Вращение ротора от электродвигателя 6 через муфту.

В средней части корпуса машины ДМ находится дека 14. Поперечный прилив и скат основания деки служат для направления движения продукта и посторонних примесей. В средней части корпуса машины ДДМ эту роль выполняет сварная перегородка 19 (скат).

В правой крышке расположены узел основания деки и дека. Пространство между основанием деки и внутренней поверхностью правой крышки является ловушкой для посторонних примесей, которые затем периодически удаляют из дробилки. Изменением положения дек относительно ротора добиваются наиболее эффективного дробления продукта и улавливания примесей.

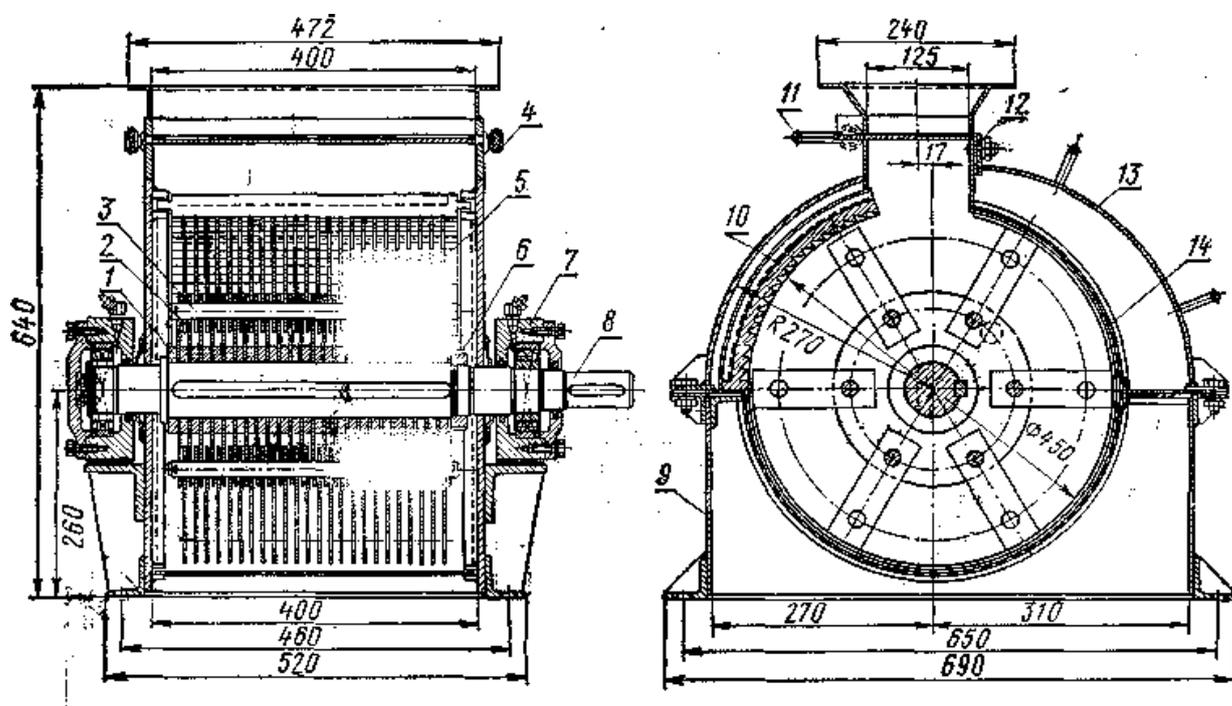


Рис. 11. Дробилки:

а — ДМ; б — ДДМ; 1 — рама; 2 — основание корпуса; 3 — средняя часть; 4 — корпус подшипника; 5 — вал; 6 — электродвигатель; 7 — ротор; 8 — левая откидная крышка; 9 — маховик; 10 — заслонка; 11 — питатель; 12 — магнитная защита; 13 — правая откидная крышка; 14 — дека; 15 — диск; 16 — ось; 17 — сито; 18 — молоток; 19 — перегородка.

В левой крышке 8 установлено сито, прижимаемое к направляющим уголкам, которые закреплены винтами к крышке. В основании корпуса также установлено сито, которое прижимается стальными лентами к направляющим уголкам, закрепленными болтами внутри основания. Натяжение и ослабление

ленты автоматическое под действием силы тяжести правой откидной крышки. На ней с двух сторон закреплены болты, которые при закрытом положении крышки действуют на кронштейны, шарнирно закрепленные на основании корпуса. Поворачиваясь, кронштейны увлекают за собой эксцентрики, которые натягивают стальные ленты, обеспечивающие прижим сита.

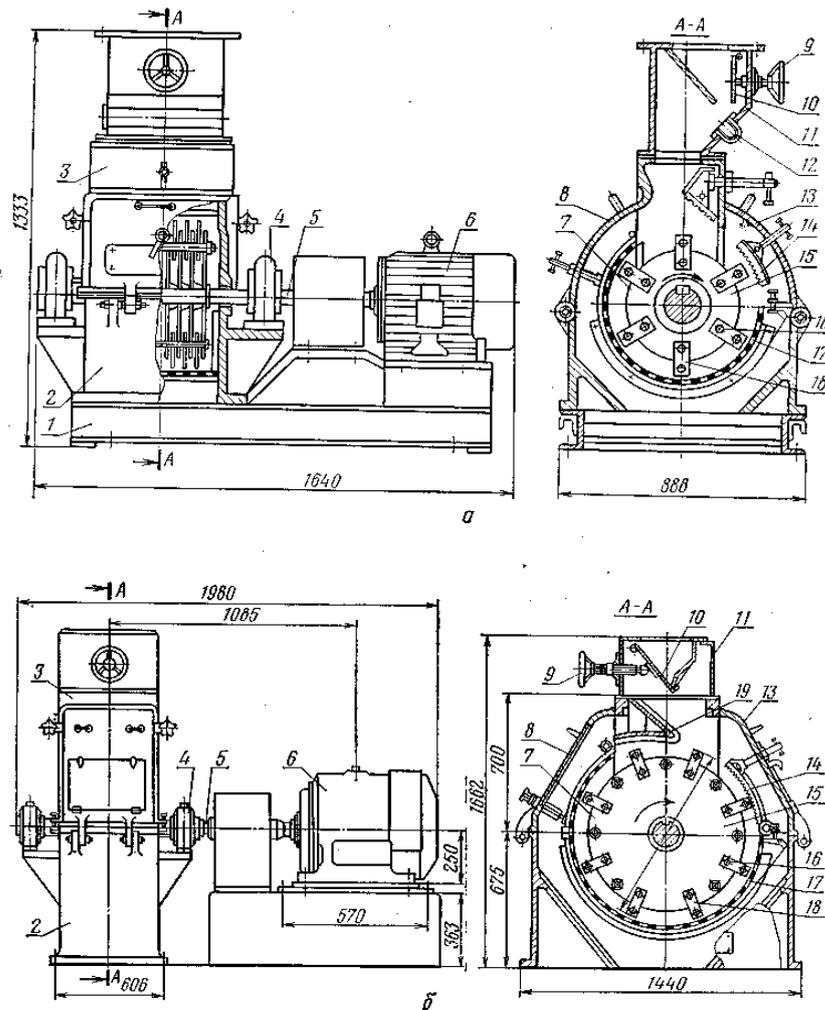


Рис. 11б. Дробилка ДМ-440У:

1 — распорная шайба; 2 — диск; 3 — ось; 4 — винт; 5 — молоток; 6 — гайка; 7 — подшипник; 8 — вал ротора; 9 — разъемный корпус; 10 — дека; 11 — задвижка; 12 — приемная камера; 13 — крышка; 14 — сито.

На средней части корпуса дробилки ДМ установлен питатель 11 с магнитной защитой 12, предназначенной для улавливания мелких металломагнитных примесей. Дробилка ДДМ снабжена гравитационным питателем 11 без магнитной защиты. Питатель 11 осуществляет равномерную

подачу продукта в зону дробления. Нагрузку изменяют при помощи заслонки 10 вручную, поворачивая маховик 9.

Дробилки комплектуют ситами с круглыми отверстиями 03 и 5 мм и чешуйчатыми с шириной отгиба 1,5 и 2,0 мм.

## **Молотковая дробилка А1-БД2-М**

Реверсивная дробилка А1-БД2-М предназначена для измельчения зерна злаковых и пленчатых культур, а также шрота и кускового жмыха на комбикормовых заводах и в кормоприготовительных цехах.

Дробилка (рис. 12) имеет литое основание 5, откидную крышку 2, питатель 3 с магнитной защитой, ротор с молотками 1, встроенный вентилятор 7, пневмоприемник 6 и электродвигатель 4.

Молотковый ротор — основной рабочий орган дробилки. Он состоит из двух дисков, стянутых специальными болтами, между которыми на осях установлено шесть пакетов молотков. Крайний диск имеет ступицу, при помощи которой соединяется с приводным валом электродвигателя через втулку, несущую на себе роликовый подшипник. Между несущими дисками ротора установлено колесо вентилятора с шестью лопатками.

На сплошной стенке основания сделана проточка, в которую вставляют сита. Дробилку комплектуют ситами с отверстиями 05,4 и 3,0 мм. К основанию при помощи петель шарнирно крепят откидную крышку с приемным патрубком. Крышку устанавливают в рабочее положение при помощи маховика. В верхней части дробилки смонтирован питатель с магнитной защитой, состоящий из блока магнитов, жестко закрепленных на оси; экрана, шарнирно установленного на этой же оси; рычага с грузом и упоров.

Для очистки магнитов от примесей необходимо перекрыть подачу продукта, повернуть рычаг с грузом против часовой стрелки до упора. При этом блок магнитов и экран должны занять перпендикулярное положение, и магнитное поле перестанет воздействовать на экран. В результате этого

металломагнитные примеси под действием силы тяжести падают в сборник. Затем рычаг с грузом возвращают в исходное положение.

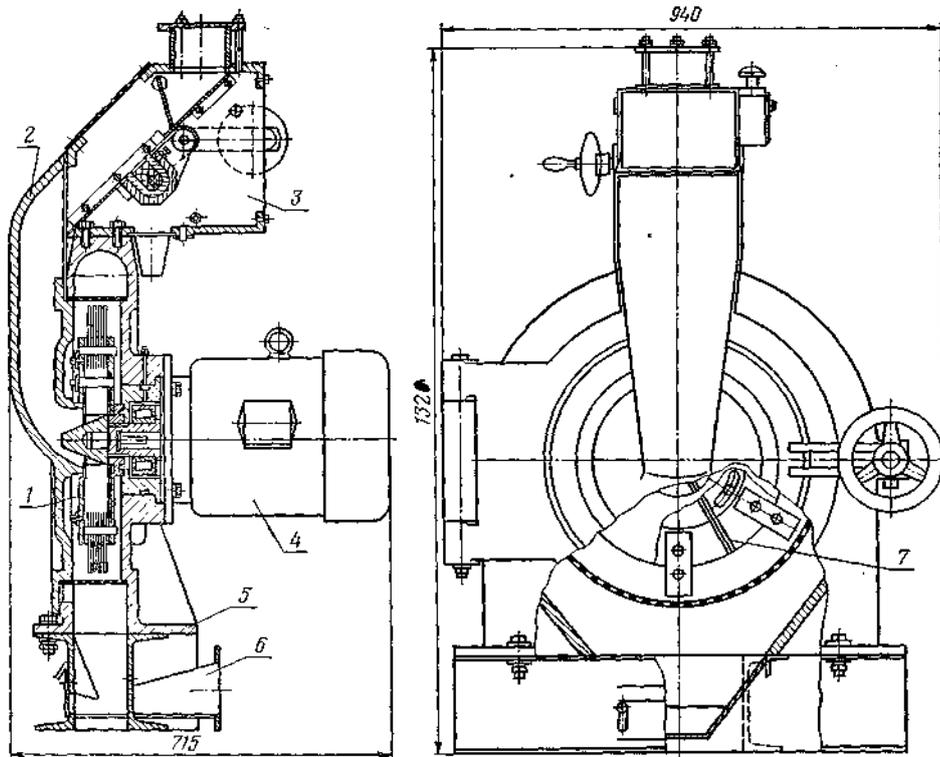


Рис. 12. Дробилка А1-БД2-М:

1 — ротор с молотками; 2 — откидная крышка; 3 — питатель с магнитной защитой; 4 — электродвигатель; 5 — основание; 6 — пневмоприемник; 7 — вентилятор.

Производительность дробилки регулируют, изменяя зазор между заслонкой и поддоном при помощи рукоятки и винтовой пары.

Удалять продукты измельчения из дробилки можно как пневматическим, так и механическим транспортом. При пневматическом транспорте к основанию дробилки присоединяют пневмоприемник, состоящий из рамы, коллектора для подсоса воздуха с заслонкой и конфузора.

Продукт по самотечной трубе направляют в питатель дробилки, где он проходит магнитную защиту и по приемному патрубку поступает на лопадки вентилятора, которые распределяют его на шесть равномерных потоков. В камере дробления, образованной торцевой стенкой основания, крышкой и ситом, под воздействием молотков продукт измельчается, просеивается на ситовой поверхности и выводится из дробилки.

Лекция 12, 13. -4ч.

Машины для сортирования продуктов переработки зерна.

Назначение, принцип действия, область применения и классификация рассевов. Устройство рассевов. Приводные механизмы, ситовые кузова. Механизмы для очистки сит.

Влияние факторов на эффективность процесса просеивания продуктов на рассевах. Способы перемещения продуктов по ситам рассева. Элементы теории движения продукта по ситам. Определение основных параметров рассева.

Индивидуальный привод рассева. Основы теории уравнивания рассевов. Основные направления интенсификации процесса сепарирования зерновых продуктов.

Назначение и область применения рассевов.

На современных мельницах для сортирования продуктов измельчения (просеивания) зерна используют рассевы.

В процессе поэтапного последовательного измельчения зерна образуются частицы, различающиеся по размерам, форме, плотности, фракционным и аэродинамическим свойствам. Основной частью рассева являются ситовые корпуса, состоящие из уложенных друг на друга деревянных рам с натянутыми горизонтальными ситами из металлических, капроновых или шелковых тканей.

Сортирование промежуточных продуктов размола зерна по размерам происходит на ситах рассевов. Сита представляют собой плоскую рабочую поверхность с отверстиями определенных форм и размеров.

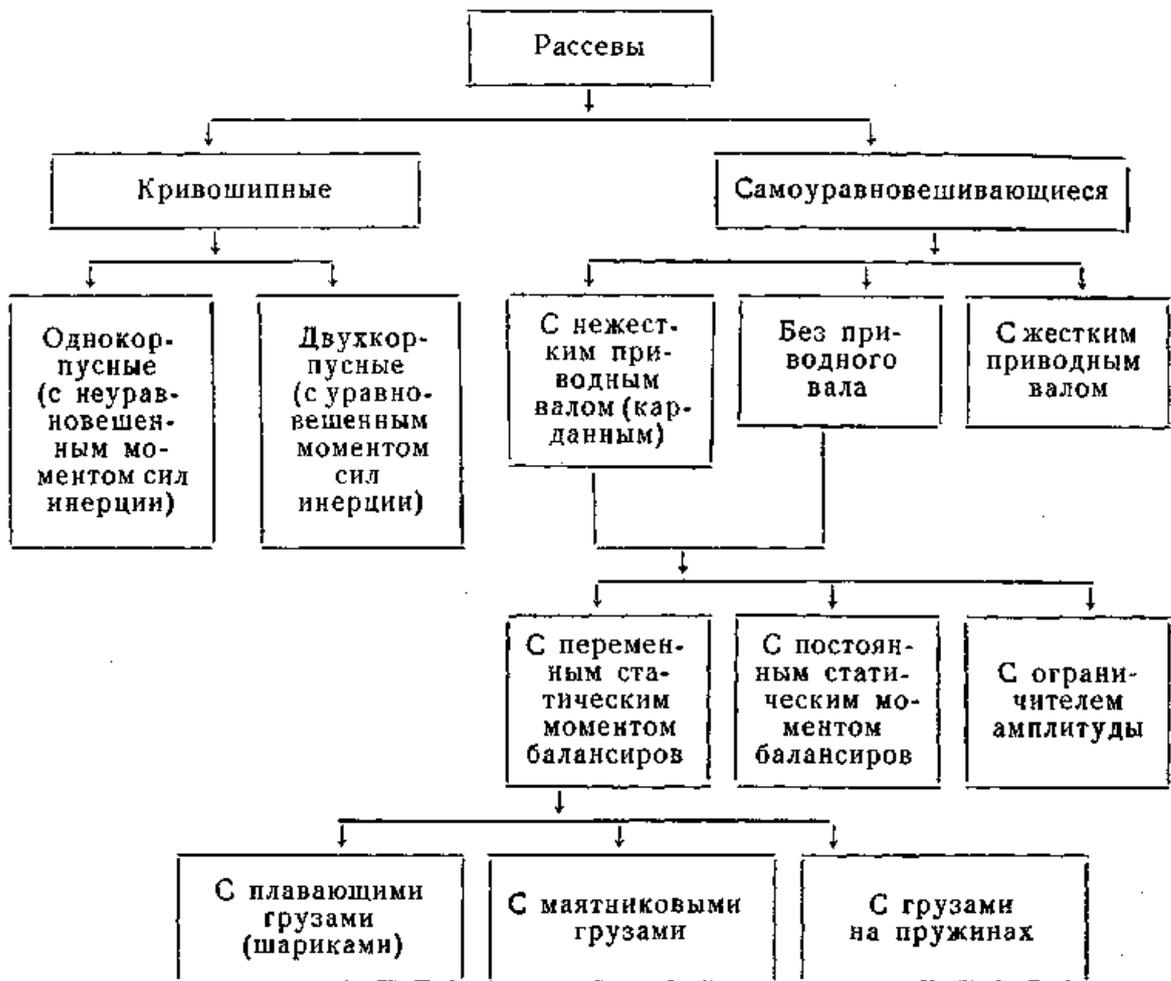
Сита характеризуются следующими параметрами: расстоянием между осями двух соседних нитей, называемым шагом; шириной отверстия в свету; диаметром нити; коэффициентом живого сечения, который представляет собой отношение площади всех отверстий сита в свету (так называемое живое сечение) ко всей площади сита и показывает степень полезного использования площади сита.

Ситовые корпуса совершают круговое поступательное движение в горизонтальной плоскости. Продукты измельчения, перемещаясь по ситам рассева, переходят сверху вниз с рамы на раму и постепенно просеиваются,

разделяясь на несколько фракций, отличающихся крупностью частиц. Эффект работы всех технологических машин мельницы в значительной степени зависит от того, насколько все фракции оказываются однородными по крупности частиц. Рассевы применяют и на крупозаводах для сортирования зерна продуктов шелушения и готовой продукции.

### Классификация машин

Ниже приведена классификация рессево



## Устройство рассевов пакетного типа

Рассев (рис. 1) состоит из: питающего устройства 1, через которое продукт направляется на сита; ситовых корпусов 2; главной металлической рамы 3, подвешенной к перекрытию здания на подвесках-тросах 4; приводного устройства, включающего верхний подшипниковый узел 5, веретено 6, вал с балансиром 8 и нижний подшипниковый узел 7; коробок 9, в которые продукты сортирования попадают через матерчатые рукава 10. Ситовые рамы стягиваются горизонтальными // и вертикальными болтами.

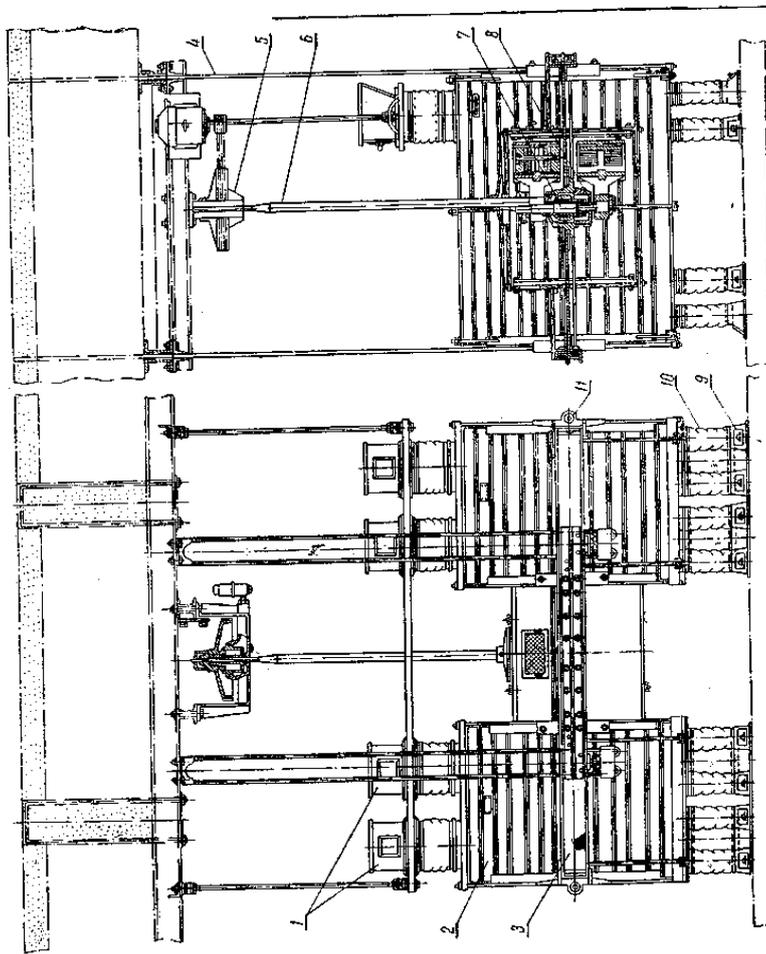


Рис. XV-1. Рассев пакетного типа.

При вращении веретена ось с балансирами, смещенная от оси веретена на 45 мм, описывает цилиндрическую поверхность, а центр нижнего подшипника, укрепленного на главной раме, движется в горизонтальной плоскости по окружности радиусар =45 мм. Подобные же траектории описы-

ваются всеми точками главной рамы, которая совершает поступательное движение, так как ее вращению препятствуют подвески.

При движении отсева силы инерции  $P_k$  главной рамы и укрепленных на ней ситовых корпусов уравниваются центробежными силами инерции  $P_r$  вращающихся грузов (рис. 2).

В нормальных условиях эксплуатации горизонтальные реакции подвесок и веретена практически взаимно уравниваются.

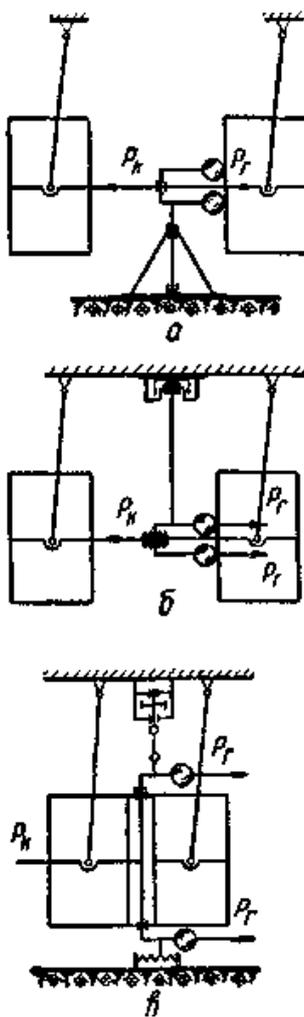


Рис. 2. Схемы приводов отсева:

*a* — кривошипного; *б* — самобалансирующегося с жестким приводным валом; *в* — самобалансирующегося с нежестким приводным валом.

## Элементы теории движения продукта по ситиу рассева и эффективность сепарирования

Для непрерывного и эффективного сепарирования продуктов измельчения зерна необходимо, чтобы сыпучее тело, состоящее из этих продуктов, совершало на сите рассева движение, обеспечивающее самосортирование, просеивание и подачу. В результате самосортирования мелкие проходовые частицы перемещаются в нижний слой сыпучего тела; при просеивании эти частицы, достигшие поверхности сита, проходят через его отверстия.

П о д а ч е й называют постепенное перемещение сыпучего тела от приемной части ситового канала к сходовой, чем достигается непрерывность процесса.

Движение отдельной материальной частицы по горизонтальному ситиу рассева теоретически было впервые исследовано великим русским ученым Н. Е. Жуковским. Он доказал, что при достаточно большой угловой скорости кругового поступательного движения сита и при соответствующей величине радиуса  $r$  окружности, описываемой любой точкой сита, относительное движение материальной частицы происходит с той же угловой скоростью  $\omega_0$ , но по окружности радиуса  $r_0 < r$  (рис. 3). Это движение частицы является предельным. К нему с течением времени стремится всякое другое движение под действием трения. Если материальная частица массы  $m$  находится на поверхности сита в состоянии относительного покоя, то она участвует в его движении и обладает центростремительным ускорением, равным  $\omega^2 r$ .

От относительного движения по ситиу частицу удерживает сила трения, наибольшее значение которой равно  $F = mgf$ , где  $f$  — коэффициент трения покоя, принятый равным коэффициенту трения движения.

Рассматривая по принципу Даламбера абсолютное движение частицы, необходимо, помимо силы сцепления ее с ситом, учесть также силу инерции  $P_a = m\omega^2 r$ .

Состояние относительного покоя возможно, если  $P_A < F$  или  $\omega^2 \rho \leq gf$ .

Если ускорение точки сита  $\omega^2 \rho \leq gf$ , должно произойти относительные движение частицы ни ситу, так как последнее не может сообщить ей ускорение большее, чем это допускают условия сцепления.

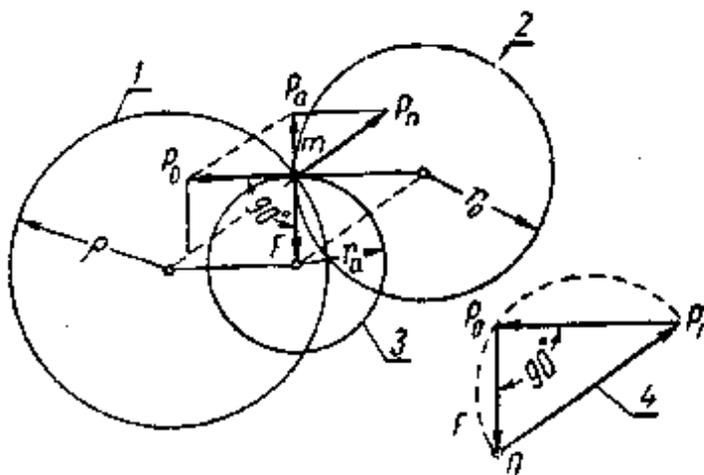


Рис. 3. Движение частицы продукта по ситиу рассева:

1 — траектория переносного движения; 2 — траектория относительного движения; 3 — траектория абсолютного движения; 4 — векторная диаграмма сил.

Таким образом, при заданном радиусе  $\rho$  траектории точки сита относительное движение частицы происходит лишь при условии, если угловая скорость  $\omega$  больше некоторого критического значения  $\omega_{кр}$ , определяемого из условия  $m\omega^2 \rho \leq mgf$ , откуда:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g^* f}{\rho}} \quad (1)$$

При установившемся движении горизонтальная реакция  $F$  сита уравновешивается силой  $P_A$ , т. е.

$$\bar{F} + \bar{P}_A = 0 \quad (2)$$

Сила инерции частицы в ее абсолютном движении равна геометрической сумме сил инерции частицы в ее переносном и относительном движениях (под переносным понимается движение точки сита, а под относительным — движение частицы по ситам). Поэтому

$$\bar{F} + \bar{P}_n + \bar{P}_0 = 0; \quad (3)$$

где  $P_n$  — переносная сила инерции;

$P_0$  — относительная сила инерции.

Известны: величина и направление силы  $P_n$ ; величина силы  $F$  и ее направление по одной прямой со скоростью относительного движения. При постоянной величине скорости, как в данном случае, полное ускорение в относительном движении является одновременно и нормальным. Следовательно, силы  $P_0$  и  $F$  взаимно перпендикулярны.

Этих данных достаточно, чтобы графически решить векторное уравнение в виде треугольника сил и определить величину силы  $P_0$ .

$$P_0 = \sqrt{P_n^2 - F^2} \quad (4)$$

Вектор силы  $P_0$  равномерно вращается с угловой скоростью  $\omega$ , а угол  $90^\circ$  между силами  $P_0$  и  $F$  постоянен и вращается в том же направлении и с той же угловой скоростью. Это возможно лишь при условии, если траектории абсолютного и относительного движений являются окружностями и движение по ним происходит с постоянными скоростями. Поэтому

$$P_0 = m * \omega^2 * r_0 \quad (5)$$

а так как

$$P_n = m * \omega^2 * \rho \quad \text{и}$$

$$F = mgf, \quad \text{то}$$

$$r_0 = \rho * \sqrt{1 - \left(\frac{g * f}{\omega^2 \rho}\right)^2} \quad (6)$$

Из равенств  $P_a = m * \omega^2 * r_a^2$  и  $P_a = F$

$$r_a = \frac{g^* f}{\omega^2} \quad (7)$$

Из полученного уравнения видно, что радиус траектории относительного движения частицы по ситы всегда меньше радиуса  $\rho$  траектории точек сита, совершающего круговое поступательное движение.

Угол  $\varphi$  между векторами переносной и абсолютной силами инерции определяется из уравнения:

$$\cos \varphi = \frac{r_a}{\rho} = \frac{g^* f}{\omega^2 * \rho} \quad (8)$$

Однако движение отдельной частицы недостаточно характеризует движение всего сыпучего тела. В частности, рассмотренная задача не позволяет объяснить явление самосортирования и выбрать пути интенсификации процесса сепарирования в целом.

#### **Послойное движение сыпучего тела по горизонтальному ситы рассева.**

При колебаниях сита с расположенным на нем сыпучим телом наблюдается различие в движении его слоев на различном расстоянии от верхней свободной границы.

Это происходит потому, что по мере удаления от свободной поверхности сыпучего тела связи между частицами становятся более сложными и сопротивление их относительному движению увеличивается.

Рассмотрим сыпучее тело как совокупность бесконечного числа слоев, равных по весу  $dG$ , отнесенному к единице площади сита, причем коэффициенты сопротивления  $f$  сдвигу двух смежных слоев будем считать монотонно возрастающей функцией давления  $G$  вышележащей части сыпучего тела.

Если сито движется горизонтально с достаточно большим ускорением  $a_c$  (рис. 4, а), то на некоторый слой  $dG$  внутри сыпучего тела со стороны вышележащего слоя, имеющего меньшую скорость, действует сила  $F=Gf$ , направленная против ускорения, а со стороны нижележащего слоя, имеющего большую скорость, — сила  $F+dF$ , направленная по ускорению. По принципу

Даламбера, разность этих сил уравнивается силой инерции  $dP = \frac{dG}{g}a$ , где  $a$

— ускорение данного слоя

$$\frac{dG}{g}a = dF, \text{ или } a = g * \frac{dF}{dG} = g * \left( f + G * \frac{df}{dG} \right) \quad (9)$$

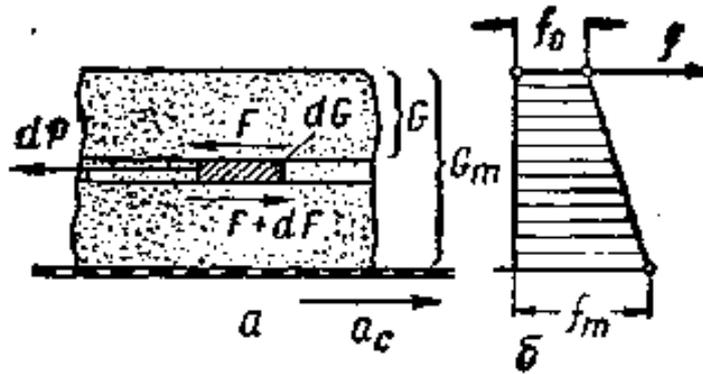


Рис. 4. Взаимодействие слоев продукта:

**а** — схема сил, действующих на слой; **б** — график коэффициентов сопротивления сдвигу слоев.

Так как  $f$  с увеличением  $G$ , т. е. по мере перехода от вышележащих слоев к нижележащим, увеличивается, то ускорение вышележащих слоев будет меньше, чем нижележащих.

Выражение в скобках называют приведенным коэффициентом сопротивления сдвигу слоев.

$$f_{пр} = f + G * \frac{df}{dG} \quad (10)$$

Многочисленные опыты показывают, что для большинства продуктов измельчения зерна зависимость  $f$  от  $G$  линейна (рис. 4, б).

Положение данного слоя в сыпучем теле удобно характеризовать безразмерной координатой:

$$j = \frac{G}{G_m}$$

где  $G$  — давление вышележащей части сыпучего тела;

$G_m$  — давление на сито ( $j=0$  для верхнего слоя и  $j=1$  для нижнего слоя).

Обозначая

$$\xi = \frac{f_m - f_0}{f_0}$$

где:  $f_0$  и  $f_m$  — коэффициенты сопротивления сдвигу соответственно верхнего и нижнего слоев, получим:

$$f = f_0 * (1 + \xi * j) \quad (11)$$

и

$$f_{\text{пр}} = f_0 * (1 + 2 * \xi * j) \quad (12)$$

В таблице XV-1 приведены средние значения  $f_0$  и  $g$  для некоторых продуктов измельчения зерна при нормальной влажности (12—13%) и при движении их по плетеным ситам.

Значения коэффициентов  $f_0$  и  $\xi$  практически не зависят от толщины  $H$  сыпучего тела, если  $5 \text{ мм} \leq H \leq 50 \text{ мм}$ .

Обязательным условием послойного движения является достаточная шероховатость опорной поверхности, когда  $f_m > f_0$ .

Если указанное условие нарушается, как это имеет место на поверхности оцинкованного или глянцевое железа, то послойное движение не происходит и все сыпучее тело движется как твердое или как одна материальная частица.

Необходимо помнить, что полученные формулы применимы только при наличии послойного движения, которое происходит, если ускорение сита  $a_c$  больше критического.

При постепенном увеличении  $\omega$  или  $r$  первым начинает свое относительное движение верхний слой при первом критическом ускорении:

$$a_0 = (\omega^2 \rho)_0 = g * f_0 \quad (13)$$

При дальнейшем увеличении  $\omega$  послойное движение распространяется в нижележащие слои. Относительное движение нижнего слоя по ситу начинается при втором критическом ускорении:

$$a_1 = (\omega^2 \rho)_1 = g * f_0 * \sqrt{1 + 6 * \xi * (1 + \xi)} \quad (14)$$

Если  $a_0 < a < a_1$ , то в послойном движении участвует часть сыпучего тела, расположенная над слоем с координатой  $j_k$ , для которого

$$a = (\omega^2 \rho) = g * f_0 * \sqrt{1 + 6 * \xi * j_k * (1 + \xi * j_k)} \quad (15)$$

Координату  $j_k$ , определяющую нижнюю границу послойного движения, найдем из уравнения (15):

$$j_k = \frac{\sqrt{\frac{2}{3} * \left(\frac{\omega^2 * \rho}{g * f_0}\right)^2 + \frac{1}{3}} - 1}{2 * \xi}$$

**Интенсивность послойного движения J** прямо пропорциональна относительной скорости двух смежных слоев и обратно пропорциональна весу  $dG$  элементарного слоя:

$$J = \frac{dV}{dG}$$

Рассмотрим элементарный участок кривой  $A_0A_m$  (рис. 5), соответствующий границам элементарного слоя  $dG = G_m dj$ .

Радиус абсолютной траектории точек на верхней границе этого слоя  $r$ , на нижней границе  $r + dr$ . Хорда  $dS$  представляет собой радиус траекторий точек данного слоя в относительном движении по нижележащему слою.

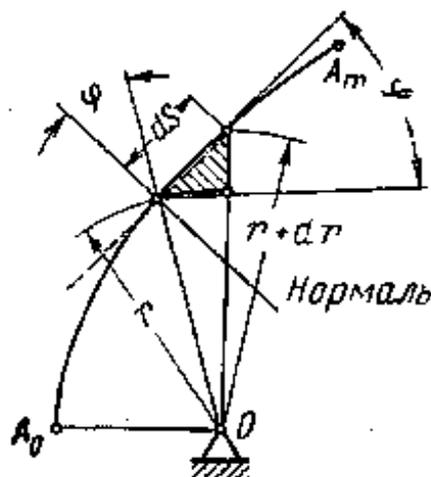


Рис. 5. Схема к определению интенсивности послойного движения.

Поэтому

$$dv = adS.$$

С точностью до бесконечно малых более высокого порядка, чем  $dr$ , можно записать:

$$dS = \frac{dr}{\sin \varphi}$$

где:  $\varphi$  — угол между нормалью и радиусом-вектором  $r$ .

Имеем

$$J = \frac{\omega}{G_m \sin \varphi} * \frac{dr}{dj}$$

После подстановок и преобразований получим:

$$J = \frac{3 * g * f_0 * \xi * (1 + 2 * \xi * j)}{G_m * \omega * \sqrt{2 * \xi * j * (1 + \xi * j)}} \quad (16)$$

Для анализа процесса самосортирования представляет интерес средняя интенсивность послойного движения, отнесенная ко всей толщине сыпучего тела.

Если ускорение сита больше второго критического, т. е. если в послыном движении участвует все сыпучее тело, то после интегрирования и преобразований получим:

$$J_{CP} = \frac{3 * g * f_0}{\omega * G_m} * \sqrt{2 * \xi * (1 + \xi)} \quad (17)$$

Если в послыном движении участвует лишь часть сыпучего тела, т.е. если  $(\omega^2 \rho)_0 < (\omega^2 \rho) < (\omega^2 \rho)_1$ , то верхний предел интегрирования в уравнении следует принять  $j_k$ , тогда имеем:

$$J_{CP} = \frac{\sqrt{3}}{G_m} * \omega * \sqrt{\rho^2 - \left(\frac{gf_0}{\omega^2}\right)^2} \quad (18)$$

Уравнение (18) показывает, что при неизменном значении  $\rho$  и при увеличении  $\omega$  от значения  $\omega_0 \sqrt{\frac{gf_0}{\rho}}$ , соответствующего началу относительного движения верхнего слоя, до значения  $\omega_1 = \sqrt{\frac{gf_0}{\rho} * \sqrt{1 + 6 * \xi * (1 + \xi)}}$ , при котором начинается относительное движение нижнего слоя по ситу, средняя интенсивность послыного движения увеличивается от 0 до

$$J_{CP.л} = \frac{3 * \sqrt{2}}{G_m} * \sqrt{\frac{g * f_0 * \xi * (1 + \xi)}{\sqrt{1 + 6 * \xi * (1 + \xi)}}} * \sqrt{\rho} \quad (19)$$

При дальнейшем увеличении  $\omega$ , как это следует из уравнения (17), средняя интенсивность послыного движения уменьшается и при  $\omega \rightarrow \infty$  прекращается.

**Процесс самосортирования продуктов измельчения зерна** на сите рассева заключается в том, что частицы отличающиеся меньшими размерами, большей плотностью и формой, приближающейся к сферической, перемещаются в нижние слои, а частицы, имеющие противоположные свойства, поднимаются в верхние слои.

Так как процесс самосортирования завершается просеиванием, для анализа работы отсева наибольший интерес имеет перемещение мелких частиц к поверхности сита. Это перемещение можно рассматривать как результат проникновения частиц меньших размеров через поры нижележащих слоев. Вероятность такого проникновения возрастает с увеличением интенсивности изменения размеров и формы пространства между частицами, которую можно полагать пропорциональной интенсивности послыного движения  $J_{cp}$ :

$$u = A * J_{cp} \quad (20)$$

где  $u$  — средняя скорость проходовой частицы в вертикальном направлении;

$A$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств проходовой частицы и окружающих ее частиц сыпучего тела.

Так как в исходной смеси продуктов измельчения зерна, поступающей на сито, проходовые частицы распределены по всей толщине  $H$  сыпучего тела, то для технологических расчетов представляет интерес время  $t_0$ , за которое проходовые частицы перемещаются от верхнего слоя до поверхности сита:

$$t_0 = \frac{H}{u}$$

Подставляя  $u$  из уравнения (20) и  $J_{cp}$  из уравнения (17), получим:

$$t_0 = \frac{H * \omega * G_m}{3 * A * g * f_0 * \sqrt{2 * \xi * (1 + \xi)}} = \frac{\omega * H^2 * \gamma}{3 * A * f_0 * \sqrt{2 * \xi * (1 + \xi)}} \quad (21)$$

где  $\gamma$  — вес единицы объема сыпучего тела.

Из уравнения (XV-24) видно, что время пребывания продуктов на сите, необходимое для достижения проходовыми частицами поверхности сита, увеличивается пропорционально частоте круговых колебаний сита и квадрату толщины сыпучего тела и находится в обратной зависимости от коэффициентов  $f_0$  и  $\xi$ .

Наиболее интенсивно самосортирование при втором критическом ускорении сита, когда  $J_{cp}$  достигает максимума.

Если ускорение сита выше второго критического, то интенсивность самосортирования не зависит от радиуса  $r$  рассева. Увеличение  $r$  позволяет получить второе критическое ускорение при меньшей угловой скорости  $\omega$ , а следовательно, приводит к интенсификации самосортирования, что видно, если определить  $t_{оп}$ , подставив значение  $J_{cp-п}$  из уравнения (19):

$$t_{оп} = \frac{H^2 * \gamma * \sqrt[4]{1 + 6 * \xi * (1 + \xi)}}{\sqrt{\rho} * 3 * A * \sqrt{2 * g * f_0 * \xi * (1 + \xi)}} \quad (22)$$

**Просеивание частицы нижнего слоя через отверстие сита** следует рассматривать как случайное явление, вероятность которого зависит от многих факторов: соотношения размеров частицы и отверстия, формы и свойств частицы, толщины сыпучего тела над данным участком сита и скорости в относительном движении нижнего слоя по ситу. Учитывая, что радиус относительной траектории частицы обычно во много раз превышает размер отверстия, можно приближенно рассматривать горизонтальную траекторию в относительном движении частицы над одним отверстием как отрезок прямой. При заданных размерах частицы и отверстия вероятность просеивания при однократном движении частицы над отверстием зависит от направления и абсолютной величины относительной скорости: чем меньше скорость, тем больше время пребывания частицы над отверстием, а следовательно, и путь в вертикальном направлении, что благоприятствует просеиванию. Однако с уменьшением скорости уменьшается и число частиц, которые проходят над данным отверстием в единицу времени. Поэтому существует некоторое оптимальное значение относительной скорости, при котором через единицу площади сита извлекается наибольшее количество прохода  $q \left[ \frac{г}{сек * см^2} \right]$ .

При оптимальной скорости частица, двигаясь над отверстием в направлении, показанном на рисунке 6, достигает противоположной нити за время  $T$ , достаточное для просеивания.

$$V_{оп} = \frac{B - \frac{\Delta + d}{2}}{T} \quad (23)$$

где  $B$  — шаг отверстия;

$\Delta$  — толщина нити сита;

$d$  — средний условный размер частицы, представленной в виде шара.

Опыты показывают, что при неизменной толщине сыпучего тела над ситом изменение номера сита не оказывает существенного влияния на величину  $T$ .

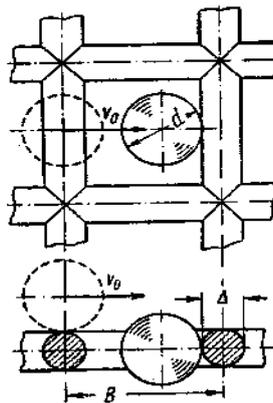


Рис. 6. Схема движения частицы над отверстием при оптимальной скорости.

Поэтому оптимальное значение относительной скорости для данного продукта увеличивается при увеличении размера отверстий сита. Установлено, что для продуктов измельчения зерна при просеивании их на различных ситах рассева  $v_{оп} = 0,5—1$  м/сек.

Для определения действительной скорости частиц нижнего слоя продукта при заданных кинематических параметрах сита может быть применена следующая формула:  $V_0 \omega * A_m * B$ .

$$V_0 = \omega * \rho * \sqrt{1 - \left(\frac{g * f_0}{\omega^2 * \rho}\right)^2 * (1 + 2 * \xi)^2} - \frac{g f_0}{\omega} * \sqrt{2 * \xi * (1 + \xi)} \quad (24)$$

Из формулы (24) видно, что одна и та же относительная скорость (например, оптимальная по условиям просеивания) может быть получена при любом радиусе рассева  $\rho$  путем соответствующего выбора угловой скорости  $\omega$  в зависимости от свойств продукта, т. е. от значения коэффициентов  $f_0$  и  $\xi$ .

На интенсивность просеивания оказывает большое влияние толщина сыпучего тела. Характер зависимости объясняется следующим. Частицы нижнего слоя в результате удара о нити ситовой ткани отражаются вверх и находятся в непосредственном контакте с ситом лишь некоторую часть времени, что существенно уменьшает вероятность их просеивания; частицы вышележащих слоев, непосредственно не касающиеся сита, ограничивают это движение частиц нижнего слоя. Поэтому при увеличении массы вышележащих слоев интенсивность просеивания возрастает. При некоторой критической толщине сыпучего тела обеспечивается непрерывное движение нижнего слоя в контакте с ситом. Дальнейшее увеличение толщины сыпучего тела сопровождается увеличением сил взаимодействия частиц нижнего слоя и, в частности, сил трения, что затрудняет падение частиц в отверстие сита.

Характерно, что при увеличении скорости нижнего слоя по сити критическая толщина слоя увеличивается. Для различных продуктов измельчения зерна при скоростях, близких к оптимальным, критическая толщина сыпучего тела в статических условиях (при движении вследствие разрыхления толщина сыпучего тела увеличивается) находится в пределах 10—18 мм.

Непрерывное перемещение продуктов по сити (подача от приемного конца ситового канала к сходовому) обусловлено в основном двумя факторами: подпором вследствие поступления в канал новых порций продукта и реакциями боковых стенок или гонков. Разрыхление сыпучего тела при его относительном движении по сити уменьшает силы сцепления частиц и благоприятствует выравниванию толщины этого тела по всей

площади сита. Увеличение толщины сыпучего тела в приемной части канала вследствие непрерывного поступления исходной смеси вызывает давление на остальную часть этого тела в направлении к сходящему концу, где движению продукта не препятствует поперечная стенка. В результате такого давления сыпучее тело приобретает некоторую дополнительную скорость, превращающую круговые траектории частиц по ситам в петлеобразные, как это показано на рисунке XV-7, *a*.

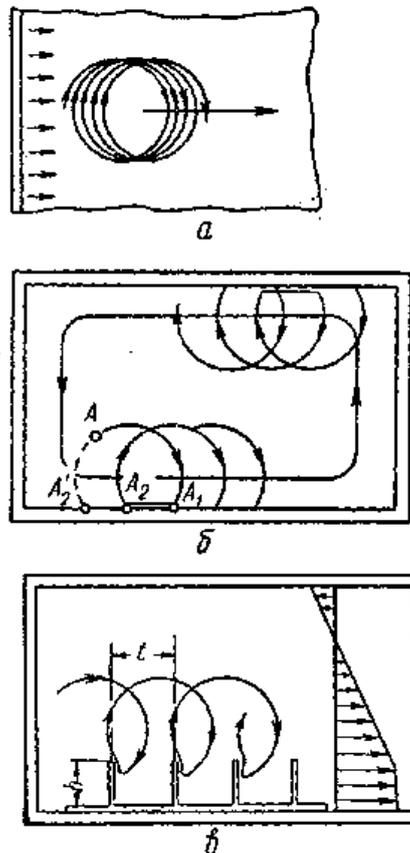


Рис. 7. Схемы движения частиц продукта:

*a* — в результате подпора вновь поступающего продукта; *б*—в результате реакции стенок канала; *в* — при наличии гонков (справа эпюра скоростей подачи при совместном влиянии подпора, реакций стенок и гонков).

Увеличение длины сита при неизменном количестве исходной смеси, поступающей на него в единицу времени, увеличивает сопротивление подаче, вследствие чего увеличивается толщина сыпучего тела и уменьшается скорость подачи.

При увеличении количества исходной смеси в единицу времени одновременно увеличиваются толщина сыпучего тела и скорость подачи.

Влияние стенок каналов на скорость подачи обусловлено следующим. Если частица  $A$  продукта (рис. 7, б), перемещаясь по ситам, встречается со стенкой в точке  $A_1$  то ее дальнейшее движение продолжается вдоль стенки. Если бы трение отсутствовало, то частица скользила бы до точки  $A'_2$ . В действительности, в результате трения о стенку путь частицы за то же время меньше и относительное движение по окружности она продолжит из точки  $A_2$ , т. е. будет двигаться по петлеобразной траектории.

Происходящее при этом отбрасывание продукта от стенки нарушает послонное движение и вызывает перемешивание сыпучей смеси, вызывая одновременно подачу.

У противоположной стенки продукт приобретает скорость подачи в противоположном направлении. Если стенки образуют замкнутый контур, подача продукта происходит вдоль стенок в направлении, противоположном движению сита.

В канале, открытом со сходового конца при непрерывном поступлении исходной смеси, подпор и реакции одной из боковых стенок влияют в одинаковом направлении, увеличивая подачу; реакции другой боковой стенки действуют противоположно подпору, уменьшая подачу. Чем длиннее ситовой канал и чем меньше его ширина, тем значительнее влияние боковых стенок и тем меньшее влияние на скорость подачи оказывает подпор. В широких и коротких каналах, напротив, решающее влияние на скорость подачи оказывает подпор, влияние боковых стенок снижается в результате уменьшения части продукта, непосредственно взаимодействующего со стенками.

В отсевах ЗРМ длина ситового канала в семь раз больше ширины; действие подпора на скорость подачи незначительно, а действия левой и правой стенок противоположны. Поэтому для получения достаточной скорости подачи реакции одной из боковых стенок увеличивают с помощью

так называемых гонков (рис. 7,е). Гонки размещают на правой стенке при движении рассева по часовой стрелке и на левой стенке — при движении рассева против часовой стрелки.

В зоне гонков продукт перемешивается и резко снижается эффективность самосортирования и просеивания. Чтобы уменьшить вредное влияние гонков, их поднимают над ситом на 12—15 мм, а на многих мельницах гонки, расположенные у сходового конца канала, загибают.

Величину шага  $t$  выбирают от  $r_0$  до  $2r_0$  ( $r_0$ —средний радиус относительных траекторий частиц), так как при  $t > 2r_0$  скорость подачи резко снижается, а при  $t < r_0$  использование ситовой поверхности в зоне гонков становится ничтожным. Размер  $h$  выбирают от  $r_0$  до  $1,5 r_0$ , так как при  $h < r_0$  скорость подачи снижается, а при  $h > 1,5 r_0$  увеличивается время пребывания частиц между гонками вблизи стенок.

Скорость подачи оказывает большое влияние на эффективность работы ситового канала. Особенно важно, чтобы распределение скоростей подачи в поперечном сечении было равномерным, так как при этом достигаются одинаковое время пребывания на сите порций продукта, поступающих в различные точки ситового канала, и повышается средний коэффициент извлечения проходовой фракции. Равномерность скоростей подачи в поперечном сечении ситового канала увеличивается с уменьшением отношения длины  $L$  канала к его ширине  $B$ , особенно при отсутствии гонков. Скорость подачи возрастает с увеличением  $\omega$  и  $p$  рассева и с уменьшением коэффициентов сопротивления сдвигу слоев.

### **Технологические показатели работы рассева. Влияние различных факторов на эффект сепарирования и пути интенсификации работы рассевов**

Работа рассева оценивается следующими показателями:  $Q_0$  — нагрузкой, т. е. количеством исходной смеси, поступающей в машину в единицу времени;

$\xi$  — количеством недосева, т. е. относительным содержанием мелких, проходовых фракций в продуктах, полученных сходом с сита;

$\eta$  — коэффициентом извлечения, т. е. отношением количества извлеченного продукта к количеству того же продукта, содержащегося в исходной смеси.

Недосев характеризует неоднородность фракций, полученных после прохождения через рассев, а коэффициент извлечения показывает, какую часть количества данной фракции удастся выделить из исходной смеси.

При рассмотрении работы одного сита, т.е. при разделении исходной смеси на сход и проход, состав исходной смеси можно охарактеризовать относительным содержанием проходовой фракции:

$$И = \frac{П_0}{Q_0} * 100\% \quad (25)$$

где  $П_0$  — количество проходовой фракции в кг;

$Q_0$  — количество исходной смеси в кг.

Если при просеивании получено  $П$  кг проходовой фракции и  $G$  кг сходовой фракции, то коэффициент извлечения можно выразить так:

$$\eta = \frac{П}{П_0} * 100\% \quad (26)$$

а недосев

$$\xi = \frac{П_0 - П}{G} = \frac{П_0 - П}{Q_0 - П} \quad (27)$$

Взаимосвязь коэффициента извлечения с недосевом при данном составе исходной смеси определяется уравнениями-

$$\xi = \frac{1 - \eta}{\frac{1}{И} - \eta} \quad \text{и} \quad \eta = \frac{1 - \xi}{1 - \xi} \quad (28)$$

Эффективность работы рассевов на мельнице в целом определяется удельной нагрузкой, т. е. отношением количества переработанного зерна в сутки к общей поверхности сит во всех рассевах.

Для рассевов определенной конструкции удельные нагрузки зависят от схемы помола, качества зерна и оснащенности мельницы другими технологическими машинами; при неизменных условиях удельная нагрузка характеризует степень совершенства рассевов. В соответствии с правилами организации и ведения технологического процесса при многосортных помолах пшеницы удельная нагрузка на рассевы ЗРМ установлена в пределах от 630 до 800 кг/ж<sup>2</sup> • сутки.

Правилами определяются также ориентировочные нагрузки на рассевы на различных системах драного и размольного процессов шлифовки и контроля муки.

Основными факторами, влияющими на четкость сепарирования отдельным ситом, являются:

- гранулометрический состав исходной смеси и ее физико-механические свойства;
- удельная нагрузка, т. е. нагрузка, отнесенная к единице ширины сита;
- размеры сита (площадь и отношение длины к ширине);
- кинематические параметры  $\omega$  и  $r$ ;
- размеры отверстий сита, материал нитей и «живое» сечение единицы площади сита;
- способ очистки сит;
- способ перемещения продукта по ситам (подача).

Совместное рассмотрение явлений самосортирования и просеивания при послойном движении продуктов измельчения зерна по ситам рассева позволяет характеризовать режимы, обеспечивающие наибольший эффект сепарирования в зависимости от нагрузки и гранулометрического состава и свойств исходной смеси.

Если исходная смесь содержит большое количество проходных частиц, то общий эффект сепарирования будет определяться интенсивностью просеивания. Для повышения последней необходимо, чтобы сыпучее тело, находящееся на сите, имело определенную толщину, чтобы кинематические

параметры соответствовали оптимальной скорости нижнего слоя по ситам и чтобы сита хорошо очищались. В практике сортовых помолов пшеницы такие условия желательны, например, в контрольных посевах. Если содержание проходовой фракции в исходной смеси незначительно, общий эффект сепарирования зависит от самосортирования, интенсивность которого возрастет с уменьшением толщины сыпучего тела и частоты колебаний при соответствующем увеличении радиуса круговых траекторий сита; для таких условий целесообразно увеличивать радиус круговых траекторий до пределов, допустимых по конструктивным соображениям, и устанавливать угловую скорость, обеспечивающую ускорения, несколько превышающие второе критическое.

Увеличение количества исходной смеси, поступающей на сито в единицу времени, вызывает повышение скорости подачи и толщины сыпучего тела. Поэтому снижается интенсивность самосортирования, но может повыситься интенсивность просеивания, если толщина сыпучего тела не превышает оптимального значения.

Для исходных смесей с большим содержанием проходовой фракции возрастание нагрузки на сито до некоторого предела способствует интенсификации процесса сепарирования в целом. При малом содержании проходовой фракции увеличение нагрузки резко снижает интенсивность сепарирования и может быть компенсировано в посевах в целом увеличением количества параллельных ситовых каналов или их удлинением.

По мере измельчения продуктов, пропускаемых через сита, уменьшается различие в размерах и свойствах частиц исходной смеси, что отрицательно сказывается на интенсивности самосортирования и просеивания и требует снижения удельных нагрузок.

Распределение общей ситовой поверхности в посевах между ситами, предназначенными для отбора различных фракций, последовательность отбора фракций и способ соединения ситовых рам (последовательное,

параллельное или смешанное соединение) определяют технологическую схему рассева.

Для эффективного использования сит при различных количественных и качественных характеристиках исходных смесей рассев должен отвечать следующим основным требованиям:

-частота круговых колебаний и радиус траекторий точек сита должны быть регулируемы в зависимости от места рассева в технологическом процессе;

-технологическая схема должна обеспечивать на всех ситах оптимальные условия сепарирования (особенно толщину сыпучего тела), что достигается комбинированием параллельных и последовательных соединений сит;

-при параллельном питании нескольких приемных ситовых каналов должно быть обеспечено равномерное поступление в них продуктов, независимо от кинематических параметров рассева;

-очистительные устройства должны обеспечивать очистку всей площади сит с заданной интенсивностью, независимой от кинематических параметров рассева.

Мощность, требующаяся для привода рассева в движение. Мощность, затрачиваемая на привод рассева определяем по формуле (29).

$$N_p = N_{\text{ИП}} + N_{\text{ТР}} + N_{\text{П}} \quad (29)$$

где:  $N_{\text{ИП}}$  – мощность, требуемая для преодоления трения продукта о сита и сборные днища, эта мощность обусловлена силой трения.

$$F = Q_{\text{ИП}} * f_{\text{ИП}} * \kappa \Gamma$$

тогда:

$$N_{\text{ИП}} \frac{F * V \sin \varphi}{102} \quad (30)$$

так как  $V = \omega \rho$  и  $\sin \varphi = \sqrt{1 - \left( \frac{gf_{\text{ИП}}}{\omega^2 \rho} \right)^2}$

То мощность определяем по формуле (31).

$$N_{\text{ПР}} = \frac{Q_{\text{ПР}} * f_{\text{ПР}} * \omega * \rho}{102} * \sqrt{1 - \left( \frac{g * f_{\text{ПР}}}{\omega * \rho} \right)^2} \text{ кВт (31)}$$

где:  $Q_{\text{ПР}}$  – вес продукта на ситах и сборных днищах на расसेве, определяем по формуле (32):

$$Q_{\text{ПР}} = F * h * \rho * n \text{ кг (32)}$$

где:  $F$  – площадь сита,  $\text{м}^2$ ;

$h$  – высота слоя продукта,  $\text{м}$ ;

$\rho$  – насыпная плотность продукта  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$n$  – количество сит и сборных днищ.

$f_{\text{ПР}}$  – средний приведенный коэффициент трения по сити;

$\omega$  – угловая скорость вращения корпуса рассева,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\rho$  – радиус вращения корпуса рассева,  $\text{м}$ .

$N_{\text{ПР}}$  – мощность, требуемая для преодоления трения в нижних подшипниках, определяем по формуле (33).

$$N_{\text{ПР}} = \frac{M_{\text{ТР}} * \omega}{102}$$

Момент  $M_{\text{ТР}}$  обусловлен радиальной реакцией в нижнем подшипнике, которую без учета действия продукта можно приблизительно определить из уравнения:

$$R_y = Q_p * \rho * \left( \frac{\omega^2}{g} - \frac{1}{l_p} \right) \text{ (34)}$$

Пренебрегая величиной  $1/l_p$ , получим:

$$R_y = Q_p * \rho * \frac{\omega^2}{g}$$

Тогда:

$$M_{\text{ТР}} = R_y * f * \frac{D}{2} = \frac{Q_p * \rho * f * \omega^2 * D}{2 * g} \text{ (35)}$$

где:  $f$ - коэффициент трения в нижнем подшипнике;

$D$ - диаметр пальца кривошипа в  $\text{м}$ .

Отсюда:

$$N_{\text{пр}} = \frac{Q_p * \rho * D * f * \omega}{1,36 * 150 * g} \text{ кВт} \quad (36)$$

где:  $Q_{\text{пр}}$  - вес корпуса рассева с продуктом, кг( определяется взвешиванием или рассчитывается)

$N_{\text{п}}$  - мощность, требуемая для преодоления трения о воздух, трения в деталях и т.п.,  $N_{\text{п}}=0,05$  кВт.

Номинальную мощность электродвигателя при индивидуальном приводе рассева определяют по уравнению:

$$N_{\text{ном}} = \frac{N_B}{\eta} \quad (37)$$

где:  $\eta$ —коэффициент полезного действия трансмиссии.

### **Динамика самоуравновешивающегося рассева без приводного вала**

Основные уравнения установившегося движения. Для упрощения задачи допустим, что при движении рассева в нем отсутствуют продукты, что сопротивление среды пренебрежительно мало и что центр тяжести поступательно движущихся масс расположен на оси вращения балансирующего вала в одной горизонтальной плоскости с его центром тяжести. Тогда при равномерном вращении балансирующего вала движение рассева можно рассматривать как движение системы из двух материальных точек, расстояние между которыми постоянно и равно смещению  $g$  центра тяжести балансирующего вала от оси балансирующего вала. Рассмотрим схему расположения центров тяжести  $O_1$ — поступательно движущихся масс и  $O_2$  — балансирующего вала в неподвижных горизонтальных осях  $x — y$ , начало которых совпадает с положением точки  $O_1$  при неподвижном расसेве (рис. 8, а).

Применяя принцип Даламбера, рассмотрим условия динамического равновесия системы материальных точек  $O_1$  и  $O_2$ , приняв за переносное движение — поступательное с точкой  $O_1$  а за относительное— равномерное вращение вокруг оси  $O_1$  с угловой скоростью  $\omega$ .

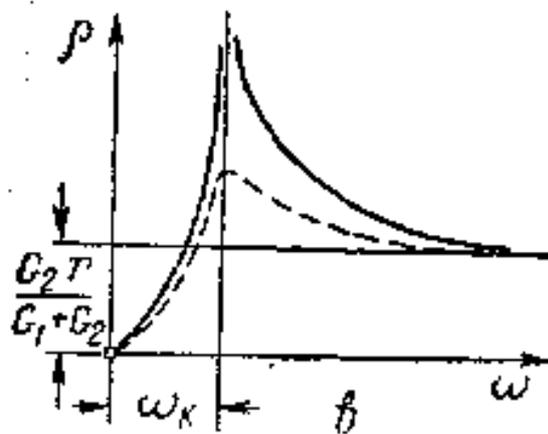
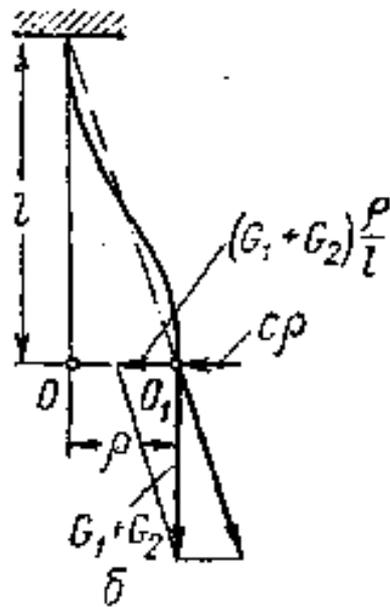
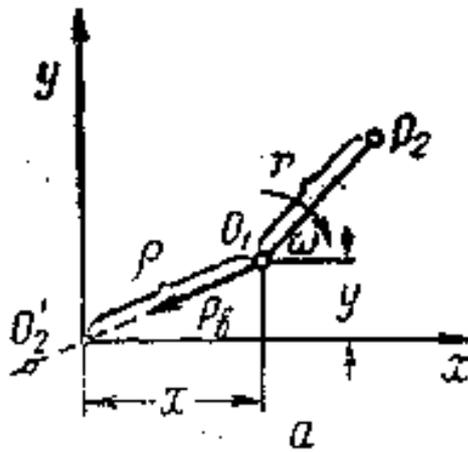


Рис. 8 К динамике самобалансирующегося расцева без приводного вала:

а—схема расположения центров тяжести поступательно движущихся и вращающихся масс; б — схема к определению восстанавливающей силы от веса расцева; в—амплитудно-частотная характеристика.

Единственная внешняя восстанавливающая сила  $P_B$ , действующая на систему в горизонтальной плоскости, является равнодействующей реакцией подвесок, которую можно считать приложенной в точке  $O_1$  и направленной к началу координат  $O$ . Эта сила обусловлена упругостью подвесок, если они выполнены из бамбуковых стержней, и горизонтальной составляющей силы тяжести, как видно из схемы на рисунке 8, б.

$$P_B = (G_1 + G_2) * \frac{\rho}{l} + c\rho \quad (38)$$

где:  $G_1$  — вес поступательно движущихся масс в кГ;  $G_2$  — вес вращающихся масс (балансирный вал) в /сГ;  $\rho = \theta_{O_1}$  — отклонение точки  $O_1$  от равновесного положения в м;  $L$  — длина подвесок в ж;  $c$  — общая жесткость всех подвесок в кГ/м.

Проекции этой силы на координатные оси соответственно равны:

$$P_{BX} = P_B * \frac{x}{\rho} = \left( \frac{G_1 + G_2}{l} + c \right) * x = c_0 * x$$

$$P_{BY} = P_B * \frac{y}{\rho} = \left( \frac{G_1 + G_2}{l} + c \right) * y = c_0 * y$$

Где:  $c_0 = \frac{G_1 + G_2}{l} + c$  — приведенная жесткость.

Тогда дифференциальные уравнения движения системы имеют вид:

$$\frac{G_1 + G_2}{g} \ddot{x} + c_0 * x = \frac{G_2}{g} * \omega^2 * r * \cos \omega t \quad (39)$$

$$\text{и } \frac{G_1 + G_2}{g} \ddot{y} + c_0 * y = \frac{G_2}{g} * \omega^2 * r * \sin \omega t$$

Рассматривая установившееся движение системы без учета собственных колебаний, обусловленных начальным отклонением и случайными возмущениями, находим частные решения в виде:

$$x = \rho \cos \omega t \quad (34)$$

$$\text{и } y = \rho \sin \omega t$$

Дифференцируя дважды уравнения (34), после подстановки в (33) и преобразований получаем:

$$\rho = \frac{G_2}{G_1 + G_2} * \frac{r}{\left(\frac{\omega_k}{\omega}\right)^2 - 1} \quad (35)$$

где:  $\omega_k = \sqrt{g\left(\frac{1}{l} + \frac{c}{G_1 + G_2}\right)}$  — частота собственных колебаний системы..

В случае подвески рассева на гибких тросах  $c = 0$  и  $\omega_k = \sqrt{\frac{g}{l}}$ .

Зависимость  $\rho$  от  $\omega$  при установившемся движении рассева показана на рисунке XV-29, в.

При  $\omega < \omega_k$   $\rho > 0$ , что соответствует расположению точек  $O_1$  и  $O_2$  по одну сторону от начала координат  $O$ ; при  $\omega > \omega_k$   $\rho < 0$ , что соответствует расположению точек  $O_1$  и  $O_2$  по разные стороны от точки  $O$  (на рис. XV-29, а показано пунктиром). Наличие сопротивлений колебаниям рассева, и в частности трение продукта, не учтенных в уравнениях (XV-62), изменяют амплитудно-частотную характеристику рассева, как показано пунктиром на рисунке XV-29, в.

Номинальную мощность двигателя можно определять по формулам для рассева с жестким приводным валом.

Переход рассева через резонанс при разбеге и выбеге сопровождается увеличением  $\rho$ ; это увеличение тем менее значительно, чем больше ускорение балансирного вала при переходе через резонансный режим и чем меньше расстояние  $g$  от центра тяжести балансира до оси их вращения.

Для уменьшения амплитуды колебаний при разбеге и выбеге рассева некоторые иностранные фирмы применяют ограничители колебаний или балансиры с переменным расстоянием  $r$  («Сокама», «Бюллер»).

В последнем случае основной груз балансиров удерживается пружинами вблизи оси вращения, и лишь после достижения угловой скорости, значительно превышающей критическую, в результате действия центробежных сил, преодолевающих усилие пружины, радиус  $r$  увеличивается до номинального значения.

Аналогичный эффект достигается в механизме Я. И. Лейкина, где увеличение статического момента осуществлено в результате перемещения стальных шариков, заполняющих пустотелый балансир с наклонным дном.

Однако избежать при резонансе колебаний рассева, нарушающих условия нормальной эксплуатации (срыв приемных и выпускных рукавов), можно и без применения специальных устройств, установив электродвигатель с большим пусковым моментом, уменьшив момент инерции балансиров и смещения их центра тяжести от оси вращения. Такие условия достигнуты, в частности, в расसेве ЗРШ-1-4 и приводном безверетенном механизме конструкции А. Б. Демского и С. В. Тамарова.

#### Определение параметров рассева.

Каждая секция рассева работает определенной измельчающей системой. В зависимости от выбранной технологической схемы, технологического оборудования. Малогабаритная мельница имеет две измельчающие системы драную и размольную. Производительность мельницы  $Q$  составляет 140 кг/ч

Так в нашем случае конструкция рассева имеет две секции. Первая секция работает с продуктами измельчения дранной системы, коэффициент извлечения составляет 20...25%, при этом  $Q_M$  количество выделенной муки определяем по формуле (36).

$$Q_M = Q * u \quad (36)$$

где:  $Q$  – количество поступающего в секцию отсева ( задается или определяется из баланса помола);

$u$  – коэффициент извлечения.

Вторая секция работает с продуктами измельчения размольной системы, коэффициент извлечения которой составляет  $u=65\%$ . При этом количество выделенной муки будет равно.

Расстановку сит и выбор их номера приводятся на технологической схеме.

Необходимую просеивающую поверхность  $F$  отсева для заданной производительности определяем по формуле (37).

$$F = \frac{1000 * Q_1}{q_p} \text{ м}^2 \quad (37)$$

где:  $Q_1$  – суточная производительность мельницы, т/сут.;

$$Q_1 = \frac{Q * 24}{1000} \text{ т/сут}$$

$q_p$  – техническая норма нагрузки,  $q_p=1100 \text{ кг}/(\text{м}^2 * \text{сут})$ .

Размеры стандартной ситовой рамки секции отсева составляют  $0,4 \times 0,8 \text{ м}$ , таким образом площадь ситовой рамки  $F_p=0,32 \text{ м}^2$ . Тогда количество сит в секции определяем по формуле (38).

$$n_p = \frac{F}{F_p} \quad (39)$$

Частота вращения  $\omega$  корпуса отсева, для обеспечения движения продуктов по ситам должна быть больше первой критической  $\omega_{кр}$ , определенной по формуле (40).

$$\omega = \sqrt{\frac{g * f}{\rho}} \text{ с}^{-1} \quad (40)$$

где:  $f$ – коэффициент трения продукта по ситам,  $f=0,4$ ;

$g$ -ускорение свободного падения,  $g=9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ ;

$\rho$  – радиус вращения корпуса, м.

Тогда число оборотов корпуса равно:

$$n = \frac{\omega * 30}{\pi} \text{ МИН}^{-1}$$

Установлено, что интенсивность извлечения проходовых фракций существенно зависят от кинематических параметров рассева, толщины слоя продукта на сите, его гранулометрической и фрикционной характеристик, состояния сортирующей поверхности. Исходя из рекомендаций [ ], принимаем толщину слоя на сите равной  $H=15$  мм.

При достижении первого критического значения скорости вращения корпуса рассева, верхний слой продукта приобретает скорость относительно сита, начинается послыйное движение сыпучего продукта.

Самый нижний слой начинает относительное движение при втором критическом ускорении, именно в этот момент интенсивность послыного движения достигает максимума.

В нашем случае в рассеве происходит разделение различных видов продуктов, поэтому необходимо правильно выбрать кинематические параметры рассева, обеспечивающие оптимальную интенсивность послыного движения.

Так первое критическое ускорение в нашем случае равно:

$$(\omega^2 * \rho)_{1KP} = a_1 \text{ М/с}^2$$

Определим второе критическое ускорение по формуле (41).

$$a = (\omega^2 * \rho)_{2KP} = g * f_0 * \sqrt{1 + 6 * \xi * (1 + \xi)} \quad (41)$$

где:  $f_0$  – коэффициент сопротивления сдвига верхнего слоя продуктов измельчения, таблица ( ), крупка  $f_{0K}=0,68$ , мука  $f_{0M}=0,88$ ;

$\xi$ - безразмерный коэффициент, таблица ( ), крупка  $\xi_R=0,22$ , мука  $\xi_M=0,04$ .

Эти параметры практически не изменяются от толщины  $H$  слоя продукта на сите при  $5 \leq H \leq 50$  мм.

Так как наибольшую эффективность процесса сепарирования и соответственно производительность рассева достигается при втором критическом ускорении, определяем угловую скорость корпуса рассева по формуле (42)

$$\omega = \sqrt{\frac{a}{\rho}} \text{ с}^{-1} \quad (42)$$

Соответственно частота вращения корпуса рассева равна:

$$n = \frac{\omega * 30}{\pi} \text{ мин}^{-1}$$

Определим среднюю интенсивность послойного движения продукта по ситам из формулы (43).

$$I_{CP} = \frac{3 * g * f_o}{G_M * \omega} * \sqrt{2 * \xi * (1 + \xi)} \text{ (м/с)/(кг/см}^2\text{)} \quad (43)$$

где  $G_M$  – давление массы сыпучего тела находящегося на сите, кг/см<sup>2</sup>.

В нашем случае давление определяем по формуле (44):

$$G_M = \frac{V * \rho * g}{F} = \frac{F * h * \rho * g}{F} = h * \rho * g \quad (44)$$

где:  $V$  – объем продукта находящегося на сите, см<sup>3</sup>;

$F$  – площадь сита, см<sup>2</sup>;

$\rho$  - насыпная плотность продукта,  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3 = 8 * 10^{-4} \text{ кг/см}^3$

Отсюда:

$$G_M = h * \rho * g \text{ кг/см}^2$$

Установлено, что для продуктов измельчения зерна при просеивании на различных ситах рассева скорость движения продукта по ситам должна находиться в пределах  $V_{оп} = 0,5 \dots 1 \text{ м/с}$ .

Расчетную скорость движения продукта определяем методом подстановки из формулы (45), подставляя частоту  $n$  вращения корпуса отсева начиная с  $n = 222 \text{ мин}^{-1}$ .

$$V_o = \omega * \rho * \sqrt{1 - \left( \frac{g * f_o}{\omega^2 * \rho} \right)^2 * (1 + 2 * \xi)^2} - \frac{g * f_o}{\omega} * \sqrt{2 * \xi * (1 + \xi)} \text{ м/с} \quad (45)$$

Принимаем частоту вращения корпуса отсева  $n \text{ мин}^{-1}$ , тогда угловая скорость равна.

$$\omega = \frac{n * \pi}{30} \text{ с}^{-1}$$

Мощность, затрачиваемая на привод отсева определяем по формуле (46).

$$N = \frac{N}{\eta}$$

## РАССЕВЫ

В процессе переработки зерна в муку для сортирования измельченных зернопродуктов в качестве основных сепарирующих машин используют сита. Сита применяют также на крупяных заводах для сортирования культур на фракции, для сортирования продуктов шелушения и готовой продукции.

### Классификация сит

По исполнению ситовых корпусов сита делят на пакетные и шкафные, а по числу корпусов — на одно- и двухкорпусные. Сита выпускают двух типов: кривошипные и самобалансирующиеся. Наиболее широкое распространение получили самобалансирующиеся сита. Кривошипные сита применяют только на хлебозаводах для контрольного просеивания муки. По типу приводного механизма современные самобалансирующиеся сита подразделяют на две группы: с жестким приводным валом (веретеном) и безверетенные с постоянным статическим моментом дебаланса.

Сита выпускают с различными технологическими схемами: для мукомольных заводов сортового помола — сита ЗРМ и ЗРМ-2М (схемы № 1, 2, 3, 4 и 5), ЗРШ-4М и ЗРШ-6М (схемы № 1, 2 и 3); для заводов обойного помола — сита ЗРМ и ЗРМ-2М (схема № 6), ЗРШ-4М и ЗРШ-6М (схема № 4); для крупы — сита ЗРЛ-2.

Эффективность работы сит в целом характеризуется удельной нагрузкой, равной отношению суточной производительности завода к общей просеивающей поверхности сит. При многосортных помолах пшеницы удельная нагрузка на сита ЗРМ установлена в пределах 630—800 кг/(м<sup>2</sup>-сутки), для сит типа ЗРШ— 900—1100 кг/(м<sup>2</sup>-сутки).

**Факторы, влияющие на четкость сепарирования.** Четкость сепарирования на ситах сита в значительной степени зависит от гранулометрического состава исходной смеси и ее физико-механических свойств, удельной нагрузки, размеров ситового канала (площади и отношения длины к ширине), кинематических параметров (частоты и радиуса траектории

круговых колебаний), размеров отверстий сита, материала нитей и «живого сечения» единицы площади сита, способа очистки сит, способа перемещения продукта по ситам.

При большом содержании проходовой фракции в исходной смеси (например, при контроле муки) общая эффективность сепарирования зависит от процесса просеивания. Для его интенсификации необходимо обеспечить определенную толщину слоя продукта на сите и кинематические параметры, при которых достигается оптимальная скорость нижнего слоя по ситам.

При незначительном содержании проходовой фракции в исходной смеси (например, на I драной системе) общая эффективность сепарирования зависит от процесса самосортирования, интенсивность которого возрастает с уменьшением толщины слоя продукта и с уменьшением частоты колебаний при соответствующем увеличении радиуса траекторий круговых колебаний.

При среднем содержании проходовой фракции в исходной смеси общая эффективность сепарирования в начале сита зависит от процесса просеивания (если при поступлении исходной смеси на сито проходовая фракция равномерно распределена по толщине слоя), а в конце сита — от процесса самосортирования.

Интенсивность просеивания при увеличении толщины слоя вначале повышается, достигая максимального значения при некоторой критической толщине. Дальнейшее увеличение высоты слоя ведет к уменьшению интенсивности просеивания. Для многих продуктов измельчения зерна оптимальная толщина слоя находится в пределах  $Y_{ст} = 12n - 18$  мм ( $Y_{дин} = 15 - 7 - 24$  мм).

Размеры сит и ситовых каналов в значительной мере определяют эффективность работы отсева. Для любой заданной площади просеивающей поверхности существует оптимальное отношение длины сита к его ширине, при котором достигается минимальная скорость подачи и максимальная эффективность сортирования. Так, для большинства промежуточных продуктов размола зерна при площади сит  $0,25 - 0,34$  м<sup>2</sup> оптимальным является

отношение длины сита к ширине, равное двум. Наилучшие результаты при площади  $0,32 \text{ м}^2$  получены на ситах с размерами 400X800 мм.

При проектировании рассевов оптимальную толщину слоя на всех ситах обеспечивают путем параллельного и последовательного соединения сит.

### **Рассевы ЗРМ и ЗРМ-2М**

Двухкорпусные и четырехприемные рассевы ЗРМ и ЗРМ-2М [16] предназначены для сортирования измельченных зернопродуктов при переработке зерна в муку, а также для контроля готовой продукции с целью выделения случайно попавших крупных фракций.

На рассевах применяют ситовые рамы с металлическими, шелковыми или капроновыми ситами. Сита крепят к рамам гвоздями через тесьму. По ширине рама разделена на четыре канала. Для перемещения продукта по ситам к боковой стенке канала с правой стороны по ходу продукта прикреплены гонки. Снизу сита очищаются инерционными щетками, которые перемещаются между ситом и днищем по направляющим, выполненным в виде рельсов. Для очистки металлических сит ставят жесткие щетки из конского волоса, для шелковых — мягкие из козьего волоса.

Промышленность выпускает рассевы правого хода (вращение по часовой стрелке, если смотреть сверху). Рассевы ЗРМ и ЗРМ-2М для мукомольной промышленности выполняют по одной из шести технологических схем

Продукт самотеком подводится в приемные коробки рассева и через рукава поступает на делительное устройство. Равномерно распределенный по каналам приемных сит продукт перемещается по ситам под влиянием кругового поступательного движения и воздействия гонков.

Мелкий продукт, пройдя через отверстия сит, собирается на днищах, которые направляют его на следующие ниже расположенные сита или в выпускной канал. Нижняя часть инерционных щеток при движении удаляет продукт с днищ. Направление движения продукта зависит от схемы корпуса рассева.

Рассортированный по величине продукт выходит из отсева через отверстия в днищах корпусов и по рукавам поступает в патрубки, а оттуда в самотечные трубы. Просеивание продукта сопровождается выделением пыли, которая отсасывается из отсева через отверстия, находящиеся в приемных коробках.

### **Рассев ЗРШ-4М**

Рассев четырехприемный самобалансирующийся шкафного типа ЗРШ-4М [ 16 ] с выдвижными ситовыми рамами предназначен для сортирования продуктов измельчения зерна на мукомольных заводах сортового и обойного помолов.

Рассев имеет семь исполнений, которые определяются номерами технологических схем и расположением соответствующих секций в шкафу.

Рассев ЗРШ-4М (рис. 9) представляет собой цельнометаллический шкаф 10, подвешенный к подвескам 4 и прикрепленный к металлической раме потолочного перекрытия на четырех канатах 11. Канаты крепятся к шкафу при помощи замков 13 и клина.

Шкаф сверху имеет четыре приемных патрубка с инерционными питателями.

К приемным патрубкам и патрубкам приемной доски 7 крепят матерчатые рукава 8 при помощи колец. К патрубкам 14 и 15, прикрепленным к шкафу снизу, и к напольным патрубкам 1'7 с магнитной защитой при помощи колец крепят выпускные рукава 16.

К доскам, подвешенным к потолочным креплениям при помощи державок 3 и валиков-штанг 5,- крепят приемные коробки 6, а к ним — трубопроводы систем аспирации и подачи продукта.

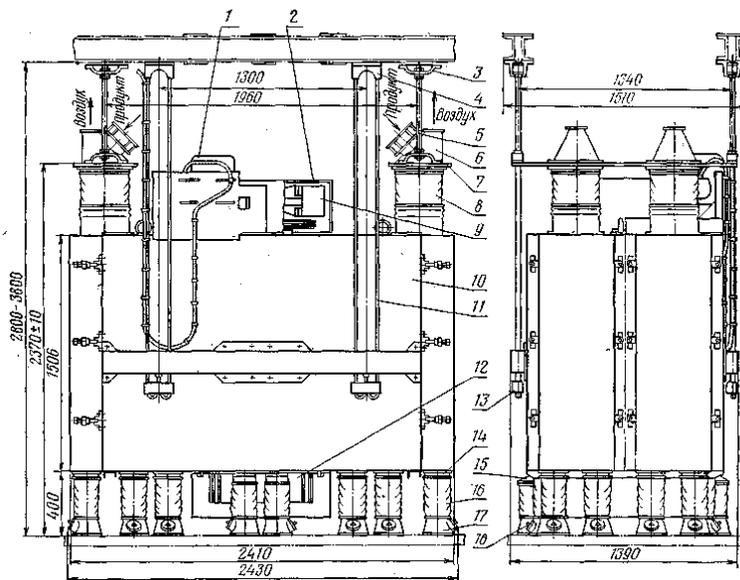


Рис. 9. Рассев ЗРШ-4М:

1 — электродвигатель; 2, 12 — ограждения; 3 — державка; 4 — подвеска; 5 — валик-штанга; 6 — приемная коробка; 7 — приемная доска; 8 — рукав; 9 — дебалансный колебатель; 10 — шкаф; 11 — канат; 13 — замок; 14, 15, 17 — патрубки; 16 — рукав; 18 — крышка.

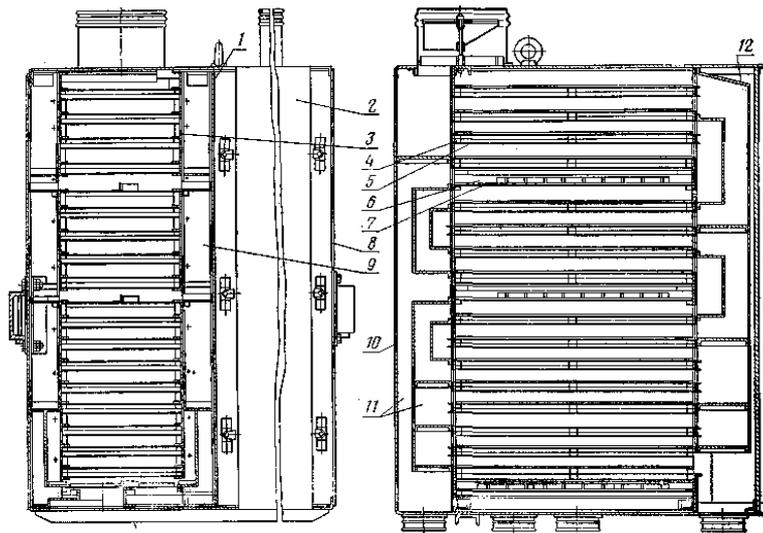


Рис. 10. Шкаф рассева ЗРШ-4М:

1 — перегородка; 2 — секция; 3 — направляющая; 4 — ситовая рама; 5 — поддон; 6 — сборник; 7 — фордон; 8 — наружная обшивка; 9 — перепускной канал; 10 — дверь; 11 — перепускные каналы; 12 — распределительная коробка.

Привод в круговое поступательное движение шкафа рассева осуществляется дебалансным колебателем 9. Вращение шкива колебателя обеспечивается клиновыми ремнями от электродвигателя 1. Дебалансы закрыты ограждениями 2 и 12.

Для удобства проведения работ по профилактике и ремонту нижнего подшипника, а также для изменения массы балансира нижнее ограждение имеет съемную крышку, а два напольных патрубка 15 вставлены в кольца, обеспечивающие быстрое разъединение деталей.

Шкаф (рис. 10) разделен перегородками 1 несущей рамы на четыре секции 2. В направляющих 3 каркасов секций установлены ситовые рамы 4 с поддонами 5 и щетками, сборники 6, фордоны 7. Наружная обшивка 8 и направляющие секций шкафа образуют перепускные каналы 9. С торцов каркаса секций прикреплены распределительная коробка 12 и дверь 10 с перепускными каналами И.

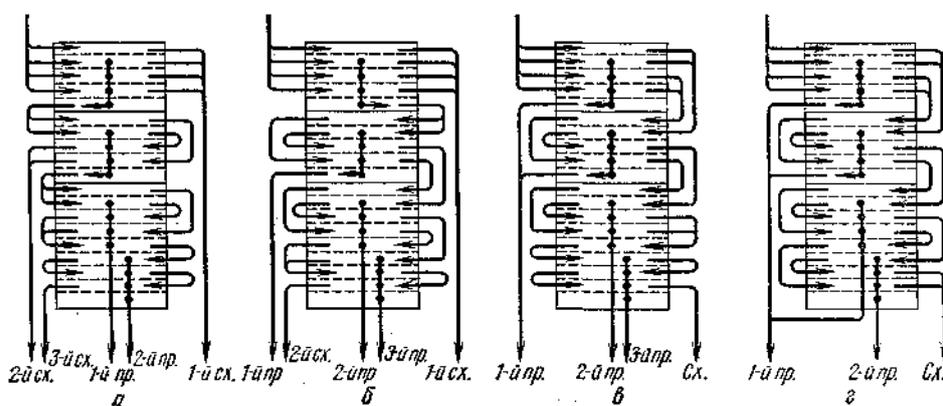


Рис. 11. Технологические схемы секций отсева ЗРШ-4М: а — схема № 1; б — схема № 2; в — схема № 3; г — схема № 4.

При поступлении продукта через приемные коробки на ситах происходит процесс сортирования. Движение промежуточных продуктов сортирования внутри шкафа задается технологическими схемами.

Секция четырехприемного отсева ЗРШ-4М может быть изготовлена по одной из четырех технологических схем (рис. 11), обеспечивающих сортирование всех промежуточных продуктов при сортовом и обойном помолах пшеницы:

схема № 1 для I—IV драных и 1 и 2-й шлифовочных систем предусматривает две проходовые и три сходовые фракции;

схема № 2 для V и VI драных, 7—10-й размольных, вымольных и сходовых систем предусматривает две сходовые и три проходовые фракции;

схема № 3 для 1—6-й размольных систем, 3 и 4-й шлифовочных и сортировочных систем предусматривает одну сходовую и три проходные фракции;

схема № 4 для обойного помола предусматривает одну сходовую и две проходные фракции.

### Рассев ЗРШ-6М

Рассев ЗРШ-6М [16] шестиприемный (рис. 12, табл. 1), состоит из цельнометаллического корпуса 8, подвешенного к металлической раме потолочного перекрытия на четырех металлических канатах 9, опирающихся на подвески 2. Канаты крепятся к кузову при помощи замков 10 и клина.

Приемно-распределительные и выпускные устройства рассева ЗРШ-6М аналогичны рассеву ЗРШ-4М. Круговое колебательное движение ситовых корпусов обеспечивается дебалансным колебателем. Цапфы колебателя И установлены в подшипниках, закрепленных на несущей раме. Вращение на шкив передается клиновидными ремнями от электродвигателя. Привод закрыт ограждением 12.

Секции рассева выполняют по тем же технологическим схемам, что и рассева ЗРШ-4М. Рассев имеет двадцать одно исполнение, которое определяется номером технологических схем и расположением соответствующих секций в шкафу рассева.

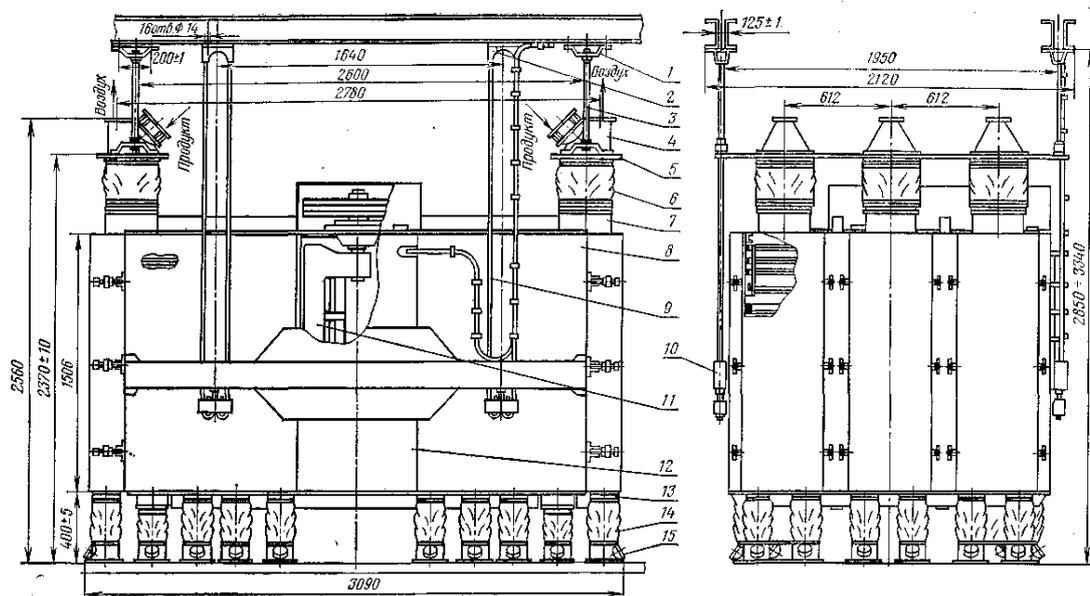


Рис. 12. Рассев ЗРШ-6М:

1 — державка; 2 —подвеска; 3—валик-штанга; 4 — приемная коробка; 5 —приемная доска; 6 — приемный рукав; 7 — приемный патрубок; 8 — ситовбй корпус; 9 — канат; 10 — замок; 11 — дебялансный колебатель; 12 — ограждение; 13 — выпускной патрубок; 14 — рукав; 15 — напольный патрубок.

**Таблица 1. Техническая характеристика рассевов**

Показатели	ЗРШ-4М	ЗРШ-6М
Размеры ситовых рам, мм	400X800	400X800
Полезная площадь сит, м <sup>2</sup>	17,0	25,5
Частота круговых колебаний ситового корпуса в минуту	200, 220, 240	200,220,240
Радиус траектории круговых колебаний корпуса (соответственно частоте колебаний), мм	50, 45, 40	50,45,40
Расход воздуха на аспирацию одной секции, м <sup>3</sup> /с	0,Г	0,1
Аэродинамическое сопротивление, Па *	60	60
Мощность электродвигателя, кВт	4	4
Габаритные размеры, мм:.		
длина	2400	3060
ширина	1390	2000
высота (до приемной доски)	2370	2370
высота корпуса	1506	1506
Масса, кг:		
смонтированного рассева	1920	2972
колеблющихся частей	1760	2800

## Рассев А1-БРУ

Рассев А1-БРУ [ 16 ] предназначен для очистки зерна от примесей, калибрования на фракции перед шелушением, отбора промежуточных продуктов шелушения и шлифования, сортирования и контроля готовой продукции крупозаводов.

Рассев А1-БРУ отличается от рассева ЗРШ-4М устройством технологической секции, дверей и задних распределительных коробок. Корпус, балансирный механизм, подвески, приемные и выпускные устройства рассева А1-БРУ унифицированы с рассевом ЗРШ-4М. Ситовые рамы очищаются резиновыми шариками (рис. 13).

Продукт внутри шкафа движется в зависимости от исполнения рассева по одной из технологических схем (рис. 14). Каждая схема состоит из 14 ситовых рам.

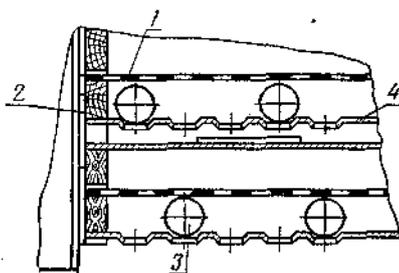


Рис. 13. Ситовая рама рассева А1-БРУ:

1 — сито; 2 — деревянный брус; 5 — резиновый шарик; 4 — фордон.

В первой группе шесть сит, во второй шесть и в третьей два сита. Такое расположение позволяет унифицировать рассевы и переходить от одной схемы к другой путем замены дверей, распределительных коробок и сборников. В схемах № 1, 2, 2а и 4 продукт распределяется равномерно на шесть приемных сит, в схеме № 3 — на два сита.

В схеме № 1 схода с каждой двух приемных ситовых рам объединяют и тремя параллельными потоками направляют на три сита второй группы. Схода

с этих сит после прохождения по ситам № 10, 11 и 12 поступают на два сита третьей группы. По этой схеме получают два прохода и один сход.

Схема № 2 отличается от схемы № 1 тем, что на последние два сита поступает двумя параллельными потоками суммарный проход верхних двенадцати рам. По этой схеме получают два схода и один проход.

Схема № 2а отличается от схемы № 2 тем, что проход первой группы сит выводят отдельно от прохода второй группы, а на третью группу сит поступает только проход второй группы сит. По этой схеме получают два схода и два прохода.

В схеме № 3 схода двух приемных сит двумя параллельными потоками последовательно обрабатывают на ситах первой и второй групп, объединяют в один поток и направляют на третью группу (последние два сита). Проходы трех групп сит выводят из шкафа отдельно. По этой схеме получается один сход и три прохода.

В схеме № 4 схода приемных сит объединяют и выводят из машины, а проходы двумя параллельными потоками последовательно обрабатывают на второй группе сит. Проходы второй группы сит просеивают на двух ситах третьей группы, а схода второй и третьей групп сит выводят из машины. По этой схеме получают три схода и один проход.

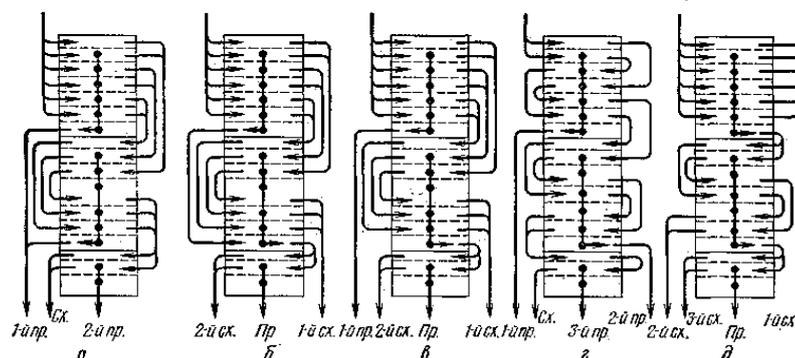


Рис. 14. Технологические схемы отсева А1-БРУ:

а — схема № 1; б — схема № 2; в — схема № 2а; г — схема № 3; д — схема № 4

## Лекция 14. -2ч.

Машины для сортирования (обогащения) промежуточных продуктов измельчения зерна.

Назначение, принцип действия, классификация и устройство ситовеечных машин. Конструкция и основные элементы ситовеечных машин. Технологические схемы машин.

Механизмы и устройства для регулирования рабочих характеристик ситовеечных машин.

### Назначение и область применения

Процесс разделения промежуточных продуктов переработки зерна на крупки: частицы эндосперма, крупки — сrostки эндосперма с оболочками и частицы оболочек, называют сортированием по качеству, или обогащением.

В процессе последовательного поэтапного измельчения зерна образуются частицы, различающиеся по размерам, форме, плотности, фракционным и аэродинамическим свойствам.

Для сортирования по геометрическим признакам (крупности) служат сита, а по аэродинамическим и гравитационным признакам — восходящие потоки воздуха через сита. Сита характеризуются следующими параметрами: расстоянием между осями двух соседних нитей, называемым шагом; шириной отверстия в свету; диаметром нити; коэффициентом живого сечения, который представляет собой отношение площади всех отверстий сита в свету (так называемое живое сечение) ко всей площади сита и показывает степень полезного использования площади сита.

Чем больше значение коэффициента живого сечения, тем больше севкость сита, т. е. интенсивность просеивания продукта через определенную величину площади сита в единицу времени и, следовательно, его производительность.

Классификация частиц каждого последовательного класса крупности по зольности при разделении восходящим потоком воздуха.

Каждый класс обозначен в виде дроби: в числителе — номер сита с отверстиями, через которые проходят частицы, в знаменателе — номер сита с которого сходят частицы соответствующего класса крупок.

По оси абсцисс отложены скорости восходящего потока воздуха, а по оси ординат — показатели зольности частиц зерна, витающих при соответствующих им скоростях воздуха. Из рисунка видно, что каждому классу крупности частиц соответствует определенная скорость воздуха в пределах от 0,2 до 1,1 м/сек, при которой витающие частицы имеют наибольшую зольность. Например, такая скорость для класса 80/90 близка к 1,1 м/сек, для класса 120/130 — к 0,9 м/сек, а для 29/32— 0,4 м/сек. При скорости воздуха больше указанных величин зольность витающих частиц этих крупностей меньше.

Таким образом, если есть возможность регулировать скорость восходящего потока воздуха для отдельных классов крупности, то можно разделять такие промежуточные продукты размола зерна на частицы, обладающие высокой зольностью и на частицы с низкой зольностью.

Повышение скорости воздушного потока в сечениях сита приводит к снижению выхода обогащенных крупок и дунстов при одновременном улучшении их качества по зольности, так как в условиях повышения тормозящего воздействия воздуха через сито могут пройти наиболее тяжелые частицы, состоящие в основном из эндосперма. Скорость воздушного потока через сито следует выбирать оптимальной для данных продуктов, поскольку она связана со скоростью фильтрации воздуха через слой продукта, движущегося по ситам, и с уносом более легких частиц в камеру.

Равномерность распределения сортируемого продукта по длине и ширине сит оказывает существенное влияние на эффективность процесса, поскольку слой продукта обеспечивает равномерное сопротивление воздушному потоку по всей площади сит и способствует лучшему расслоению продукта на ситах. Неравномерность распределения сортируемого продукта приводит к резкому нарушению воздушного режима и снижает эффективность работы ситовечной

машины. Важным фактором является также очистка сит, обеспечивающая постоянство коэффициента живого сечения сит и стабильность работы машины.

Для обогащения промежуточных продуктов измельчения зерна применяют веечные машины, сортирующие на фракции по аэродинамическим признакам, и ситовеечные машины, сортирующие по совокупности геометрических, аэродинамических и гравитационных признаков.

Большое значение для обогащения проходовых фракций имеет самосортирование (стратификация) продуктов на ситах. Оно наиболее интенсивно при комплексном действии кинематических, аэродинамических и гравитационных факторов.

Такое же явление, но значительно слабее выраженное, наблюдается в машинах для просеивания продуктов по геометрическим свойствам на плоских ситах с возвратно-поступательным или поступательно-круговым движением, в которых стратификация продуктов происходит только под действием кинематических и гравитационных факторов.

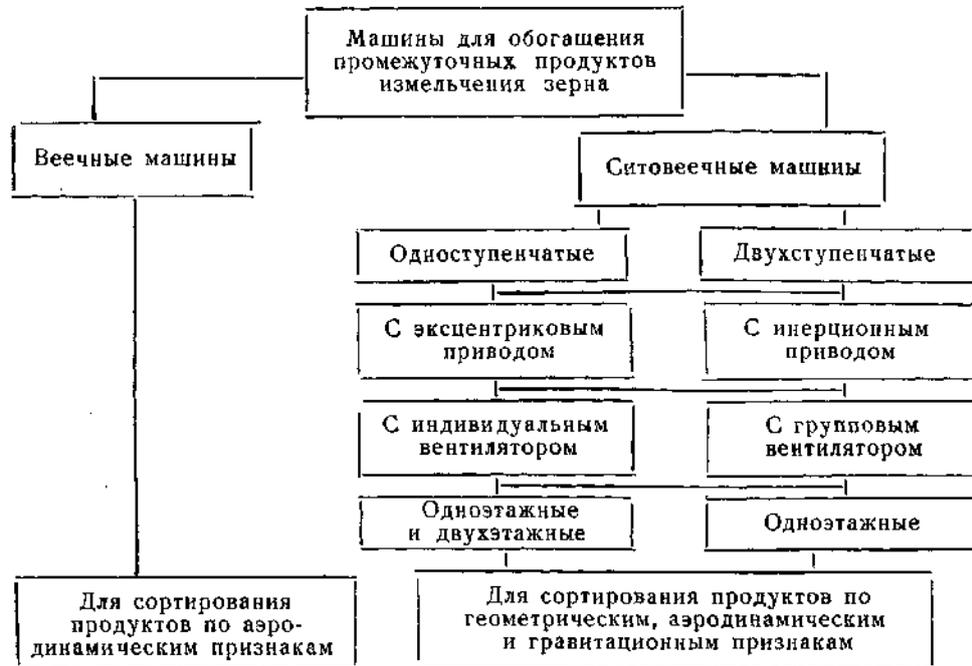
Явление стратификации заключается в том, что наиболее тяжелые из частиц одинаковой крупности (в данном случае, частицы эндосперма) быстрее опускаются через толщу продукта на сите ситовеечной машины и приходят в соприкосновение с поверхностью сита, чем наиболее легкие (в данном случае, оболочки), которые поднимаются в верхние слои продукта.

Веечные машины в настоящее время почти не применяют. Для них необходимо предварительно разделять продукт на узкие классы по величине частиц в отсевах. Поэтому применяют ситовеечные машины, в которых совмещены оба процесса. Это дает возможность лучше использовать производственные площади предприятия.

В настоящее время веечные машины не изготавливаются промышленностью, а потому они в курсе не рассматриваются.

## Классификация машин

Ниже приведена классификация ситовеечных машин для сортирования продуктов измельчения зерна



## Ситовеечные машины

На обогащение поступают практически все крупки и дунсты после рассевов драных систем. После обогащения фракций наиболее добротные частицы, которые практически не содержат оболочек, направляют в вальцовые станки размольных систем для получения муки с наименьшей зольностью. Крупки, представляющие собой сросстки эндосперма с оболочками, поступают в вальцовые станки шлифовочных систем. Фракции, содержащие наибольшее количество оболочек, возвращаются в вальцовые станки последних драных или сходовых размольных систем. От эффективности процесса обогащения промежуточных продуктов размолла зерна существенно зависят выход и качество муки высоких сортов.

Технологическую эффективность работы ситовеечных машин определяют по совокупности двух показателей: выходу обогащенного продукта (проход) и снижению его зольности (в процентах к зольности продукта, поступившего в

машину). Эффективность работы тем выше, чем больше величина снижения зольности обогащенного продукта при максимальном его выходе.

Поскольку крупки и дунсты в ситовеечных машинах сортируются на ситах, то основным количественным показателем будет коэффициент извлечения проходových частиц:

$$\eta = \frac{P_n}{P_c} * 100 \quad (1)$$

где  $P_n$  — выделенное количество проходových частиц, %;  $P_c$  — общее количество проходových частиц, содержащихся в исходной смеси, %.

Иногда применяют количественный показатель, который представляет собой относительный выход обогащенного продукта по отношению к общей нагрузке на ситовеечную машину, т. е.

$$\eta = \frac{P_n}{Q_c} * 100 \quad (2)$$

где  $Q_c$  — общее количество продукта, поступающего на систему, %.

К качественным показателям относят: зольность проходového и сходового продуктов; количество крахмала в сходовом продукте; количество клетчатки в сходовом продукте.

Полная и объективная оценка эффективности процесса сортирования крупок по добротности может быть достигнута только на основе совокупной количественно-качественной оценки. Для этого иногда используют и обобщенные количественно-качественные показатели. Показатель  $K_1$  характеризует условную зольность, приходящуюся на 1 % полученного обогащенного продукта. Чем он меньше, тем выше эффективность обогащения. Его определяют по формуле

$$K_1 = \frac{z_n}{P_n}, \quad (3)$$

где:  $z_n$  — зольность полученного проходového продукта, %.

Можно применить и другой показатель, который учитывает также зольность продукта, поступающего в ситовеечную машину,

$$K_2 = P_{II} * \frac{z_c}{z_{II}} \quad (4)$$

где  $z_c$  — зольность исходной смеси, поступающей в ситовечную машину, %.

Чем больше  $K_2$ , тем выше эффективность обогащения.

Для ориентировочной оценки эффективности процесса сортирования крупок и дунстов по добротности применяют органолептический метод, основанный на сравнении по цвету потока обогащенного продукта из каждого отделения ситовечной машины с заранее подготовленным эталоном, полученным из зерна перерабатываемой партии.

При периодическом контроле работу ситовечных машин оценивают по нескольким показателям: производительности ( $Q$ ); удельной нагрузке ( $q_c$ ); выходу обогащенных крупок или жесткого дунста ( $B_{об}$ ); степени снижения зольности прохода ( $\Delta z$ ); повышению зольности схода в сравнении с зольностью поступающего в машину продукта ( $z_{сх} / t_{исх}$ ).

Для определения производительности, удельной нагрузки и выхода обогащенного продукта снимают баланс продуктов:

исходный продукт — из патрубка самотечной трубы для подачи продукта в ситовечную машину;

проход и сход — из патрубков самотечной трубы для вывода из машины всех продуктов.

Производительность машины  $Q$  (т/ч) определяют по формуле

$$Q = \frac{G * 60}{t * 1000} \quad (5)$$

где  $G$  — количество продукта, поступающего в машину, кг;  $t$  — время отбора продукта, мин.

Удельную нагрузку  $q_c$  [кг/(см-сут)] рассчитывают по формуле

$$q_c = Q / B \quad (6)$$

где  $B$  — ширина сит верхнего яруса ситовечных машин, см.

Выход обогащенного продукта  $B_{об}$  (%) определяют по формуле

$$B_{об} = \frac{\sum_1^n q_i}{G_{исх}} \quad (7)$$

Где:  $q_i$  - масса проходовой фракции за единицу времени, кг;  $n$  — число фракций;  
 $G_{исх}$  — масса продукта, поступившего в машину за то же время кг.

Из полученных продуктов отбирают пробы для определения зольности. Степень снижения зольности  $\Delta z$  (%) обогащенного продукта (прохода) определяют по формуле:

$$\Delta z = \frac{z_1 - z_2}{z_1} * 100 \quad (8)$$

где:  $z_1$  — зольность поступающего в машину продукта, %;  $z_2$  — зольность обогащенного продукта (прохода), %.

Работа ситовеечной машины считается эффективной, если:

- зольность верхнего схода в 2...3 раза выше зольности поступающего продукта;
- зольность нижнего схода в 1,5...2,0 раза ниже зольности верхнего схода;
- достигается снижение зольности проходовой фракции по сравнению с зольностью поступающего продукта: для крупной крупки на 40...50 %; средней — на 30...40 %; мелкой— на 20...25%; дунстов на 10...15%.

Принцип действия ситовеечных машин — просеивание на плоских ситах в условиях восходящего воздушного потока. При совместном воздействии потока воздуха и колебаний сит происходит расслоение (самосортирование) разнородных компонентов смеси. Более тяжелые частицы, состоящие в основном из эндосперма, опускаются вниз к ситам и просеиваются. Более легкие частицы (сростки эндосперма с оболочками) располагаются в верхних слоях и, не успев просеяться, сходят с сита. Самые легкие частицы оболочек уносятся потоком воздуха.

Из рассмотрения принципа действия ситовеечной машины можно сделать следующие выводы.

1. Совместное воздушно-ситовое сепарирование смеси частиц с различными физико-технологическими свойствами и способствует интенсивному самосортированию ее по крупности и добротности, что интенсифицирует технологический процесс обогащения крупок в ситовых машинах.

2. Эффективность аэродинамического разделения смеси низко- и высокозольных частиц тем выше: а) чем однороднее совокупность сепарируемых частиц по их крупности;

б) чем меньше содержание сростков эндосперма с оболочками в исходном продукте, т. е. чем существеннее различие в массе частиц; в) чем больше интенсивность процессов самосортирования частиц, различных по плотности, форме, размерам и фрикционным свойствам, по совокупным динамическим и аэродинамическим воздействиям внешних сил; г) чем равномернее распределен продукт по ситам; д) чем эффективнее действие инерционных очистителей и выше динамическое воздействие воздушного потока на частицы, застрявшие в отверстиях сит; е) чем меньше действительная скорость фильтрации воздуха через слой движущегося продукта отличается от оптимальной, при которой не наблюдается вынос добротных частиц в относосоаждующую камеру.

3. Выбор скорости фильтрации воздуха через слой движущегося продукта должен быть увязан с необходимостью: а) привести движущуюся смесь в псевдооживленное состояние, но без фонтанирующих прорывов; б) удерживать сростки оболочек с эндоспермом и аэродинамически легкие частицы на поверхности движущегося продукта; в) обеспечить направление в относосоаждующую камеру максимального количества аэродинамически легких высокозольных частиц.

4. Учитывая происходящие изменения в физико-технологических свойствах сепарируемой смеси, в каждом отделении ситовой машины должна быть установлена технологически оптимальная скорость фильтрации воздуха через сито и слой движущегося продукта, уменьшающаяся от приемной части машины к сходовой.

При оценке факторов, влияющих на эффективность работы ситовеечной машины, следует учесть: а) равномерность распределения исходного продукта между первой и второй ступенью; б) надежную герметизацию относоосаждающей камеры и пневмосепарирующих каналов, находящихся под разрежением; в) конструктивно-функциональное решение относоосаждающей камеры, при котором достигается разгрузка пылевоздушного потока как под действием гравитационных и центробежных сил, так и под действием сил сцепления, способствующих агрегатированию частиц.

Таким образом, на процесс сортирования крупок и дунстов по добротности в ситовеечных машинах оказывают влияние следующие основные факторы: удельная нагрузка на единицу ширины сита; гранулометрический состав, аэродинамические и фрикционные свойства сепарируемой смеси; воздушный режим, определяемый удельным расходом воздуха, проходящего через сито; равномерность распределения исходной смеси по ситам; кинематические и геометрические параметры сит (число, амплитуда и направление колебаний, коэффициент живого сечения, длина и размеры отверстий сит, их наклон); очистка сит.

Существенное влияние на эффективность работы ситовеечных машин оказывает нагрузка на сита.

На рисунке 1 показана одна из встречающихся на мельницах ситовеечных машин. Она состоит из двух самостоятельно работающих половин (правая и левая), смонтированных на одной станине 6; двух подвесных ситовых корпусов 3, которые получают возвратно-поступательное движение от эксцентриково-шатунного механизма 12.

Чтобы обеспечить одинаковую толщину поперечного сечения слоя продукта по ширине сита и равномерную толщину продольного сечения потока продукта по длине сит предусмотрена возможность регулировать длину и наклон подвесок ситовых корпусов. Каждое отделение снабжено питателем с регулировочной задвижкой 13, аспирационной камерой / и 10 и

осадочной камерой // . Воздух поступает из аспирационной камеры в осадочную через отверстия, регулируемые клапанами 2. Ситовой корпус представляет собой коробку, в которой помещены рамы с натянутыми шелковыми ситами 16. Под ними в рамах находится поддон, изготовленный из штампованных сит. По поддону перемещаются щетки 15 для очистки сит. Над ситами по их ширине имеются желобки 14, наклоненные от среднего сита к краям. Между ними имеются промежутки, через которые проходят струи воздуха.

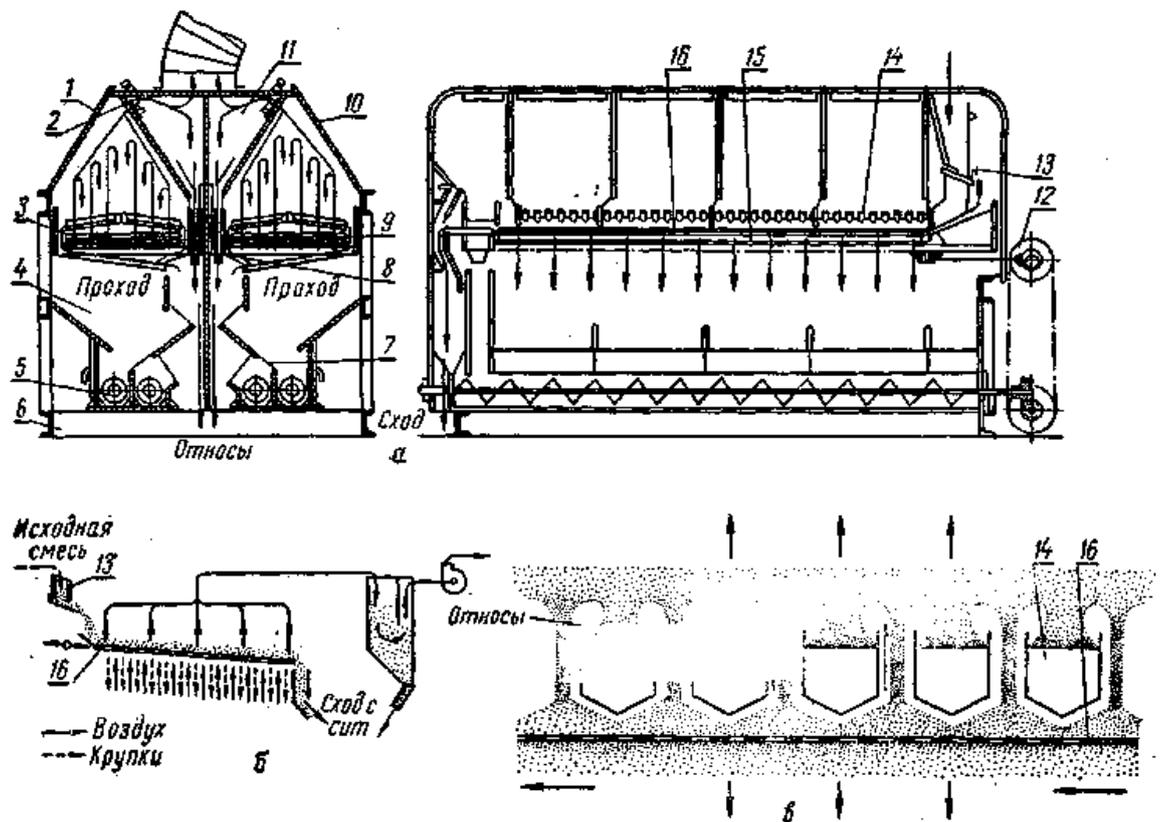


Рис. 1. Ситовая машина:

а — устройство; б — принципиальная схема; в — воздействие потока воздуха на продукт.

Под ситами расположены коробка 4 с двумя шнеками 5, имеющими поворотные перья. Это позволяет перемещать проходные фракции крупок в необходимую сторону по длине машины.

Клапаны 7, установленные в коробках, дают возможность разделять очищенную крупу по добротности на два сорта и направлять каждый сорт в один из шнеков.

Воздух, проходя через сито, уносит с собой частицы, обладающие малой скоростью витания. Над поперечными желобками скорость воздушного потока меньше, чем между желобками, поэтому происходит отсадка отдельных частиц в желобки. Отсюда они попадают в продольный лоток 9, по которому выводятся по машинам. Не выпавшие в желобки легкие частицы либо оседают в камерах //, откуда продольными лотками 8 удаляются из машины, либо уносятся с воздухом в фильтр.

Исследованиями кандидата техн. наук К. В. Дрогалина и К. А. Карповой (ВНИИЗ) установлен ряд аэродинамических и кинематических, параметров ситовечных машин, связанных с величиной скорости восходящего потока воздуха  $v_c$ , проходящего через сито и слои (постель) продуктов на сите и определяемой по выражению:

$$V_c = \frac{Q_c}{S_c} \text{ м/сек} \quad (9)$$

где  $Q_c$ —расход воздуха, проходящего сквозь отверстия сита в м/сек;

$S_c$  — площадь сита в  $\text{м}^2$ .

В частности установлено, что скорость подачи продуктов, т. е. движение их по ситу в ситовечной машине зависит не только от кинематических параметров сита, но в большей степени от величины  $V_c$ ; с увеличением  $V_c$  увеличивается разрыхленность постели на сите, что способствует, до определенных пределов, ускорению процесса стратификации.

Так, например, при  $V_c$  до 0,4 м/сек

$$V_n = V_{нк} + 0,82V_c^{1,63} \quad (10)$$

где  $V_n$  — скорость подачи продуктов по ситу в м/сек;

$V_{нк}$  — скорость подачи продуктов по ситу только под влиянием кинематических факторов сита, т.е. при  $V_c=0$ .

К максимальному значению  $V_{нк}$  приближается при  $v_c=0,65$  м/сек..

Из указанного следует, что роль потоков воздуха в ситовеечной машине заключается не столько в уносе бедных эндоспермом частиц и крупок, сколько в обеспечении стратификации ее частиц в толще постели по величине их объемного веса при движении частиц вдоль сита.

В настоящее время изготавливаются двухступенчатые ситовеечные машины с двумя ступенями обогащения ЗМС-2, ЗМС-2-4; ЗМС-1-4.

На рисунке 2 показан общий вид двухступенчатой ситовеечной машины ЗМС-2.

Машина состоит из двух симметричных частей, имеющих следующие общие узлы: станину 4, ситовой корпус 2, колебатель 5, камеру для сходовых продуктов 5 и электродвигатель 8. Каждая часть машины имеет два яруса сит, питающий механизм, надситовую аспирационную камеру 1 с пятью механизмами для регулирования размера щелей, через которые отсасывается воздух, и сборника 6 с патрубками 7 для группирования и вывода проходовых фракций, полученных под ситами.

Ситовой корпус деревянной конструкции подвешен к станине на четырех подвесках 9 и опорах 10, позволяющих регулировать наклон его в продольном направлении в пределах от 2,3 до 2,9%.

Ситовой корпус приводится в возвратно-поступательное движение инерционным колебателем, который получает движение от индивидуального электродвигателя через клиноременную передачу.

Надситовая аспирационная камера по длине разделена на пять отделений, расположенных над рамами сит. В каждом отделении установлен механизм 11 для регулирования количества воздуха, проходящего через соответствующую ситовую раму. Надситовая камера вверху имеет раструб, который подключается к соответствующей аспирационной сети в мельнице.

Сборник 6 к обеим половинам ситового корпуса соответственно состоит из двух частей, соединенных общей фермой. Она опирается на вертикальные плоские пружины и совершает возвратно-поступательное движение.

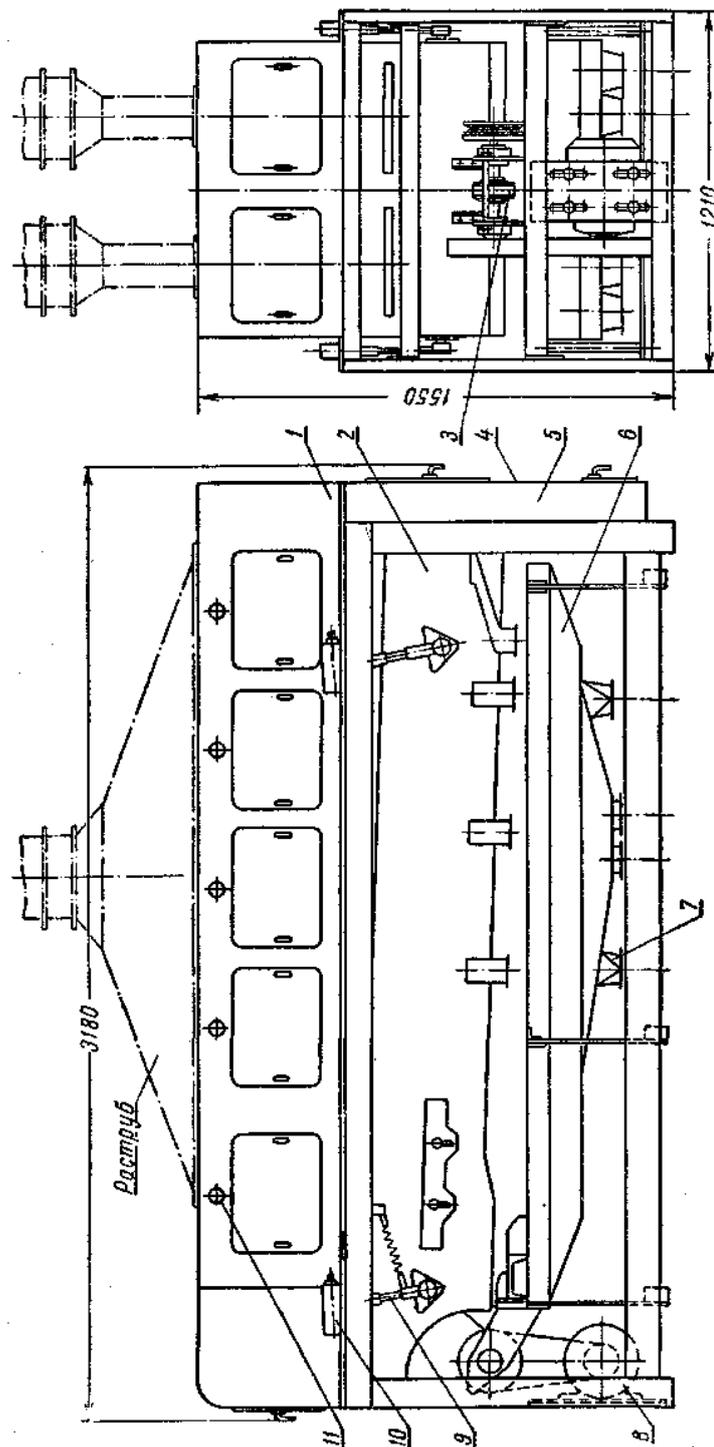


Рис. XVI-3. Общий вид ситовечной машины ЗМС-2.

На рисунке 3 показана технологическая схема двухступенчатой ситовечной машины ЗМС-2.

Каждая половина ситового корпуса включает: верхний ярус сит, натянутых на шесть рам; нижний ярус сит, натянутых на пять рам; ярус желобковых сборников 2 для продукта, проходящего через сита последних четырех рам верхнего яруса.

Ширина сит на всех рамах в свету одинаковая. Под первыми двумя рамами верхнего яруса сит установлено по три трубы, расположенные поперек корпуса для дополнительного подвода воздуха. Над трубами установлена воздухораспределительная решетка с рамкой. По основной технологической схеме машины крупки, проходящие через сита четырех последних рам верхнего яруса, поступают в желобки, расположенные вдоль сита. Из них они через поперечные лотки и наружные патрубки 3 выводятся из машины. Для уменьшения подсоса воздуха в патрубках установлены клапаны.

Исходная смесь поступает в приемный лоток 1 питающего механизма 2 и далее равномерным слоем по всей ширине сита на деревянный порог и затем на начало первого сита рамки 1Р и 2Р верхнего яруса.

Фракции, просеивающиеся через отверстия сит рамок 1В, 2В, 3В и 4В верхнего яруса, по продольным желобкам 3 попадают на поперечные скаты 4 и направляются по патрубкам 5 к карманам сборника 6 и выводятся из машины отдельно от проходových фракций нижнего яруса.

Главные потоки воздуха проходят последовательно через сита и постель из крупок нижнего яруса, затем через отверстия между вышележащими желобками, через сита и постель из крупок верхнего яруса, поступает в соответствующие отделения аспирационной камеры и в отсасывающую воздухопроводную сеть.

Токи воздуха через сита по длине сит регулируют клапанами 7, заслонками, имеющимися на боковых сторонах корпуса под ситами 1Р и 2Р и общей задвижкой над раструбом к аспирационной сети каждой половины машины.

Обогащение осуществляется в две ступени. По основной технологической схеме машины оно происходит следующим образом.

1-я ступень — на ситах рам 1Р и 2Р верхнего яруса.

Здесь от исходного продукта проходом через эти два сита на нижний ярус в каждой половине корпуса должно выделяться 50—60% <sup>конт</sup> количества поступившего продукта.

Такого распределения продукта между ярусами достигают подбором сит с соответствующими отверстиями на рамах 1Р и 2Р, что производится в

зависимости от состава обогащаемого продукта, степени загрузки машины и технологического назначения обогащаемых фракций.

2-я ступень — параллельно на ситах двух ярусов:

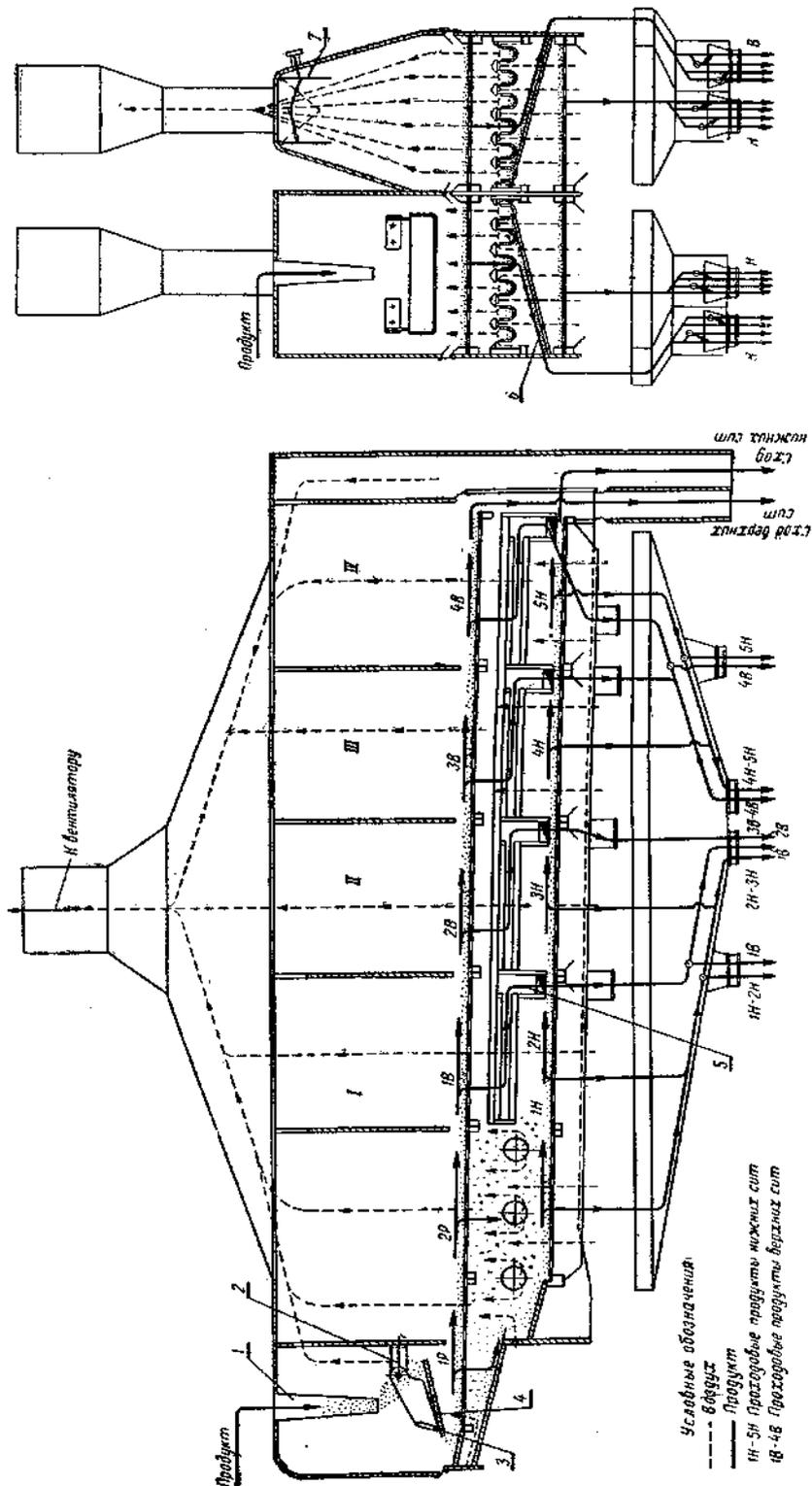


Рис. XVI-4. Технологическая схема машины.

а) на нижнем ярусе — на ситах всех пяти рам (1Н, 2Н, 3Н, 4Н, 5Н) обогащается продукт, полученный ранее проходом через сита первых двух рам

верхнего яруса; проходовые фракции с этих сит поступают непосредственно в сборник 6;

б) на верхнем ярусе — на ситах остальных четырех рам (1В, 2В, 3В, 4В) обогащается продукт, полученный сходом с сит первых двух рам (1Р, 2Р) этого же яруса; проходовые фракции с сит рам 1В—4В через патрубки 5 поступают в соответствующие отделения сборника 6.

Проходовые фракции 2-й ступени каждого яруса в сборнике 6 объединяются по длине машины следующим образом.

С верхнего яруса, с первых рам 1В и 2В — в один, с последних рам 3В и 4В — в другой патрубок; с нижнего яруса, с сита первой рамы 1Н — либо в отдельный патрубок, либо вместе с проходовыми фракциями рам 2Н и 3Н в общий патрубок; с сита последней рамы 5Н либо в отдельный патрубок, либо вместе с проходовой фракцией рамы 4Н.

Сходовых фракций получают две: одну с верхнего, другую с нижнего яруса. Они выводятся из машины отдельно.

В двухступенчатой ситовечной машине предусмотрены возможности изменения соотношения числа ситовых рам 1-й и 2-й ступеней в зависимости от особенностей обогащаемого потока крупок. Так, в частности, при большой неоднородности размеров обогащаемых крупок или малой мощности их потока, возможно увеличение 1-й ступени на 1—4 ситовые рамы, при соответственном изменении величины отверстий сит на рамах 1В и 2В.

Для этого в конструкции применено секционное устройство желобков в виде съемных кассет под каждой ситовой рамой 1В — 4В верхнего яруса. Изъятием соответственно одной или нескольких кассет желобков (с заменой каждой двумя планками или рамой без сит, предназначенными для упора остальных кассет) данная проходовая фракция с верхнего яруса направляется уже не на выход из ситового корпуса, а на нижний ярус, где дополнительно разделяется на фракции разного качества.

При замене всех кассет желобков на ситовые рамы с поставленными на них ситами образуется специальное трехярусное обогащение с получением трех

сходовых фракций (по одному с каждого яруса) и наиболее обогащенных проходных фракций нижнего яруса. Практическое осуществление этих вариантов связано с уменьшением производительности машины и потому применимо только в отдельных случаях, например для контроля готовой продукции в виде макаронной крупки и при малой мощности обогащаемого потока крупок и т. д.

Стальные штампованные поддоны рам являются опорой самоходных щеток и одновременно выравнивают воздушный поток. Равномерность воздушного потока воздуха может быть достигнута при равномерном поступлении исходного продукта и заполнении всей площади сита. Для этого необходимо, чтобы сита не провисали, а были натянуты на все рамы и чтобы ситовой корпус в поперечном направлении находился строго в горизонтальном состоянии.

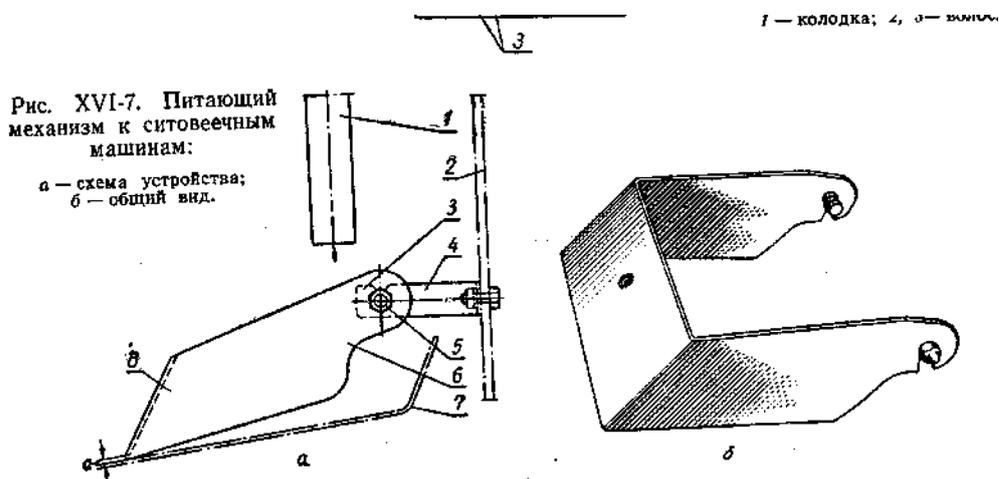
Ситовая рама имеет устройство для периодического натяжения сита при его вытягивании и провисании.

Самоходная щетка, перемещается по замкнутой криволинейной траектории. Она перемещается плоской частью колодки по поддону из штампованного сита.

На рисунке 4 показано устройство питателя к ситовечным машинам.

К стенке 2 питающего бункера крепится кронштейн 4 с вырезами 5, в которые вставляется ось 5 питателя. Питатель сделан в виде П-образной пластинчатой скобы 6, торцовая пластина 8 которого имеет уклон 40—45°.

Между нижним концом пластины 8 и основанием 7 имеется зазор,



равный 2—3 мм. Питатель крепится к стенке приемного бункера шарнирно посредством вырезов в боковых стенках скобы.

Исходный продукт поступает самотеком через патрубок / на наклонное основание (приемный скат ситового корпуса) во внутреннюю часть питателя. Под давлением продукта питатель автоматически «всплывает». Через образовавшийся зазор между основанием и наклонной стенкой (пластиной) питателя равномерным слоем подается в ситовой кузов на сита.

На рисунке 5 показано устройство различных подвесок для разных типов ситовеечных машин.

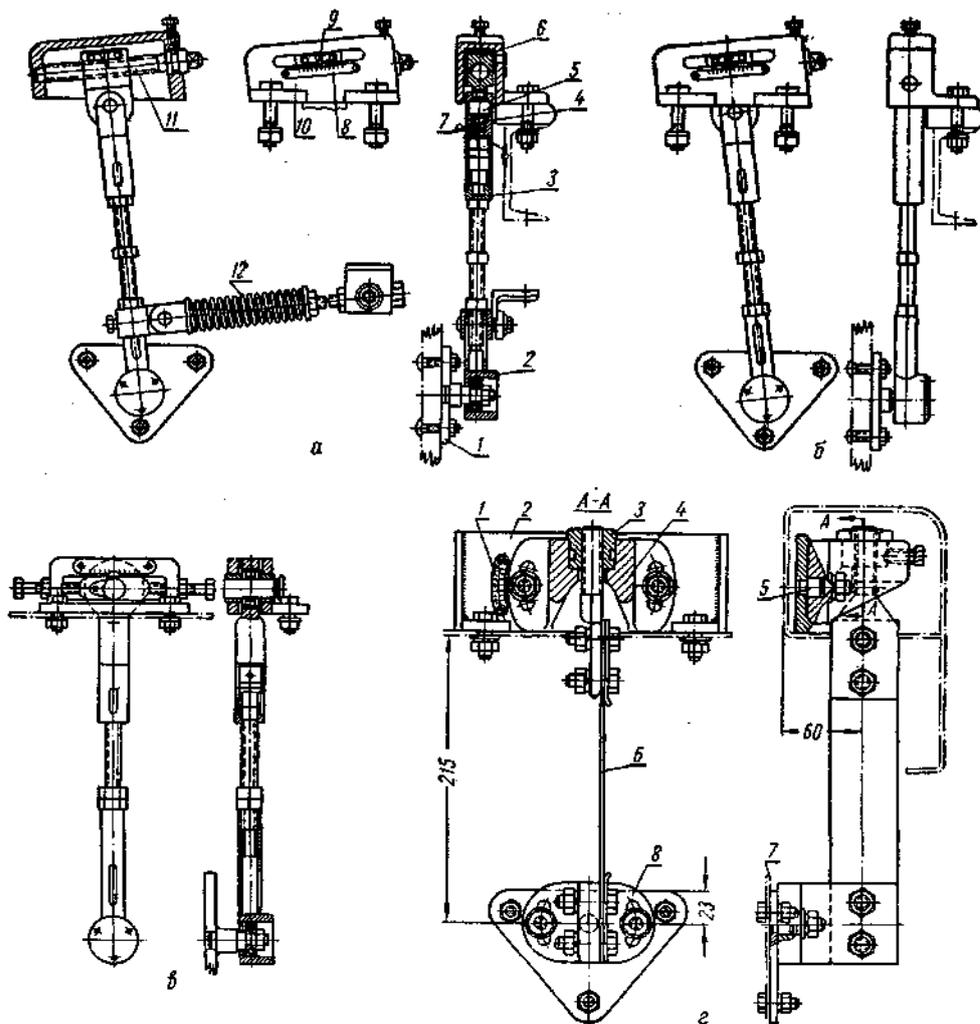


Рис. 5. Устройство подвесок ситовеечных машин:

о — передняя подвеска ситовеечной машины ЗМС-2 (1 — фланец; 2 — корпус подшипника; 3 — оправка; 4 — серьга; 5 — ось; 6 — ползун; 7 — подшипник; 8 — указатель; 9 — шкала; 10 — корпус; 11 — регулировочный винт; 12 — натяжная пружина); б — задняя подвеска ситовеечной машины ЗМС-2; в — подвеска ситовеечной машины ЗМС-2-4; г — подвеска для ситового корпуса ЗМС-1-4 (1 — шкала; 2 — корпус; 3 — гайка; 4 — кронштейн; 5 — ось; 6 — пружина; 7 — фланец; 8 — кронштейн).

Подвески, показанные на рисунках XVI-8, а, б и в, обеспечивают опору ситового корпуса, позволяют регулировать его уклон, но не погашают неточность в изготовлении и сборке машины.

Проведенные исследования на Горьковском машиностроительном заводе им. Воробьева и Горьковским отделением ВНИЭКИПродмаш показали, что наиболее целесообразной конструкцией является подвеска, приведенная на рисунке XVI-8, г. Она обеспечивает полную компенсацию неточности изготовления и сборки, снимает вибрации, что создает в общем условия для нормальной работы машины.

Для эксплуатационной надежности ситовеечных машин необходимо обеспечивать следующие условия.

-Питающий механизм должен равномерно распределять продукт по всей ширине сита. При оголенной части сита нарушается режим работы всей машины, поскольку большая часть воздуха будет проходить через эти места, как оказывающие меньшее сопротивление, что недопустимо. Полная загрузка всего сита достигается регулированием положения и длины его подвесок.

-Ситовые рамы должны свободно перемещаться в пазах корпуса, не пропуская продукта, а сита — туго натянуты и не провисать под давлением веса продукта. На поверхности сита не должно быть местных утолщений и порогов, которые ухудшают условия обогащения крупок. Во избежание этого сита крепят к торцам рам. Поверхность всех рам должна находиться в одной плоскости.

-Щетки должны свободно перемещаться под ситами и обеспечивать надежную их очистку. В качестве материала для колодок щеток можно

рекомендовать бук. Поверхность колодок следует тщательно обработать: грани колодок не должны быть острыми, а надрезы для размещения волоса не иметь заусениц. В качестве материала для опорных пучков (более коротких) можно рекомендовать жесткий козий волос или щетину; для рабочих пучков (более длинных) пригодны козий или конский волос.

-Поддоны из штампованных сит для перемещения щеток должны находиться в плоскости, параллельной ситам. Не следует допускать появления коррозии, изгибов и заусениц, тормозящих движение щеток.

-В самотечной трубе над приемным устройством следует установить прозрачные пластинки из небьющегося стекла.

-Аспирационную камеру рекомендуется изготавливать цельнометаллической или из фанерованных щитов. Чтобы не было присоса воздуха, не должно быть щелей. Пространство между ситовым корпусом и станиной следует закрыть эластичной тканью, чтобы избежать нарушения воздушного режима.

-Поступающий продукт должен быть однородным по крупности и не содержать мучнистых и мелких частиц. В противном случае последние уносятся воздухом, что связано с большими потерями. Кроме того, возникают затруднения с установлением оптимального воздушного режима машины.

-Поверхность желобков для вывода проходных продуктов должна быть гладкой; при эксплуатации их следует периодически очищать от налипаний. Исследования З. Ф. Калашниковой показали, что для изготовления желобков вместо древесины может быть рекомендован сополимер каучука со стиролом.

На мукомольных заводах применяют ситовые машины двух типов: ЗМС и А1-БСО. Принцип действия этих машин одинаков, имеются отличия в конструкции отдельных элементов и в технологической схеме.

Ситовые машины типа ЗМС выполняют двух- и четырехсекционными. Каждая секция работает автономно на различных продуктах. В ситовом кузове наклонно установлены два яруса сит, между которыми размещены желобковые рамы для вывода проходов фракций верхнего яруса сита. Ситовые рамы, установленные в верхнем ярусе, имеют обозначения: 1Р, 2Р, 1В, 2В, 3В и 4В, в нижнем — 1Н, 2Н, 3Н, 4Н, 5Н (рис. ). Сита очищаются инерционными щетками.

Над ситовым кузовом находится аспирационная камера, которая разделена перегородками на отсеки (по длине ситовых рам), позволяющие устанавливать аспирационный режим для каждого сита. Скорость воздуха в каждом отсеке регулируют при помощи ручек, установленных на наружных стенках камеры.

Технологический процесс обогащения в ситовых машинах типа ЗМС осуществляется в две стадии. Первая стадия обогащения происходит на рамах 1Р и 2Р, где поступающая смесь крупок в потоке восходящего воздуха просеивается через сита и делится на две части: сход и проход. Сход поступает на последующие сита верхнего ряда, а проход загружает "нижний ряд сит. Сита на рамах 1Р и 2Р должны быть подобраны так, чтобы проход через них составлял 50...60 % всего поступающего продукта.

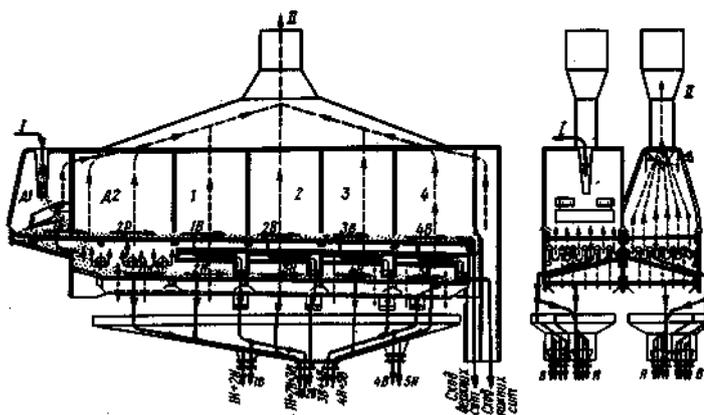


Рис. 6. Технологическая схема ситовоечной машины ЗМС-2-2: I — исходный продукт; II — воздушный поток

Окончательное уточнение нумерации сит, устанавливаемых на ситовых рамах 1Р и 2Р первой ступени обогащения, а следовательно, и загрузки верхнего и

нижнего ситовых ярусов машины проводят, определяя загрузку каждой секции и количество схода с сита 2Р (или прохода через сита 1Р и 2Р) в единицу времени. Аспирационный режим должен быть подобран так, чтобы не происходило просеивания через сита отрубянистых частиц. В результате первой стадии обогащения на нижний ряд сит поступает крупка более чистая и несколько мельче, чем остается на верхних ситах.

Вторая стадия обогащения происходит на остальных четырех ситах верхнего и на пяти ситах нижнего ярусов. Проход через ситовые рамы 1В, 2В, 3В и 4В собирается и выводится желобковыми рамами, которые устанавливаются в направляющих пазах под ситовыми рамами. В желобковых рамах поперечный лоток собирает продукт с желобков и выводит его через патрубки, установленные на боковых стенках ситового кузова, в боковые карманы кузова-сборника. Проходы через сита нижнего яруса поступают непосредственно в другие карманы кузова-сборника, где они могут быть сгруппированы отдельно или вместе с фракциями верхнего яруса.

Технологическая схема предусматривает возможность отдельного вывода из кузова-сборника следующих проходовых фракций: 1В + 2В, 3В + 4В, 4В, Ш, 1Н + 2Н + 3Н, 4Н + 5Н. Можно также проход через сито 1В объединить с проходом через сита 2Н, 2В с 3Н, 3В и 4Н и 4Н с 5Н. Схода с верхнего и нижнего ярусов выводят отдельно.

При подборе нумерации сит в ситовечных машинах следует учитывать, с каких сит получен данный поток крупок — проходом или сходом. Первые сита обогащения устанавливают на один-два номера реже сит рассевов, с которых данные крупки получены сходом.

Сита на последних рамах второй ступени верхнего яруса обогащения обычно на один-два номера реже сит рассевов, проходом через которые получен данный поток. На второй ступени обогащения на верхнем ярусе каждое последующее сито устанавливают на один-два номера реже, чем предыдущее. Сита второй ступени нижнего яруса подбирают на номер гуще расположенного над ним сита верхнего яруса.

На рисунке показана установка сит в двухступенчатой ситовеечной машине для обогащения различных по качеству крупок. При окончательном подборе номера сита надо учитывать дальнейшее направление продуктов по схеме технологического процесса. Для постоянного контроля за эффективностью работы ситовеечной машины рекомендуется на каждой секции машины иметь технологическую схему ее работы с указанием, откуда и какой крупности продукт (проход и сход) поступает на данную систему, куда направляют отдельные потоки (проход и сход), и нумерацию установленных сит.

Для выделения из обрабатываемого потока крупок лучшего качества и направления их на головные шлифовочные или размольные системы необходимо предусматривать отбор не менее двух проходových фракций — с первых и последних сит. Проходные фракции группируют с учетом качества крупок, получаемых под каждой ситовой рамой.

Для обогащения крупок и дунстов в ситовеечных машинах типа ЗМС рекомендованы следующие нагрузки (кг/сут на 1 см ширины приемного сита верхнего яруса):

крупки первого качества:

крупная	450...600
средняя	350...400
мелкая	275...350
жесткий дунст	200...250

Для крупок и дунстов второго качества нагрузка на 25 % меньше, чем для продуктов первого качества.

Удельную нагрузку на 1 см ширины сита верхнего яруса ситовеечных машин при многосортных хлебопекарных помолах нужно принимать равной 350...450 кг, а при макаронных помолах— 100...120 кг зерна в сутки.

Ситовеечная машина А1-БСО состоит из двух параллельно работающих секций, в каждой из которых установлено три яруса сит. В каждом ярусе находятся четыре ситовые рамы. Над каждой секцией расположены

аспирационные камеры. Аспирационная камера по длине разделена перегородками на 16 одинаковых отсеков (по четыре отсека над ситовой рамой).

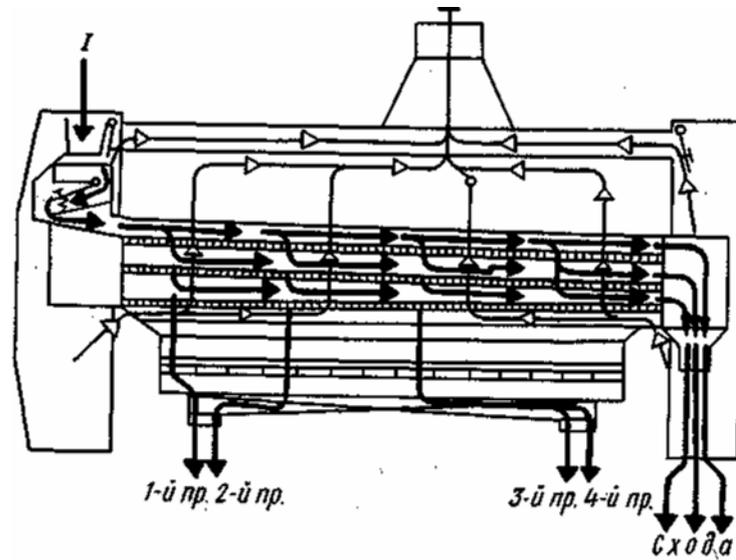


Рис. VIII-3. Технологическая схема ситовоечной машины А1-БСО:  
I — исходный продукт; II — воздушный поток

Рис.7.

Расход воздуха в отсеке камеры регулируют, перемещая шибер относительно неподвижной решетки. Шибер служит для тонкого регулирования воздушного режима. Общий расход воздуха регулируют дроссельными заслонками, установленными в воздуховодах аспирационной сети. Воздушный режим ситовоечной машины должен обеспечить эффективное расслоение продукта на сите и минимальный унос оболочечных частиц в аспирационную сеть.

Каждая ситовая рама очищается инерционными щетками. Щетка имеет два ряда пучков, волос которых направлен в противоположные стороны. В рабочем положении щетка одним рядом пучков упирается в сито и под действием сил инерции при колебаниях ситового корпуса может перемещаться только в сторону пучков, которые не касаются сита. Одновременно ползуны щетки скользят по направляющим, установленным в рамах. При соприкосновении с упором щетка переключается (опрокидывается) и начинает перемещаться в противоположном направлении.

Технологический процесс сортирования и обогащения продукта в машине происходит в результате взаимодействия движения продукта по ситам при возвратно-поступательном движении ситового корпуса и восходящих потоков воздуха. Воздух засасывается из подситового пространства, пронизывает все три яруса и поступает в аспирационную сеть. По мере разрыхления слоя продукта воздухом частицы с наибольшей плотностью перемещаются вниз к ситам, а частицы с наименьшей плотностью и наиболее шероховатые — в верхний слой. Таким образом, происходит сортирование и обогащение продукта. В соприкосновении с ситами частицы с наибольшей плотностью и богатые эндоспермом (с малой зольностью) просеиваются быстрее отрубянистых частиц, имеющих меньшую плотность и большую зольность.

Сита верхнего яруса служат для загрузки нижележащего яруса сит. Просеявшиеся крупки через сита верхнего яруса поступают на сита среднего яруса. Просеявшиеся крупки через сита среднего яруса поступают на сита нижнего яруса. Просеявшиеся крупки через сита нижнего яруса поступают в сборник. Сходовые фракции крупок со всех трех ярусов сит из ситового корпуса через распределительную коробку поступают в камеру сходов и выводятся из машины.

Принцип расстановки сит в ситовечных машинах следующий: каждое последующее сито в каждом из трех ярусов ситовечной машины должно быть на один номер реже предыдущего; каждое сито нижележащего яруса должно быть на один номер гуще соответствующего сита вышележащего яруса.

В результате обогащения с каждой ситовечной системы может быть получено пять-шесть продуктов, различных по крупности и качеству (один — три схода и один—четыре прохода). Количество продуктов регулируют соответствующей установкой перекидных клапанов в машине.

Крупки, полученные проходом первых двух-трех сит нижнего яруса ситовечных машин, должны состоять преимущественно из частиц эндосперма; крупки, получаемые проходом последнего сита и сходом нижнего яруса, — из частиц эндосперма со сростками оболочек;

сход верхнего яруса сит должен состоять преимущественно из оболочек с остатками эндосперма; сход среднего яруса сит в зависимости от качества можно объединять с верхним или нижним сходом.

Удельная нагрузка на 1 см ширины сита верхнего яруса составляет 640 кг/сут. Общий выход обогащенной крупки 74,1 %, средней — 88,97%. При этом зольность сходов по сравнению с зольностью исходного продукта увеличилась при обогащении крупной крупки в 1,94 раза, а средних крупок — в 3,12 раза.

Лекция 15. -2ч.

Машины для отделения частей эндосперма от оболочек.

Бичевые вымольные машины. Их назначение, область применения и классификация. Конструкция и основные элементы машин.

Назначение, область применения и классификация щеточных вымольных машин. Основные элементы машин. -1ч.

Машины для шелушения зерна, шлифования и полирования ядра крупяных культур.

Назначение, область применения, принцип действия и классификация шелушительных и шлифовально-полировальных машин. Конструкция, основные элементы и принцип действия шелушителей. Схемы шелушителей различного действия.

Устройство, принцип действия рабочих органов и основные требования к шлифовальным и полировальным машинам. -1ч.

## ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ В МАШИНАХ УДАРНО-ИСТИРАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ

На различных этапах производства муки наряду с основным измельчением и сортированием используют вспомогательные операции в машинах ударно-истирающего действия: вымольная машина А1-БВГ, энтолейтор РЗ-БЭР, деташер А1-БДГ, виброцентрофугал РЗ-БЦА. Как правило, такие машины устанавливают после основных, они функционально связаны с последующими технологическими операциями.

На заключительном этапе драного процесса выделяют продукты измельчения, которые содержат основное количество оболочек и остатки сросшихся с ними частиц эндосперма. Эта неоднородная смесь получается сходом верхних сит рассевов последних драных систем. Отделение частиц эндосперма от оболочек является важной технологической операцией — вымолом, который производится в машине А1-БВГ. В результате этого получают две фракции: сходовую — отруби и проходовую — трудносыпучую смесь, содержащую муку. Эту фракцию подвергают обработке в виброцентрофугале РЗ-БЦА.

В размольном процессе, где получают основное количество муки (58...60%), применяют двухступенчатое измельчение: основное — в вальцовых станках, а

дополнительное — в энтолейторах РЗ-БЭР или деташерах А1-БДГ. Причем энтолейторы применяют для дополнительного измельчения продуктов с относительно малым содержанием оболочечных частиц. Поэтому в результате интенсивного измельчения продуктов после 1-й, 2 и 3-й р. с. в энтолейторах практически не происходит изменения зольности муки.

На последующих размольных системах наблюдается тенденция агрегатирования, сплющивания частиц более высокой зольности и большей влажности. Для разрушения образовавшихся после вальцов так называемых лепешек устанавливают деташеры А1-БДГ с более низкой, чем у энтолейторов, окружной скоростью (11 м/с). В этом случае не преследуется цель интенсивного разрушения частиц, что привело бы к повышению зольности. Рассматриваемые технологические операции измельчения обеспечивают интенсивное комплексное воздействие на продукты измельчения зерна и в разной степени сочетают ударный, истирающий и сортирующий эффекты. Это достигается при различных параметрах вращения бичевого ротора, установленного в сплошной или перфорированной обечайке. Конструктивное исполнение и параметры рабочих органов машин соответствуют специфике выполняемых технологических операций.

Вымольная машина А1-БВГ и виброцентрофугал РЗ-БЦА сочетают ударно-истирающее воздействие бичей различной интенсивности с процессом просеивания. Ударное воздействие бичей в совокупности с трением между частицами и о ситовую поверхность нарушает связь между оболочками и эндоспермом, способствует измельчению частиц эндосперма.

При просеивании через ситовой цилиндр под действием центробежных сил инерции, возникающих от вращения ротора, продукты измельчения разделяются на две фракции: сходовую, содержащую относительно крупные частицы отрубей, и проходовую с большим содержанием эндосперма. Для интенсификации просеивания трудносыпучего продукта и вывода муки в машине РЗ-БЦА наряду с вращением бичевого ротора ситовой цилиндр приводится в высокочастотное колебательное движение.

Основными механико-технологическими параметрами бичевых просеивающих машин служат окружная скорость бичевого ротора и размер отверстий сит. Важную роль играют нагрузка, продолжительность обработки продукта и степень использования ситовой поверхности.

В вымольной машине А1-БВГ определяющий процесс — измельчение, соответственно окружная скорость ротора составляет 22...24 м/с; в машине РЗ-БЦА, где основной операцией является просеивание, она не превышает 10... 11 м/с.

Наряду с общими для всех машин показателями оценки работы производительностью и энергоемкостью в соответствии с выполняемой технологической операцией по размолу оценивается эффективность каждой машины.

Технологическая эффективность машин А1-БВГ и РЗ-БЦА характеризуется увеличением зольности сходовой фракции и уменьшением проходовой сравнительно с исходными показателями, а также дополнительным извлечением муки. Режим работы обеих машин должен обеспечивать суммарное извлечение муки в количестве 2...6 % к массе продукта, поступающего на I др. с.

Технологическая эффективность энтолейтора оценивается дополнительным извлечением муки, которое должно быть не менее 15% к извлечению муки, полученной на всей системе. Расход электроэнергии на 1 т муки, извлеченной в энтолейторе, до 10 кВт-ч.

Эффективность работы деташера состоит в изменении гранулометрического состава продуктов измельчения и соответственно дополнительном извлечении муки (15...20%).

После обработки в деташерах разрушаются агрегатированные частицы до размеров дунста и муки. Без этой операции крупные агломераты пошли бы сходом, с сит отсева, что привело бы к необходимости их повторной обработки в вальцовых станках.

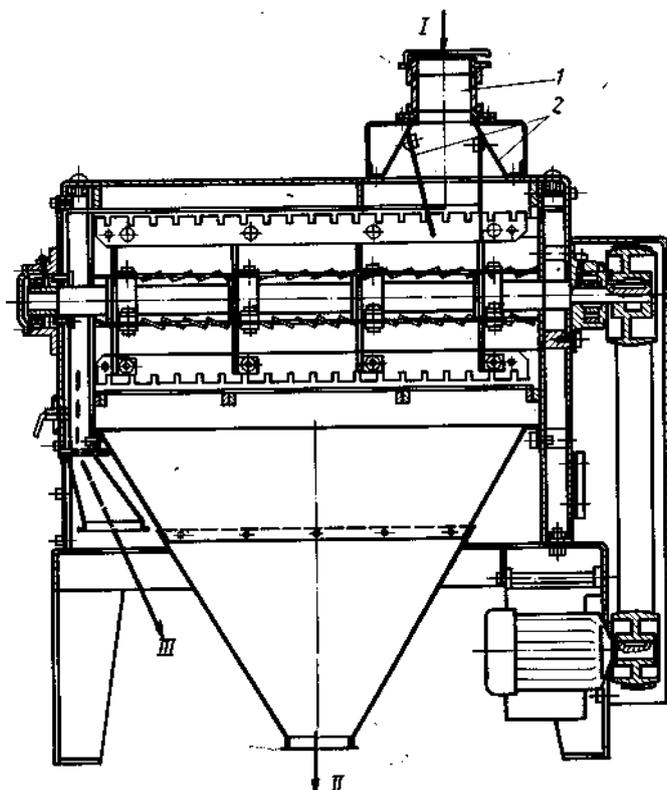


Рис. 1. Технологическая схема вымольной машины 1 — приемный патрубков; 2 — клапаны; 3 — бичевой ротор; / — исходная смесь; // — мучнистая смесь; /// — отрубянистые

Таким образом, деташеры способствуют снижению оборота продукта.

Вымольная машина А1-БВГ (рис. 1) предназначена для отделения частиц эндосперма от оболочек сходовых фракций драных систем при переработке зерна пшеницы в сортовую муку. Основными рабочими органами служат вращающийся бичевой ротор и ситовой полуцилиндр.

Исходная смесь / через приемный патрубок / поступает в приемную камеру с регулируемыми спаренными клапанами 2, которые направляют смесь в рабочую зону. Вращающиеся бичи ротора 3 подхватывают продукт и отбрасывают его к поверхности ситового полуцилиндра 4. Мучнистая смесь // отделяется от отрубей, просеивается через сито и выводится из машины через конус. Благодаря отогнутым концам кромки бичей и их наклону относительно оси вала сходовая фракция — отрубянистые частицы /// — продвигаются в осевом направлении и выводятся через выпускной патрубок. По данным испытаний вымольной машины, при зольности исходного продукта 6,09 % зольность сходовой фракции

составила 6,72 %, а проходовой — 1,90 %. Дополнительное извлечение муки в пределах 6...9 %. Производительность вымольной машины 0,9... 1,6 т/ч.

Виброцентрофугал РЗ-БЦА (рис. 2) предназначен для высеивания муки из трудносыпучих промежуточных продуктов размола зерна. Основным рабочим органом — вращающийся бичевой ротор 2, установленный в неподвижном ситовом цилиндре 3 из капроновой ткани.

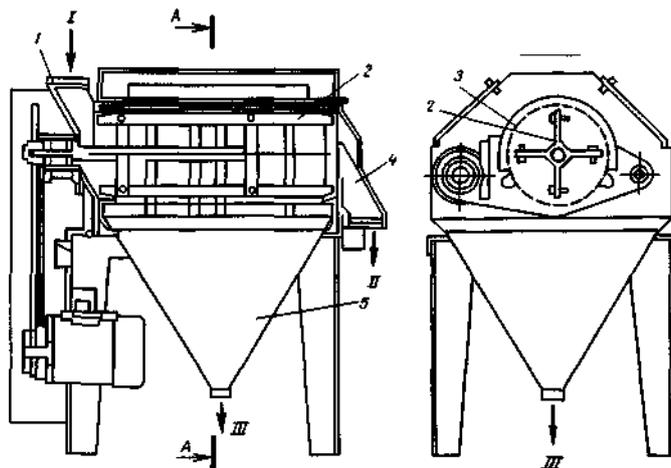


Рис. 2. Технологическая схема виброцентрофугала РЗ-БЦА: / — приемный патрубок; 2 — бичевой ротор; 3 — ситовый цилиндр; 4,5 — выпускные патрубки; / — исходный продукт; // — отрубьянистые частицы; /// — мучнистая смесь

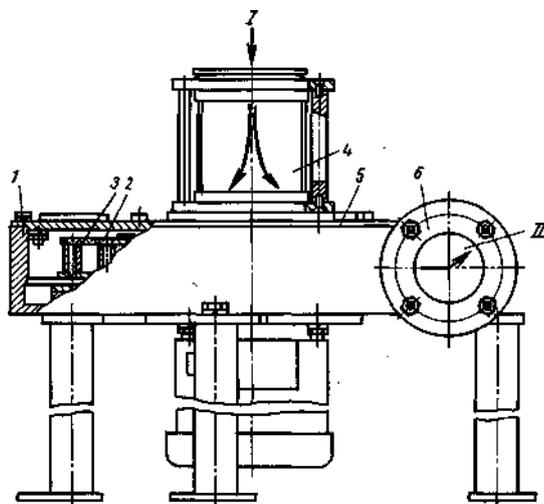


Рис. 3. Схема энтолейтора РЗ-БЭР:

/ — корпус; 2 — диски; 3 — втулка; 4 — приемный патрубок; 5 — крышка; К выпускной патрубок; / — исходный продукт; // — измельченный продукт

Исходный продукт / поступает через приемный патрубок / внутрь ситового цилиндра 3. Вращающиеся бичи ротора 2 подхватывают продукт и отбрасывают его к поверхности сита. Мучнистая смесь /// проходит через отверстия сита и сбрасывается с него в выпускной патрубок 5 в результате высокочастотных колебаний ситового цилиндра. Сходовая фракция — отрубьянистые частицы // — под действием вибрации выводится через патрубок 4.

Производительность виброцентрофугала зависит от скорости вращения ротора, которая изменяется при замене шкивов на электродвигателе, а также от зазора между кромкой бичей и ситовой поверхностью. Изменяют зазор, передвигая бичи в радиальном направлении в пределах 12...13 мм.

Эффективность работы машины оценивается сопоставлением зольности исходного продукта и полученных фракций. Соотношение проходовой и сходовой фракций 1,0...1,3. Зольность сходовой фракции в 2,5...2,8 раза выше, чем проходовой. Производительность виброцентрофугала 0,5...1,0 т/ч.

Отличительные особенности машины заключаются в том, что высокочастотные колебания ситового цилиндра активизируют просеивание и транспортирование трудносыпучей фракции, а также обеспечивают самоочистку отверстий сит.

Энтолейтор РЗ-БЭР (рис. 3) предназначен для дополнительного измельчения крупок и дунстов после вальцовых станков с микрошероховатыми вальцами 1-й... 3-й р.с. Основной рабочий орган энтолейтора — бичевой ротор, состоящий из двух плоских гор зонтовых дисков 2, соединенных между собой цилиндрическими втулками 3. Ротор установлен в корпусе /, выполненном в форме «улитки».

Продукт после измельчения в вальцовом станке по самотечной трубе или пневмотранспортному трубопроводу поступает в приемный патрубок энтолейтора и попадает через отверстие в верхнем диске ротора в его рабочую камеру. Под действием центробежных сил инерции и воздушного потока

продукты размола зерна движутся от центра к периферии ротора. Вследствие многократных ударов о втулки и корпус зерновые продукты дополнительно измельчаются, а спрессованные комки разрушаются. Измельченный продукт выводится через выпускной патрубок 6 и поступает в продуктопровод.

По данным испытаний энтолейтора, после вальцового станка 2-й р. с. получены следующие технологические показатели: извлечение муки (проход сита № 43ш) составило 26,5-тО,6%. При зольности исходного продукта 0,53 % зольность муки  $0,41 \pm 0,01$  %. Производительность энтолейтора 1,5...2,3 т/ч.

Деташер А1-БДГ (рис. 4) предназначен для измельчения промежуточных продуктов после вальцовых станков 1-й, 2-й шл. с. и 4-й...10-й р. с., где установлены вальцы с микрошероховатой рабочей поверхностью. Основным рабочим органом деташера служит бичевой ротор 4, вращающийся внутри цилиндрического корпуса.

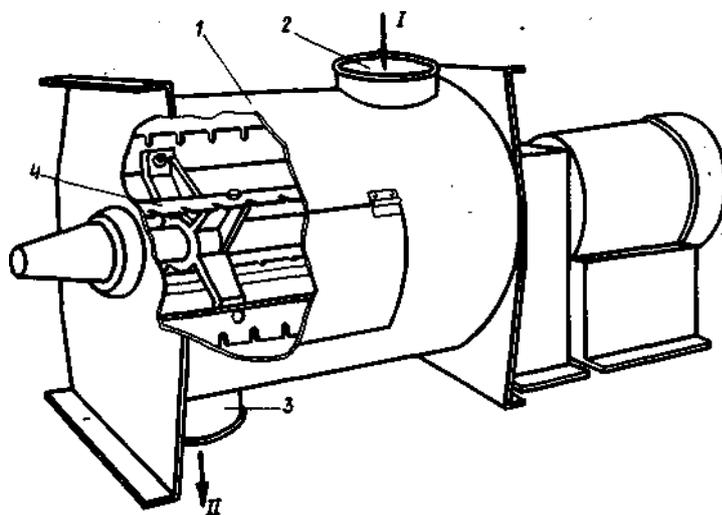


Рис. 4. Схема деташера А1-БДГ:

1 — корпус; 2 — приемный патрубок; 3 — выпускной патрубок; 4 — бичевой ротор; / — исходный продукт; // — измельченный продукт

Технологический процесс обработки продукта в деташере осуществляется следующим образом. После вальцового станка продукт самотеком или через систему пневмотранспорта направляется в приемный патрубок и поступает в рабочую зону. Здесь он подхватывается бичами вращающегося ротора, отбрасывается на стенку корпуса и постепенно перемещается к выводному патрубку. Шесть приваренных к корпусу по всей его длине пластинок обеспечивают торможение продукта, усиливают его разрыхление и дополнительное измельчение.

Под воздействием наклонных участков косозубых бичей продукт перемещается к выходу. На этом пути в результате многократных ударов, трения частиц о бичи и обечайку происходит измельчение, разрушение частиц. Так, например, извлечение муки, полученной при измельчении в вальцевом станке 1-й шл.с. и деташере А1-БДГ, составляет 14,0-14,5 %, зольность муки – около 0,44%.

Производительность деташера составляет 0,4-0,6 т/ч.

Технологическую эффективность работы энтолейтора и деташера определяют по формуле:

$$U_M = \frac{K_2 - K_1}{100 - K_1} 100 \quad (1)$$

где:  $U_M$  – извлечение муки (к системе), проход через шелковое сито №43 (140мкм), %;  $K_1$  – количество проходовой фракции (муки) в продукте, направляемой в машину, %;  $K_2$  – количество проходовой фракции (муки) в продукте после машины, % .

## Машины для шелушения зерна.

### Назначение и область применения

Одной из основных технологических операций на крупозаводах является шелушение—снятие цветочных пленок с зерна ячменя, риса, овса и проса, плодовых оболочек с зерна гречихи и пшеницы, а также семенных оболочек с гороха. Для этой операции используют шелушильные машины.

В зависимости от прочности связей цветочных пленок, плодовой или семенных оболочек с ядром крупяные культуры можно разделить на две группы. К первой относятся культуры, у которых оболочки не срослись с ядром (гречиха, просо, рис и овес), ко второй — культуры, у которых оболочки срослись с ядром (ячмень, горох).

Основной операцией является – операция шелушения это отделение наружных пленок от зерна. Существует ряд способов шелушения, которые зависят от строения зерна, прочности связей оболочек и ядра, прочности ядра, а также ассортимента вырабатываемой продукции. Существует три способа воздействия рабочих органов на зерно, в результате которого происходит разрушение и удаление оболочек.

Первый способ воздействия заключается в сжатии зерна и сдвиге расколотых оболочек. Этот способ эффективен лишь для зерна, у которого оболочки не срослись с ядром, а именно для риса, проса, овса и гречихи.

Основные машины, в которых использован этот способ, - это шелушильный постав, вальцедековый станок и шелушитель с обрезаемыми валками.

Второй способ шелушения заключается в отделении пленок посредством однократного или многократных ударов зерновок о твердую поверхность. Этот способ применим для зерна, у которых пленки не срослись с ядром, а само ядро достаточно пластично и не разрушается при ударе (овес, ячмень, пшеница и кукуруза).

В качестве машин применяют центробежный шелушитель, обочные машины.

Третий способ – постепенное истирание оболочек в результате трения зерна о движущиеся шероховатые поверхности. Этот способ применяют для зерен у которых пленки плотно срослись с ядром (ячмень, пшеница, горох и кукуруза).

Для шелушения зерна каждой группы требуются различные продолжительность и интенсивность воздействия рабочих органов машины. Шелушение проса и гречихи возможно при кратковременном воздействии на них рабочих органов машин. Для шелушения овса и риса требуется более интенсивное воздействие рабочих органов, а для шелушения ячменя нужно длительное воздействие рабочих органов. Шелушение гороха возможно при более эластичном воздействии ввиду меньшей степени связи оболочек гороха с ядром. Основное требование к шелушительным машинам — высокая степень шелушения при максимальном сохранении целостности ядра.

Для полного освобождения ядра от остатков наружных пленок и оболочек и придания ядру гладкой формы применяются шлифовальные и полировальные машины.

Коэффициент шелушения  $K_{ш}$  можно определить по следующей формуле:

$$K_{ш} = \frac{100(K_1 - K_2)}{K_1} = \left(1 - \frac{K_2}{K_1}\right) * 100\% \quad (2)$$

где  $K_1$  — количество нешелушенных зерен до поступления в машину в %;  
 $K_2$  — количество нешелушенных зерен после однократного пропуска через машину в %.

Если необходимо определить коэффициент повторного шелушения  $K_{пш}$  при частичном или полном возврате шелушенных зерен в смеси с нешелушенными, можно воспользоваться следующей формулой:

$$K_{пш} = \frac{(c + d + m) - c_1}{k_1 + c_1} \quad (3)$$

где  $c$  — количество шелушенных зерен в продукте, полученном после повторного шелушения, в %;

$d$  — количество дробленого ядра в том же продукте в %;

$m$  — количество мучки в том же продукте в %;

$c_1$  — количество шелушенных зерен в продукте, направляемом на повторное шелушение, в %;

$k_1$  — количество нешелушенных зерен в продукте, направляемом на повторное шелушение, в %.

### Классификация машин

На рисунке 5 приведена классификация машин, применяемых для шелушения зерна крупяных культур.

Как видно из рисунка, в основу классификации положен принцип воздействия рабочих органов, зависящий от формы связи наружных оболочек (пленок) с ядром.

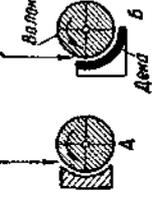
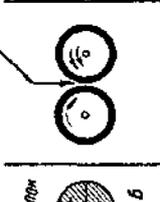
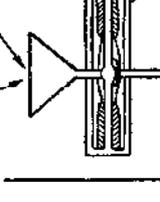
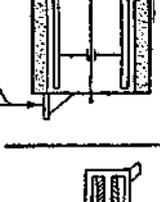
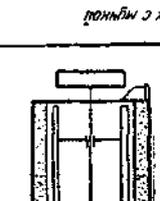
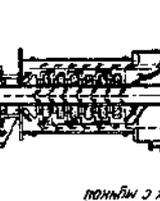
<p>Переработка в сырых культурах</p> <p>Наименование</p>	 <p>Гречиха</p>	 <p>Льнос</p>	 <p>Рис</p>	 <p>Овес</p>	 <p>Ячмень</p>	 <p>Горих</p>
	<p>Характеристика зерна</p> <p>Форма связан наружных оболочек (пленок) с ядром</p>	<p>Все 3 лепестка плодовой оболочки (пленки) свободно охватывают ядро и соединены с ним только в одной точке</p>	<p>Цветочные пленки свободно охватывают ядро, но с ним не срываются</p>	<p>Цветочные пленки охватывают ядро, но с ним срываются</p>	<p>Цветочные пленки плотно соединены с плодовой оболочкой по всей поверхности зерна и глубоко заходят в бороздку</p>	<p>Цветочные пленки плотно соединены с плодовой оболочкой по всей поверхности зерна и глубоко заходят в бороздку</p>
<p>Характеристика необработанных ядра при влажности 14%</p>	<p>Ядро хрупкое</p>	<p>Ядро хрупкое</p>	<p>Ядро хрупкое</p>	<p>Ядро эластичное</p>	<p>Ядро прочное</p>	<p>Ядро при ударе и сжатии раскалывается на семечки</p>
<p>Схема рабочих органов машин, применяемых для шелушения зерна</p>	 <p>Вальцовые станки</p> <p>А - для гречихи, Б - для льна</p>	 <p>Станок с режущими вальцами</p>	 <p>Шелушильный гильотин</p>	 <p>Канальная вальца</p>	 <p>Шелушильная машина</p>	 <p>Гильотин</p>
<p>Способы воздействия на зерно и виды преобладающих деформаций</p>	<p>Непродолжительное сжатие и сдвиг, вызывающие отделение пленок</p>	<p>Сжатие, сдвиг и трение, вызывающее шелушение</p>	<p>Удар о бичи и абразивную поверхность и сопутствующее ему фрикционное воздействие, вызывающее шелушение и отделение оболочек</p>	<p>Продолжительное трение об абразивную и шероховатую поверхность, вызывающее отделение оболочек</p>	<p>Продолжительное трение об абразивную и шероховатую поверхность, вызывающее отделение оболочек</p>	<p>Продолжительное трение об абразивную и шероховатую поверхность, вызывающее отделение оболочек</p>

Рис. XVIII-1. Классификация машин для шелушения зерна крушных культур.

## Шелушильные машины, воздействующие на зерно ударами о рабочие органы

**Машина со стальными бичами и декой.** На рисунке 6 показана схема устройства шасталки, выпускаемой фирмой Бюлер. Эти машины применяют для удаления остей с зерен овса и риса.

Основными рабочими органами машины являются быстровращающиеся стальные бичи 1 и стальная дека 2 с шероховатой поверхностью. Металломагнитные примеси задерживаются магнитом 4. Устанавливая клапан 3 в вертикальное положение, можно снять примеси с полюсов магнитов. Производительность в кг/ч 3000—4000

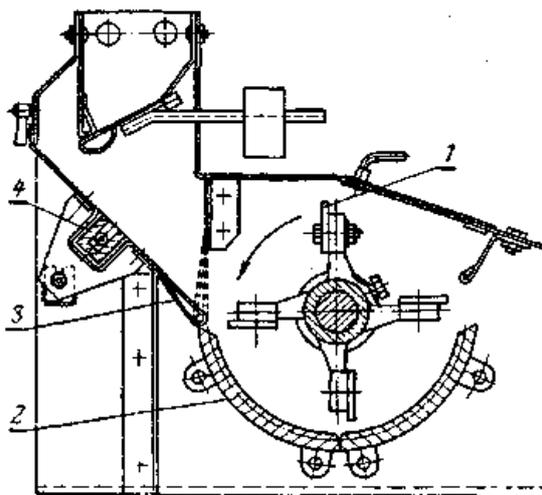


Рис. 6. Машина со стальными бичами и декой для удаления остей с зерен ячменя, овса и риса, выпускаемая фирмой Бюлер.

Машина со стальными бичами и стальным цилиндром. Ее применяют для шелушения зерна овса, ячменя и гороха. Зерно поступает в продольную щель 3 цилиндра из ковша 4 через питающий механизм 5 (рис. 7). Рабочая поверхность цилиндра изготовлена из стальных стержней 2 углового или круглого сечения. Они уложены по образующим и создают внутри цилиндра шероховатую

поверхность. Для переработки ячменя или овса применяют стержни из угловой стали размером 30X30 или 25X25 мм; для переработки гороха — круглые Ø 20—25 мм. Окружная скорость бичей 1 для шелушения овса составляет 20—22 м/сек. Шелушеное зерно удаляется через щель 7. Аспирируется машина через канал 6. В остальном эти машины не отличаются от машин для сухой обработки покрова зерна.

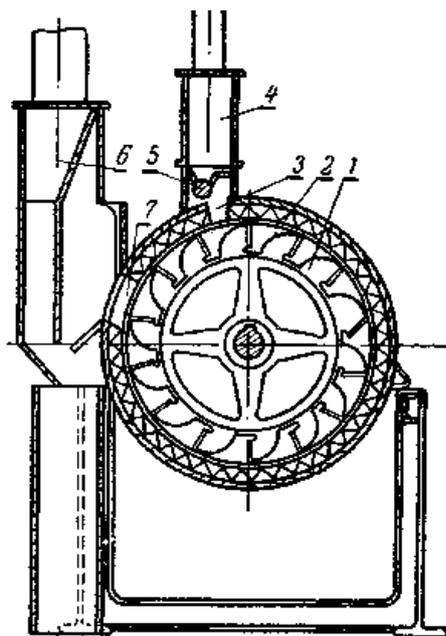


Рис. 7. Машина со стальными бичами и абразивной декой для шелушения ячменя, овса и гороха.

### **Шелушильные машины, воздействующие на зерно сжатием, сдвигом и трением**

На рисунке 8 показано устройство шелушильного постава, в котором рабочими органами являются два чугунных диска — жернова, покрытые абразивной массой. Эти машины применяют для снятия цветочных пленок с зерен риса и овса. Нижний, вращающийся жернов 14 укреплен посредством шпонки 8 на конусном конце вертикального вала 9. Верхний, неподвижный жернов вместе с поддоном укреплен при помощи кронштейнов 10 на винтах 13. Чтобы выравнивать расстояние между жерновами, а также приближать

верхний жернов к нижнему, пользуются гайками 12. Положение нижнего жернова по отношению к верхнему регулируют подъемным механизмом, состоящим из рычага 23 и винтового механизма 22. При вращении маховичка // рычаг поворачивается вокруг оси вращения и, упираясь в корпус подпятника\* вызывает вертикальное перемещение вала.

Питающий механизм состоит из конусной воронки 6, укрепленной при помощи стоек на неподвижном диске. На верхнем конце вала помещена тарелка 5, предназначенная для равномерного распределения продукта. На нижнюю часть приемной воронки надет телескопический патрубок 7, положение которого над тарелкой определяет количество поступающего зерна.

Для выпуска продукта из машины в поддоне имеются два отверстия. В зависимости от местных условий выпускной патрубок 15 присоединяют к тому или другому отверстию. Диск бегуна при помощи двух гонков 4, прикрепленных к нему болтами, подает продукт к выходному отверстию.

По мере срабатывания рабочей поверхности нижний диск поднимают или верхний опускают так, чтобы сохранить между ними требуемое расстояние. Когда поднимают нижний диск, гонки должны находиться ближе к поддону.

В выпускном патрубке имеется люк 16 для отбора проб и предохранительный клапан 17.

Вертикальный вал вращается в двух подшипниках 18 и 20 и опирается на подпятник 21. Верхний подшипник состоит из корпуса 3 > крышки / и втулки 2, которая соединена с валом посредством шпонки 19. Вал может перемещаться в вертикальном направлении по отношению к втулке свободно. Производительность в кг/ч: при переработке риса 1500—800, при переработке овса 1200—1300.

Производительность шелушильного постава и потребную мощность для привода его в движение определяют по следующим формулам. Производительность:

$$Q = 0,9 * q_0 * \frac{D^2 * V * (k-1)}{2 * k^3} \quad (4)$$

где  $Q$  — производительность в  $m^3/ч$ ;

$q_0$  — удельная напряженность 1  $m^2$  площади рабочего поля в  $кг$

$D$  — наружный диаметр бегуна (наибольший диаметр рабочего поля) в  $m$ ;

$d$  — наименьший диаметр рабочего поля в  $m$ ;

$v$  — скорость вращения бегуна (по наружному диаметру) в  $m/сек$ ;

$k$  — отношение  $D/d = (1,3—1,7)$ .

Потребная мощность:

$$N = \frac{Q * V^2}{180} \text{ кВт} \quad (5)$$

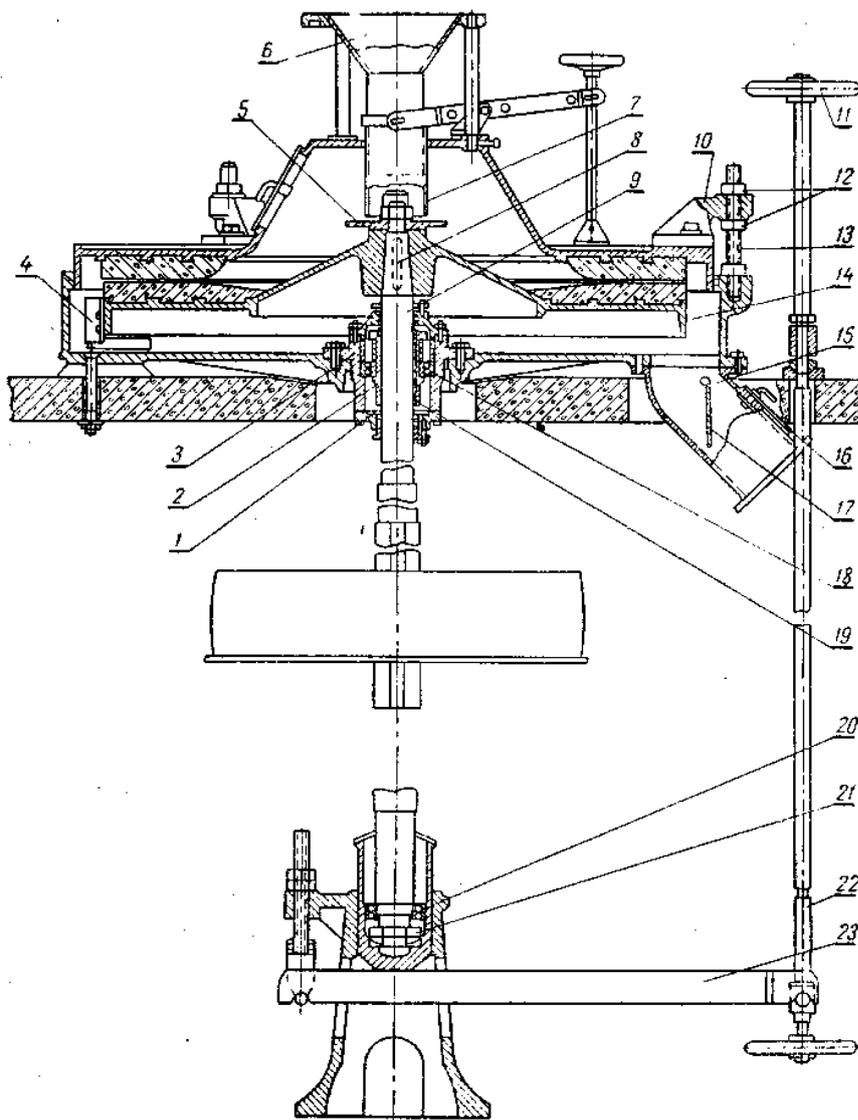


Рис. 8. Шелушильный постав.

Двухдековый шелушильный станок 2ДШС-3 предназначен для шелушения зерна проса или гречихи. В станке происходит удаление цветковых оболочек с проса или гречихи при воздействии на них трех рабочих поверхностей, одна из которых — вращающийся валок, а две другие — неподвижные деки. Станок объединяет два процесса шелушения без промежуточного отбора продуктов шелушения.

Узлы станка 2ДШС-3 (рис. 9) монтируют на сварной станине 3, которая одновременно является кожухом станка. Сверху станины расположен питающий механизм 10, в который входят задвижка, валик, заслонка, регистратор производительности. Задвижка 14 служит для перекрытия поступления зерна и остановки станка в случае завалов. Питающий валик, предназначенный для равномерного распределения зерна по всей ширине питающего механизма, приводится в движение через клиноременную передачу и двухступенчатый цилиндрический редуктор от рабочего валка. Станок устанавливают на заданную производительность при помощи заслонки путем поворота ручки маховика 15.

При шелушении проса ставят абразивный валок 12, набранный из трех абразивных кругов ПП600Х 150Х305 и одного ПП600Х 200Х305. Вращение валку передается через клиноременную передачу шестью ремнями типа В от электродвигателя 11 мощностью 22 кВт, смонтированного на салазках вне станка. Передача закрыта ограждением 2. При шелушении гречихи ставят валок 17 из монолитного песчаника. Вращение валку передается через клиноременную передачу двумя ремнями типа В от электродвигателя мощностью 5,5 кВт. В станке установлены две деки: верхняя и нижняя. Зазор между валками и деками регулируют штурвалами 7 и 4 через червячный редуктор.

Для шелушения проса и гречихи применяют разные декодержатели как по конструкции, так и по кинематике подвески их в станине. При шелушении

проса в декодержатель устанавливают резиноканевую деку, набранную из специальных пластин, при шелушении гречихи — песчаниковую.

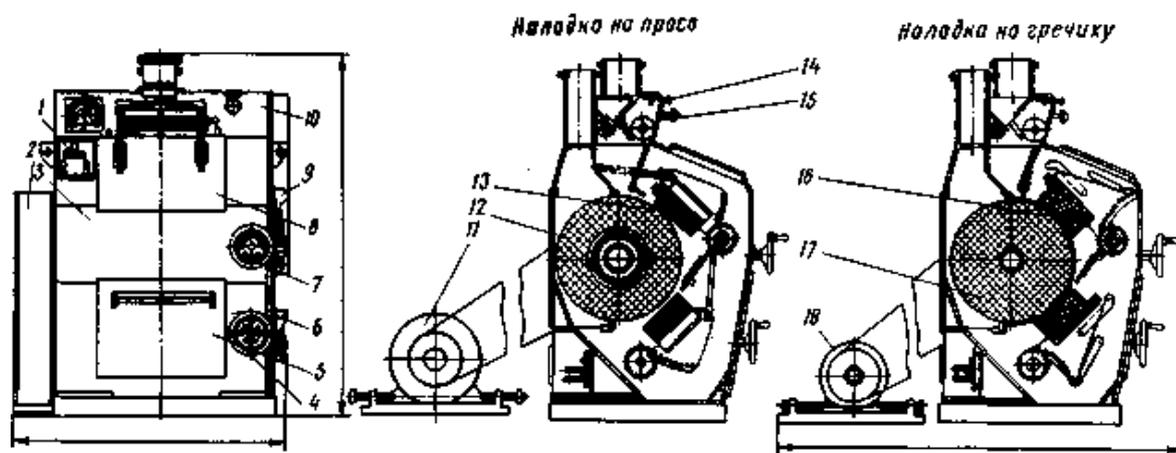


Рис. 9 . Шелушильный станок 2ДШС-3:

1 — пульт управления; 2 — ограждение; 3 — станина; 4, 7 — штурвалы; 5, 8 — дверки; 6, 9 — рычаги управления; 10 — питающий механизм; 11, 18 — электродвигатели; 12 — абразивный валок; 13 — резиновая дека; 14 — задвижка; 15 — ручка маховика для регулирования производительности; 16 — песчаниковая дека; 17 — песчаниковый валок

Продукт, подлежащий шелушению, из приемного устройства по направляющему лотку поступает в первую рабочую зону между валком и первой декой и далее по второму направляющему лотку во вторую рабочую зону между валком и второй декой, после чего выводится из станка. Пробы после первой и второй дек отбирают через люк.

### ШЕЛУШИТЕЛЬ У1-БШВ

Валковый шелушитель У1-БШВ предназначен для шелушения зерна риса при переработке его в крупу.

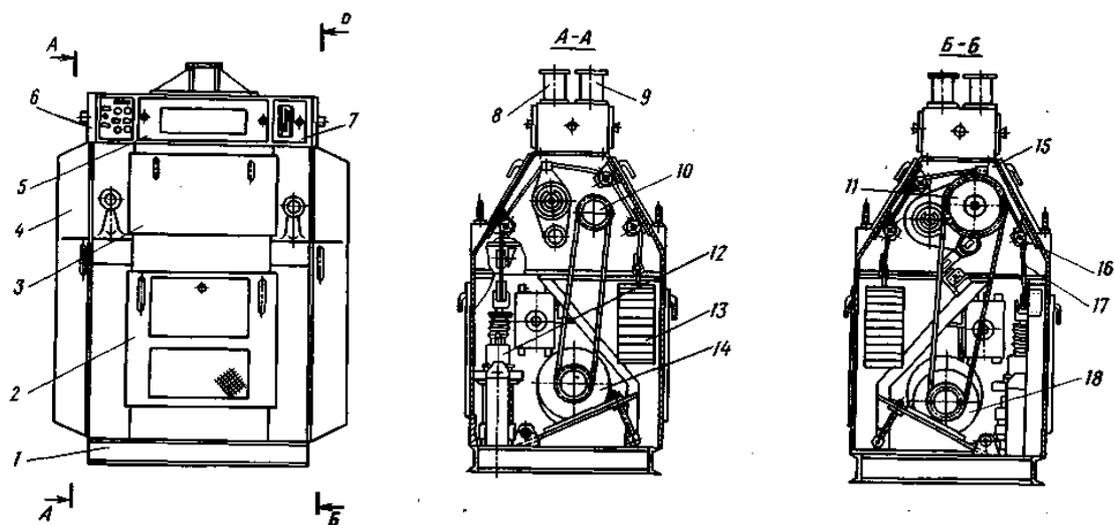


Рис. 10 . Шелушитель У1-БШВ:

1 — станина; 2, 3 — люки; 4 — ограждение; 5 — питатель; 6 — система автоматики; 7 — регулятор производительности; 8, 9 — аспирационный и приемный патрубки; 10, 11 — быстроходный и тихоходный валки; 12 — механизм отвала; 13 — привальные грузы; 14, 18 — электродвигатели быстроходного и тихоходного валков; 15 — демпфер; 16 — блок; 17 — трос

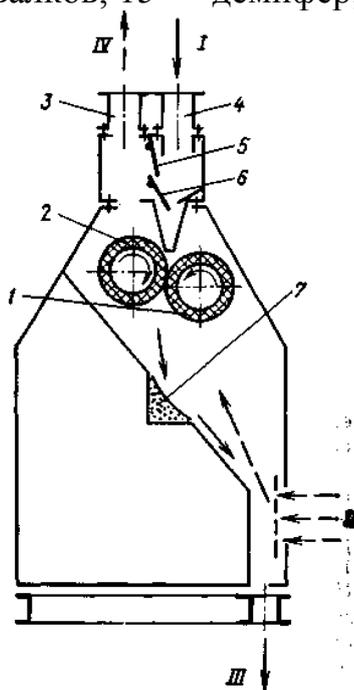


Рис. 11. Технологическая схема шелушителя У1-БШВ:

1, 2 — быстроходный и тихоходный валки; 3, 4 — аспирационный и приемный патрубки; 5 — датчик наличия продукта; 6 — питающая заслонка; 7 — накопительный карман; / — зерно риса; // — воздух; /// — продукты шелушения; IV — воздух с лузгой

Система автоматики состоит из панели управления, встроенной в питатель, силовой панели, датчиков, сигнализатора уровня и сигнальной лампы

остановки шелушителя. На панели смонтированы кнопки местного управления с переключателем дистанционного управления.

Система автоматики обеспечивает:

включение электродвигателей валков и привал тихоходного валка при поступлении продукта в бункер шелушителя;

отключение электродвигателей валков, включение привода механизма отвала и закрытие питающей заслонки в аварийных режимах;

прекращение подачи продукта при подпоре шелушителя продуктом снизу; предельном износе валков; перегрузке электродвигателей; открытии люков, ограждающих рабочую зону валков;

сигнализацию об установке шелушителя.

Быстроходный валок смонтирован на неподвижных относительно станины подшипниковых опорах, тихоходный — в опорах, поворачивающихся на рычагах, что дает возможность регулировать зазор между валками. К рычагам тихоходного валка крепят перекинутые через блоки тросы, концы которых соединяют с одной стороны с механизмом отвала, а с другой — с привальными грузами. При движении винта механизма отвала вниз происходит отвал тихоходного валка от быстроходного. При движении винта вверх трос отпускается на расстояние, равное зазору между валками в отваленном состоянии и сумме толщин изношенного слоя резины валков, и тихоходный валок под воздействием массы грузов приваливается к быстроходному.

Принцип действия шелушителя заключается в воздействии на зерно риса, проходящее между двумя обрезиненными валками, вращающимися навстречу друг другу с различными окружными скоростями, кратковременных усилий сжатия и сдвига, вызывающих отделение оболочки от ядра. Рис из бункера подается в приемный патрубок 4, заполняет питающий бункер и нажимает на заслонку датчика 5 наличия продукта (рис. 10).

Зерно, проходя через щель, образованную заслонкой и наклонной стенкой, распределяется по всей длине щели и равномерным слоем попадает в зазор между валками 1, 2, где происходит шелушение. Шелушенный рис

попадает на скат станины и далее в выпускное отверстие шелушителя; некоторое количество продукта шелушения удерживается в кармане на скате, образуя защитный слой, предохраняющий рис от дробления при ударе о металл. Воздух, засасываемый в аспирационную сеть через решетку нижнего люка, движется навстречу продукту и уносит с собой пыль, частично лузгу.

### ШЕЛУШИЛЬНО-ШЛИФОВАЛЬНАЯ МАШИНА А1-ЗШН-3

Машина А1-ЗШН-3 предназначена для шелушения ржи и пшеницы при обойных помолах и ржаных сортовых помолах на мукомольных заводах, шлифования и полирования ячменя при выработке перловой крупы.

Ситовый цилиндр машины (рис. 12) установлен в корпусе 5 рабочей камеры, вал с абразивными кругами вращается в двух подшипниковых опорах 8 и 12. В верхней части он пустотелый и имеет шесть рядов отверстий, по восемь отверстий в каждом ряду.

На машине установлены приемный 7 и выпускной 1 патрубки. Последний снабжен устройством для регулирования продолжительности обработки продукта. Отводящий трубопровод крепят к фланцу патрубка, установленного в зоне кольцевого канала (для вывода мучки) корпуса 2. Привод машины от электродвигателя через клиноременную передачу 11.

Зерно, подлежащее обработке, через приемный патрубок поступает в пространство между вращающимися абразивными кругами и неподвижным ситовым цилиндром 4. Здесь благодаря интенсивному трению при продвижении зерна к выпускному патрубку 1 происходит отделение оболочек, основная масса) которых через отверстия ситового цилиндра и далее через кольцевую камеру удаляется из машины.

При помощи клапанного устройства, размещенного в патрубке 1, регулируют не только количество выпускаемого из машины продукта, но и время его обработки; производительность машины и технологическую эффективность процесса шелушения, шлифования и полирования.

Воздух засасывается через пустотелый вал и имеющиеся в нем отверстия, проходит через слой обрабатываемого продукта. Вместе с оболочками и легкими примесями через ситовый цилиндр 4 он поступает в кольцевую камеру с двумя рассекателями, которые направляют его в аспирационную систему. Недостаточная часть воздуха для удаления оболочек из кольцевой камеры подсасывается через регулируемые щели патрубка, размещенного с противоположной стороны патрубка 1.

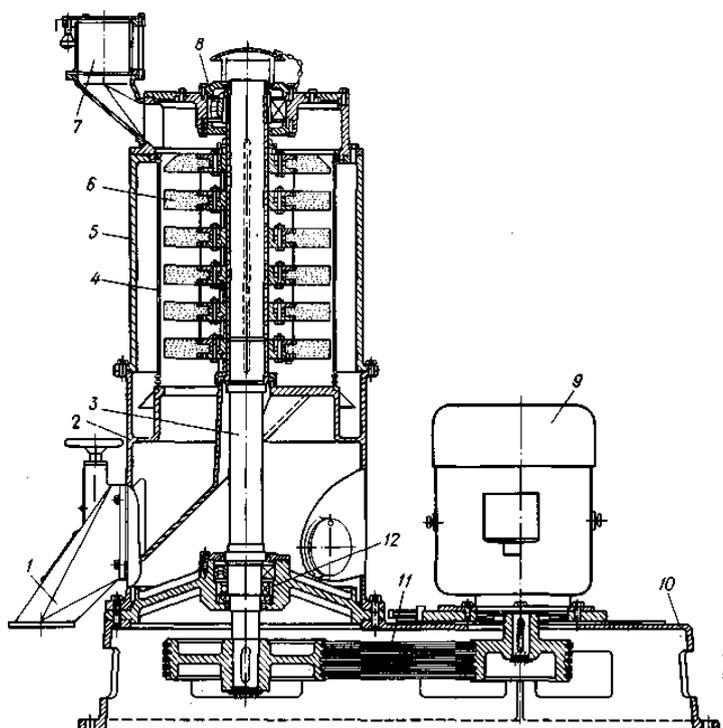


Рис. 12. Шелушильно-шлифовальная машина А1-ЗШН-3:

1,7 — выпускной и приемный патрубки; 2 — корпус; 3 — вал; 4 — ситовой цилиндр; 5 — корпус рабочей камеры; 6 — абразивный круг; 8, 12 — подшипниковые опоры; 9 — электродвигатель; 10 — станина; 11 — клиноременная передача

Шелушильно-шлифовальные машины А1-ЗШН-3 выпускают в четырех исполнениях:

исполнение 1 с абразивными кругами зернистостью 80 или 100 (для мукомольных заводов);

исполнение 2 с абразивными кругами зернистостью 100 (для шлифования крупы);

исполнение 3 с абразивными кругами зернистостью 80 (для полифования крупы);

исполнение 4 с абразивными кругами зернистостью 125 (для комбикормовых заводов).

#### Машины для шлифования и полирования крупы.

Как правило, шелушеное зерно (ядро), за исключением гречневого ядра, не является готовой крупой. Ядро становится крупой после его шлифования и полирования, т. е. удаления оставшихся плодовых, семенных оболочек, частично алейронового слоя и зародыша.

**Шлифование.** Оно улучшает внешний вид крупы, например, темный рис после шлифования становится белым. В результате удаления наружных слоев и зародыша, содержащего много жира, повышается стойкость крупы при хранении. Шлифованная крупа быстрее варится, увеличивается ее привар.

Процесс шлифования заключается в постепенном истирании наружных частей ядра в результате интенсивного трения его об абразивную или другую острошероховатую поверхность, а также взаимного трения ядер. В процессе шлифования ядра испытывают большие нагрузки, что приводит к неизбежному дроблению некоторых из них. Так, при шлифовании рисового ядра образуется основное количество дробленки. Поэтому от технического состояния машин, их правильного регулирования, использования оптимальных режимов работы зависит эффективность процесса.

На рисунке 13 показана машина для шлифования и полирования риса, применяемая в СССР и Японии.

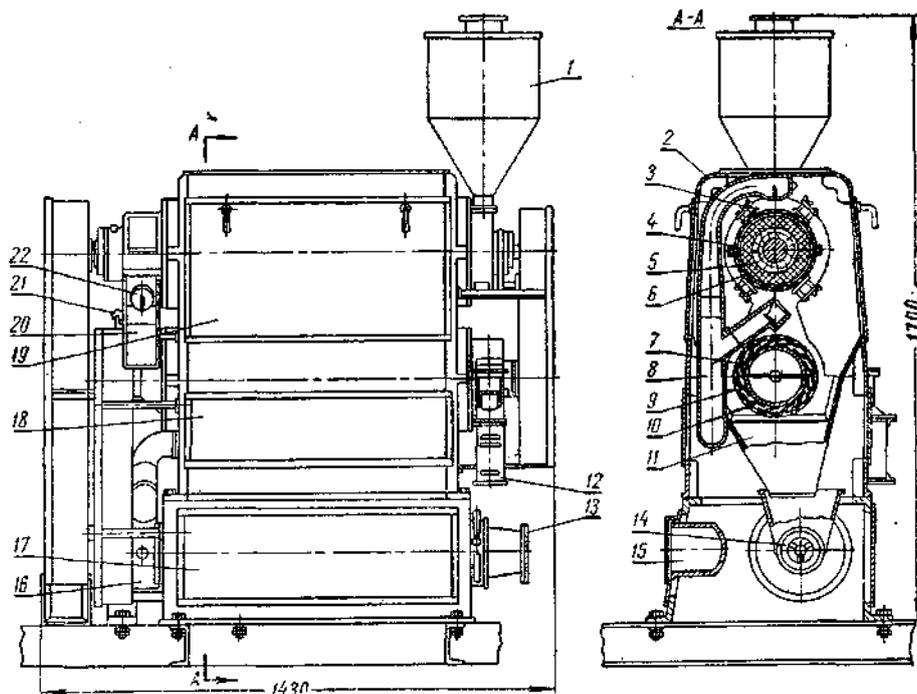


Рис. 13. Машина для шлифования и полирования риса.

Машина состоит из разъемной чугунной станины 2, приемного бункера 1, шлифовальной секции 19, полировальной секции 18 и основания 17.

Шлифовальная секция расположена в верхней части машины. Она состоит из абразивного барабана 5 и разъемной цилиндрической ситовой обечайки 4 (сито с продольными пробивными отверстиями по образующей цилиндра). Абразивный барабан со стороны поступления продукта выполнен в виде шнека (около двух витков). На внутренней поверхности ситовой обечайки имеется 40 стальных гонков 6, которые могут поворачиваться на  $90^\circ$  ( $1,57 \text{ рад}$ ) при помощи рукояток 3.

Полировальная секция состоит из стального барабана 7, на поверхности которого укреплено 48 кожаных бичей 9, и цилиндрической ситовой обечайки 10.

Приемная часть барабана выполнена в виде шнека (около пяти витков). Ситовая обечайка имеет продольные отверстия, расположенные под углом  $20^\circ$  ( $0,35 \text{ рад}$ ) к образующей.

Внутри чугунного основания машины расположены выпускной бункер 11 и шнек-ворошитель 14 для сбора и удаления выделившейся в машине мучки. Выходной патрубок 13 ворошителя присоединяется к аспирационной сети предприятия.

В месте выхода продукта из шлифовальной секции имеется выпускной лоток 20 с грузовым клапаном 22 для регулирования времени пребывания продукта в шлифовальной секции и переходной клапан с рукояткой 21 для направления шлифованного продукта в полировальную секцию.

Выход продукта из полировальной секции регулируется клапаном, фиксируемым гайкой. Полированный продукт выпускается через аспирационную колонку 12. В нижней торцовой части машины находится вентилятор 16 для обдувки ситовых обечаяк шлифовальной и полировальной секций.

Воздух поступает снаружи через патрубки 15 и подводится к обечайкам воздухопроводами 8, расположенными внутри машины.

Исходный продукт через приемный бункер попадает в шлифовальную секцию. Здесь он захватывается шнеком и подается в рабочую зону, где между вращающейся абразивной поверхностью и ситовой обечайкой шлифуется.

Изменяя положение стальных гонков, можно установить оптимальное время пребывания продукта в шлифовальной секции. Шлифованный продукт может быть выведен наружу или направлен в полировальную секцию. В этой секции крупа захватывается шнеком и подается в рабочую зону, где, проходя между вращающимися кожаными бичами и ситовой обечайкой, полируется.

Полированный продукт высыпается наружу через аспирационную колонку.

Мучка, образованная в процессе шлифования и полирования, сдувается с внутренних ситовых поверхностей машины и через выпускной бункер попадает в шнек-ворошитель, откуда удаляется в аспирационную сеть предприятия. Производительность в т/ч..... 1,2

Для шлифования крупы применяют шелушильно-шлифовальные машины А1-ЗШН-3 и вальцедековые станки (для пшена). Однако наибольшее

распространение получили специальные шлифовальные машины. Эти машины применяют в основном для шлифования рисового и овсяного ядра. К специальным машинам относят шлифовальные поставы РС-125 либо шлифовальные машины А1-БШМ.

Рабочие органы шлифовального постава представляют собой вращающийся на вертикальном валу конический барабан, покрытый сверху абразивной массой, и неподвижную ситовую, также коническую обечайку (рис. 6). Ядро находится в рабочей зоне между барабаном и обечайкой, постоянно перемещается сверху вниз, соприкасается с движущейся абразивной поверхностью, которая обрабатывает ядро со всех сторон. Для повышения эффективности шлифования вдоль образующей ситовой обечайки сделаны продольные пазы, в которые входят распределительные колодки, выполненные из пищевой резины. Их назначение — задерживать продукт, предотвращать его круговое движение вместе с барабаном.

Эффективность шлифования можно регулировать поднятием или опусканием барабана, что увеличивает или уменьшает зазор между барабаном и обечайкой, а также положением резиновых колодок, которые могут приближаться и отодвигаться от абразивного барабана. Недостатки шлифовальных машин: их большие габариты, сложность обслуживания и ремонта, невысокая производительность, образование значительного количества битого ядра.

Более производительной и компактной считают шлифовальную машину А1-БШМ-2,5 (рис.14). Ее рабочими органами являются два горизонтальных вала, набранных из отдельных корундовых колец, и ситовая обечайка, состоящая из двух разъемных полуцилиндров. С внутренней стороны верхнего полуцилиндра обечайки крепятся под углом небольшие пластины — гонки, которые способствуют перемещению продукта от приема к выходу.

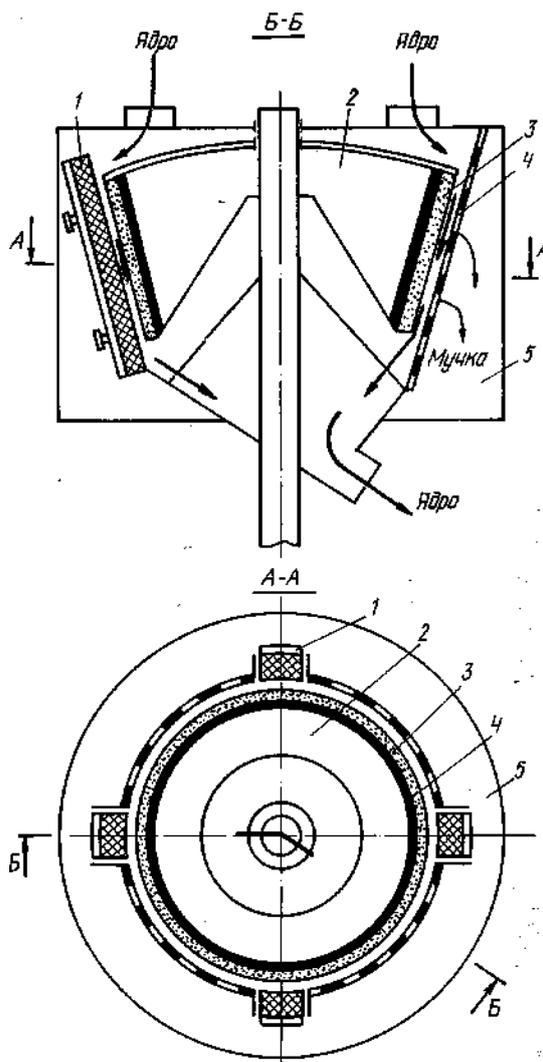


Рис. 13. Схема шлифовального постава.

- 1 — резиновая колодка; 2 — шлифовальный конус;  
 3 — абразивная рабочая часть конуса; 4 — ситовая обечайка;  
 5 — корпус

Подача продукта в рабочую зону производится шнеком, на выходе продукт задерживается грузовым

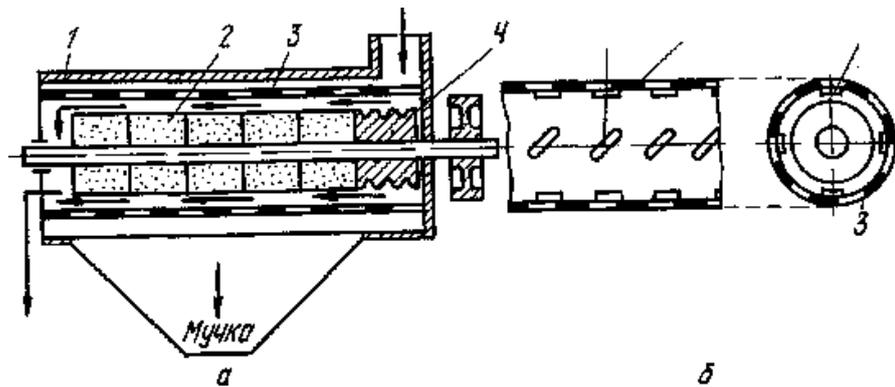


Рис. 14. Схема шлифовальной машины А1-БШМ-2,5.

а — схема; б — схема ситового цилиндра с гонками;

1 — корпус; 2 — абразивные кольца; 3 — ситовая обечайка;

4 — шнек для приема продукта; 5 — гонки

клапаном, перекрывающим выходное кольцевое отверстие. Усиливая или ослабляя прижим клапана, регулируют эффективность шлифования.

К сожалению, кроме достоинств, о которых говорилось выше, машина имеет и крупный недостаток: по сравнению с машиной РС-125 машина А1-БШМ-2,5 в большей степени дробит ядро.

Машины типа ЗШН предназначены в основном для шлифования и полирования дробленой крупы — перловой, ячневой, пшеничной, кукурузной, а также гороха. Важность этой операции, особенно для рисовой крупы (при шлифовании образуется до 10...15 % дробленки), заставляет зарубежные фирмы и российских исследователей искать новые способы и средства для шлифования ядра.

Степень шлифования может оцениваться изменением зольности крупы, а также ее белизной. Однако определение зольности — анализ длительный и трудоемкий, а оптические свойства крупы часто не коррелируют с качеством крупы. Эти свойства зависят и от исходной характеристики зерна. Кроме того, воспроизводимость показаний приборов невелика из-за разной укладки крупы в кювете и т. д., а сами приборы недостаточно надежны.

В результате шлифования изменяется химический состав крупы, в крупе снижается содержание белка, витаминов, минеральных веществ. В то же время

повышается содержание крахмала. Снижение биологической ценности крупы компенсируется лучшей усвояемостью крупы в результате удаления оболочек, не усваиваемых организмом человека.

**Полирование крупы.** Кроме шлифования, крупу также и полируют. Полирование улучшает в основном внешний вид крупы. При полировании с поверхности ядра удаляется мучка, оставшаяся после шлифования, заглаживаются царапины, крупа становится более светлой и яркой.

Для полирования применяют те же шлифовальные машины, в которых используют более мелкий абразивный материал.

### **Новые машины для шелушения и шлифования крупяных культур**

Применяемые в крупяной промышленности шелушильные машины имеют ряд существенных недостатков принципиального характера: повышенный коэффициент дробления ядра, невысокий коэффициент шелушения, значительный износ рабочих органов машины, металлоемкость и громоздкость.

ВНИЭКИПродмаш исследовал возможность использования струи воздушного потока, движущегося с критической либо сверхкритической скоростью при оптимальных технологических, кинематических и энергетических параметрах. При конструировании установки была использована известная возможность превращения энергии электродвигателя в потенциальную энергию сжатого воздуха.

Аэрошелушильная установка (рис. 15) состоит из конусного бункера 2, центрально расположенной внутри бункера трубки с соплом /, собственно сопла 3, трубки смешения сжатого воздуха с исходным сырьем (зерном) 4, отводящей резиновой трубки 5, центробежного разгрузителя 6, компрессора с ресивером 7 и резинового шланга 8, подводящего сжатый воздух от компрессора к трубке с соплом.

Физическая сущность процесса шелушения в установке представляется следующим образом. Струя воздушного потока, движущаяся с критической (звуковой) либо сверхзвуковой скоростью, увлекает непрерывно поступающее в конусную емкость зерно и транспортирует его в трубку смешения (насадку). Зерно, попадая в трубку смешения малого (по сравнению с размерами зерна) сечения, испытывает в результате трения о стенки трубки тормозящее действие. Воздушная струя, истекающая из сопла со сверхзвуковой скоростью, контактируется с шероховатой поверхностью оболочек зерновки.

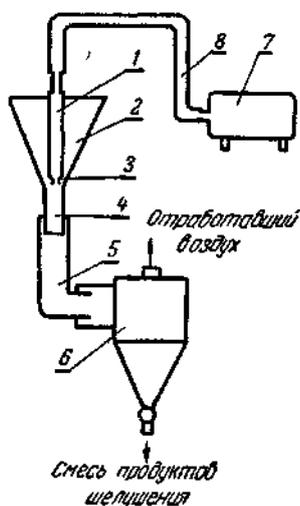


Рис. 15. Принципиальная схема аэрошелушительной установки.

Благодаря разности скоростей зерновки и струи воздушного потока в трубке смешения на поверхности оболочек зерновок возникают тангенциальные (касательные) силы, которые разрушают связи как между наружными покровами зерновки, так и самим ядром — зерно шелушится. Смесь шелушенных и нешелушенных зерен вместе с потоком воздуха, вылетая из трубки смешения, поступает через отводящую резиновую трубку в осаждающий центробежный разгрузитель.

В аэрошелушительной установке применены сопло для ускорения воздушной струи до звуковых либо сверхзвуковых скоростей, цилиндрическая трубка смешения (насадка), которые рассчитываются методами, основанными на теории струйных аппаратов и прикладной аэродинамики. Для расчета скорости

истечения воздуха из сопла в зависимости от перепада давления  $P/P_0$  применена известная из газодинамики формула Сен-Венана.

Скорость истечения воздуха из сопла определяется по формуле:

$$V = \varphi \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \frac{P_0}{\rho_0} \left[ 1 - \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \text{ м/с (6)}$$

где:  $k$  — показатель адиабаты (для воздуха  $k=1,4$ );  
 $P_0$  — давление воздуха перед соплом в  $\text{кГ/м}^2$  ( $\text{н/м}^2$ );  
 $\rho_0$  — плотность воздуха перед соплом в  $\text{кГ} \cdot \text{сек}^2/\text{м}^4$  ( $\text{кг/м}^3$ );  
 $P$  — давление в выходном сечении сопла в  $\text{кГ/м}^2$  ( $\text{н/м}^2$ );  
 $\varphi$  — коэффициент скорости сопла (0,95—0,97).

Расход сжатого воздуха через сверхзвуковое сопло определяется по формуле:

$$G = c F_{KP} * \sqrt{P_0 * \rho_0} \quad (7)$$

где  $F_{KP}$  — критическое сечение сопла в  $\text{м}^2$ ;

$$c = \sqrt{k * \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (8)$$

Для воздуха  $c = 2,14$ .

По заданным параметрам воздуха перед соплом и расходу воздуха определяется критическое сечение сопла по формуле:

$$F_{KP} = \frac{G}{c \sqrt{P_0 * \rho_0}} \quad (9)$$

Входное сечение сопла определяется по формуле:

$$F_{BX} = \frac{G}{\rho_0 * V_1} \quad (10)$$

где  $V_1$  — скорость воздуха во входном сечении сопла. Можно принимать  $V_1=25...35 \text{ м/с}$ .

Выходное сечение сверхзвукового сопла определяется по формуле:

$$F_{\text{ВЫХ}} = \frac{e * F_{\text{КР}}}{\left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{1}{k}} * \sqrt{1 - \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}}}, \quad (11)$$

$$e = \sqrt{\frac{k-1}{2} * \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

Для воздуха  $e = 0,258$ .

Схема опытной аэрошелушильной установки полупромышленного типа с проектной пропускной способностью 1,2—1,5 т/ч представлена на рис. 16. В аэрошелушильной установке полупромышленного типа принципиально сохранена схема исследованной установки. Для обеспечения заданной производительности увеличено число сопел 7. В установке сопла соединяются с коллектором 5. С помощью отводящих резиновых трубок 8 продукты шелушения направляются в осаждающий циклон 10, снабженный вентилятором 9. Вентилятор обеспечивает отбор части лузги из продуктов шелушения. С помощью шлюзового затвора 11 продукты шелушения направляются на аспирационную колонку 12, где окончательно удаляется лузга. Сжатый воздух в коллектор подается через штуцер 6.

Продукт в шелушильную камеру 1 подается через патрубок 2 из приемного бункера 3. Приемный бункер с помощью раструба 4 позволяет оперативно использовать установку, смонтированную на станине 13.

На экспериментальной установке были также проведены поисковые работы по шелушению масличных культур, давшие положительные результаты.

Исследования показали, что применение аэрошелушильной установки для шелушения зерна крупяных и масличных культур повышает коэффициент использования зерна. Этот способ шелушения экономичен, так как резко сокращается технологический цикл, уменьшается количество технологических машин. Установка универсальна — на ней можно

перерабатывать несколько видов сырья. Кроме того, ее можно использовать для шлифования крупы и ряда других видов продуктов.

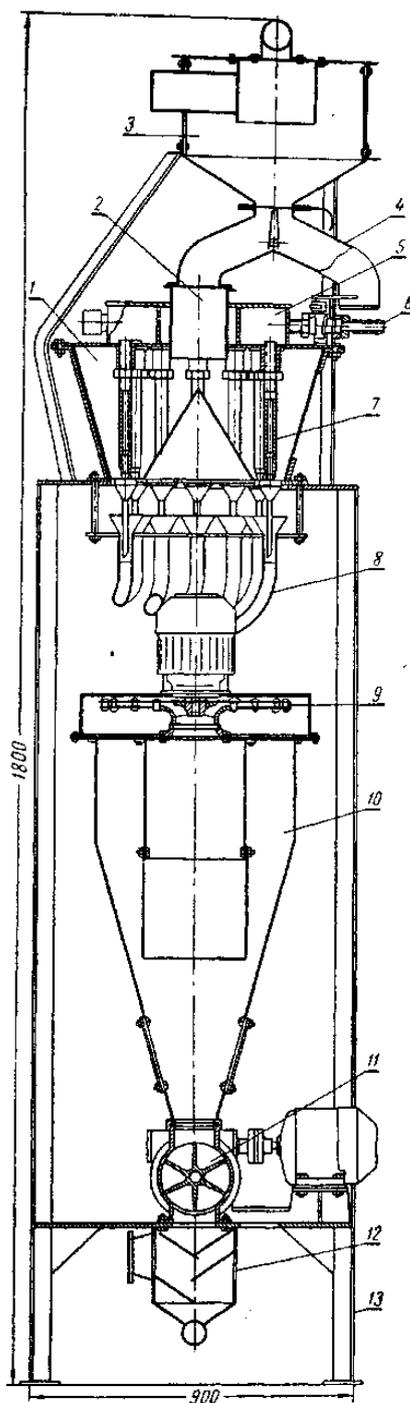


Рис. 16. Полупромышленная аэрошелушительная установка.

## Лекция 16. -2ч.

Машины для сортирования продуктов шелушения зерна.

Назначение, область применения и классификация крупноотделительных машин. Конструкция, принцип действия и устройство для регулирования режима технологического процесса.

Теоретические основы процесса сортирования зерна в пади-машине»  
Устройство и основные элементы пади-машин.

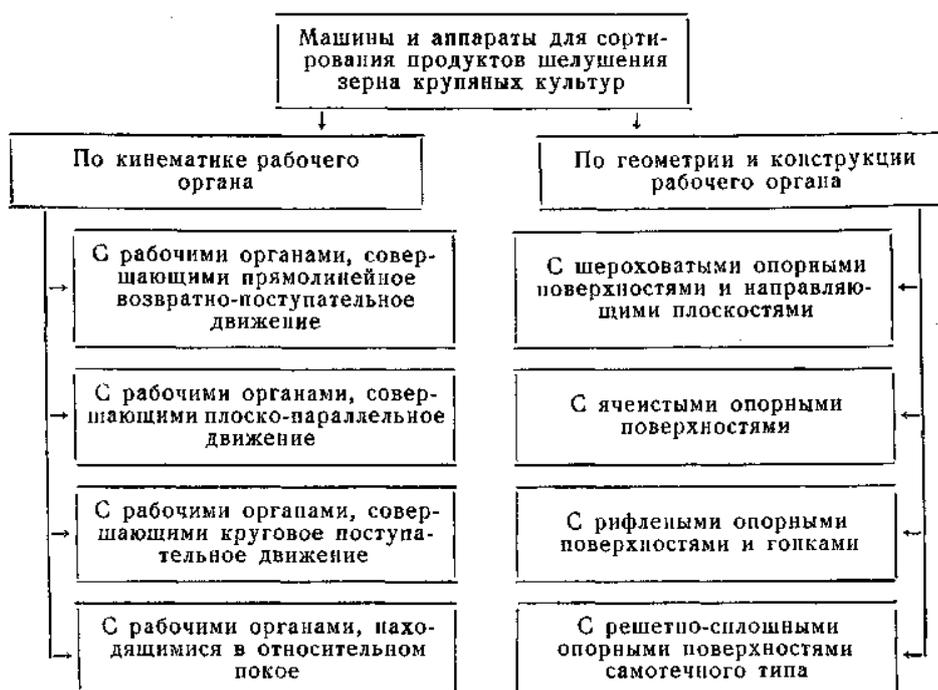
### Назначение и область применения

На разных стадиях процесса переработки пленчатых культур в крупу необходимо разделять продукты шелушения на две фракции, одна из которых содержала бы главным образом шелушенные зерна, а другая фракция — нешелушенные зерна. Для этого применяют машины, сортирующие смесь на фракции, отличающиеся между собой совокупностью различных свойств и признаков зерен (коэффициентом трения, плотностью, формой, размерами и упругостью).

Аналогичные машины могут быть использованы для выделения из зерновой смеси примесей: камней и металлических частиц, ржаного костра и рожков спорыньи, семян сорных растений и поврежденных зерен.

### Классификация машин

Ниже приведена классификация машин для сортирования продуктов шелушения зерна крупяных культур.



## **Машины с рабочими органами, совершающими прямолинейное возвратно-поступательное движение**

На этом принципе основана работа машин с отражательными плоскостями падающих машин.

Машина (рис. 1) устроена следующим образом. К сортирующему столу 1 перпендикулярно к поверхности прикреплены стенки 2 зигзагообразной формы из листовой стали. Они образуют каналы 3 и 4, по которым движется продукт. Сортирующий стол получает прямолинейное возвратно-поступательное движение в направлении, указанном стрелкой.

Более плотные частицы *a* (рис. 1,б) с большим коэффициентом трения и меньшей упругостью перемещаются вниз, не приходя в соприкосновение с рабочими участками зигзагообразного канала. Менее плотные частицы *б* с меньшим коэффициентом трения и большей упругостью, чем частицы *a*, контактируют с рабочими участками канала и перемещаются вдоль них вверх.

В отдельных случаях сортирования семенных смесей, содержащих шарообразные и эллипсоидообразные зерна большой упругости (горох, соя), последние перемещаются вверх, отражаясь от рабочих участков зигзагообразных стенок канала (рис. 1, в).

Устанавливая сортирующие столы под соответствующим углом наклона к горизонту, можно добиться разделения исходного материала на две фракции. Угол наклона сортирующего стола к горизонту регулируется специальным механизмом.

Основным признаком, по которому смесь разделяется на рабочих участках канала на две фракции, является различие между коэффициентами трения сортируемых частиц.

На процесс разделения влияет также различие формы, размеров, упругих свойств и плотности частиц.

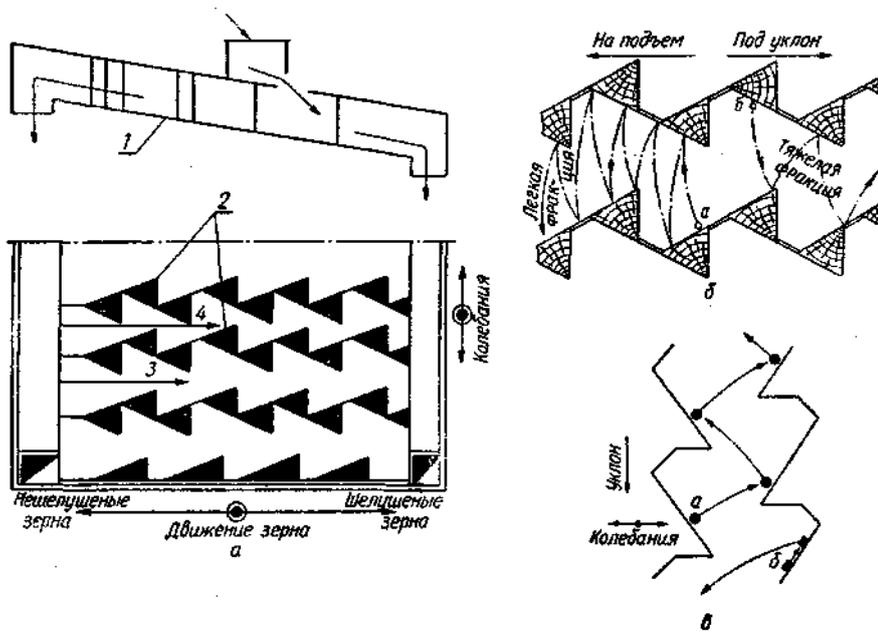


Рис. 1, Принцип действия падди-машины:

а — схема сортирующего стола; б — фрикционная схема движения зерна; в — ударная схема движения зерна.

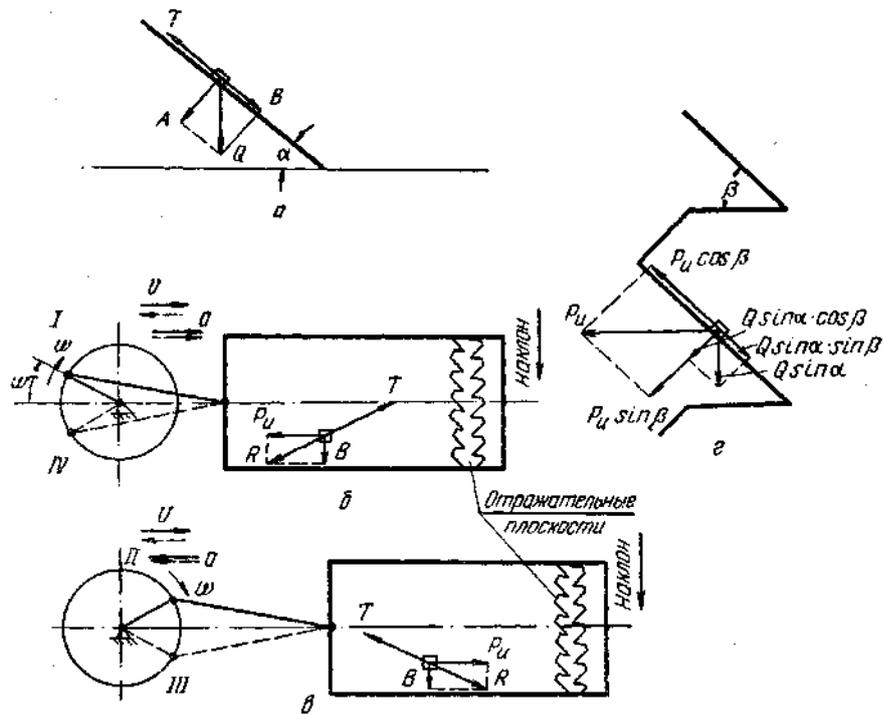


Рис. 2. Условия движения частицы, находящейся в канале падди-машины:

а — схема действия сил на наклонной плоскости дна стола; б — план сортирующего стола при положении кривошипа в I и IV квадрантах; в — план сортирующего стола при положении во II и III квадрантах; г — отражательные зигзагообразные стенки на сортирующем столе.

Решающее значение для эффективности разделения смеси имеет и ее самосортирование, которое происходит при прямолинейно возвратном поступательном движении канала. Нешелушенные зерна, как более легкие, крупные, упругие и гладкие, попадают в верхние, а шелушенные — в нижние слои. В результате создается большая свобода перемещения для нешелушенных зерен и образуются дополнительные связи для шелушенных. Поэтому на процесс разделения оказывают влияние соотношение шелушенных и нешелушенных частиц смеси, а также толщина слоя разделяемого продукта на днище сортировального стола.

Теоретически процесс разделения зерновой смеси на части, различающиеся коэффициентом трения зерен, можно объяснить при рассмотрении движения одного зерна в канале.

Так как угол наклона днища канала (опорной поверхности сортирующего стола)  $\alpha > 0$  (рис. 2, а), то силу тяжести частицы можно разложить на две составляющие:

$$A = Q \cos \alpha \text{ и } B = Q \sin \alpha.$$

Направление силы инерции  $P_{II}$  соответствует положению кривошипа в I и IV квадрантах или во II и III квадрантах. Сила инерции

$$P_{II} = \frac{Q}{g} \omega^2 r \cos \omega t$$

где  $\omega t$  — текущее значение угла поворота кривошипа, отсчитываемого от левого мертвого положения механизма.

Сила инерции направлена параллельно поверхности стола, в связи с чем нормальное давление  $A = Q \cos \alpha$  постоянно.

Сила трения частиц о поверхность стола постоянна и равна:

$$T = fA = fQ \cos \alpha,$$

где  $f$  — коэффициент трения скольжения частицы об опорную поверхность стола.

Относительное движение частицы по опорной поверхности стола начнется, когда совместное действие сил  $P_{II}$  и  $B$  преодолет действие силы  $T$ . Силы  $B$  и  $P_{II}$  всегда расположены под прямым углом, поэтому равнодействующая

$$R = \sqrt{P_{II}^2 + B^2}$$

Так как сила  $P_{II}$  переменная по величине и направлению, то и  $R$  является переменной. Сила трения  $T$  всегда противоположна  $R$ .

На плоской поверхности стола продукт начнет скольжение при условии, если

$$R > T.$$

При наличии на поверхности стола направляющих зигзагообразных стенок (рис. 2, з) возникают добавочные силы трения частиц об эти стенки.

Число оборотов вала приводного механизма сортирующего стола, когда частица будет перемещаться вверх, а кривошип находится в мертвых точках, можно определить из дифференциального уравнения:

$$m \frac{dv}{dt} = P_{II} \cos \beta - Q \sin \alpha \sin \beta - [P_{II} \sin \beta + Q \sin \alpha \cos \beta] * f_1 - Qf \cos \alpha, \quad (1)$$

где  $f_1$  — коэффициент трения скольжения частицы о боковую стенку канала. После преобразования

$$m \frac{dv}{dt} P_{II} (\cos \beta - f_1 \sin \beta) - Q \sin \alpha (\sin \beta + f_1 \cos \beta) - fQ \cos \alpha. \quad (2)$$

Заменив  $f_1$  на  $\operatorname{tg} \varphi_1$  легко убедиться, что левая часть равенства будет положительной при условии, если

$$P_{II} \frac{\cos(\beta + \varphi_1)}{\cos \varphi_1} > Q \sin \alpha \frac{\sin(\beta + \varphi_1)}{\cos \varphi_1} + fQ \cos \alpha \quad (3)$$

где  $\varphi_1$  — угол трения частицы о боковую стенку канала. Таким образом,

$$P_{II} > Q \left[ \frac{\sin \alpha \sin(\beta + \varphi_1) + f \cos \alpha \cos \varphi_1}{\cos(\beta + \varphi_1)} \right] \quad (4)$$

Поскольку в мертвом положении кривошипа

$$P_{И\max} = \frac{Q}{g} * \omega^2 r$$

где:  $\omega$  — угловая скорость кривошипа в  $\text{сек}^{-1}$ ;

$r$  — радиус кривошипа в  $m$ ;

$g$  — ускорение силы тяжести в  $m/\text{сек}^2$ , то

$$\frac{Q}{g} \omega^2 r > Q \left[ \frac{\sin \alpha \sin(\beta + \varphi_1) + f \cos \alpha \cos \varphi_1}{\cos(\beta + \varphi_1)} \right]$$

Сокращая обе части равенства и принимая  $\pi^2 = g$  и  $\omega = \frac{\pi n}{30}$ , находим:

$$n > 30 \sqrt{\frac{\sin \alpha \sin(\beta + \varphi_1) + f \cos \alpha \cos \varphi_1}{r \cos(\beta + \varphi_1)}} \quad (5)$$

При полученном значении  $n$  все частицы смеси перемещаются вверх по сортирующему столу. Поэтому фактическое число оборотов вала на практике принимают равным 0,5—0,7 от полученного значения. Установлено, что  $\omega^2 r$  находится в пределах 9—12  $m/\text{сек}^2$  и выбирается в зависимости от физико-механических свойств смеси и ее компонентов.

Опыт показывает, что в моменты контакта зерна и рабочих участков канала частицы, подлежащие направлению вверх, отделяются от опорной поверхности, в связи с чем сила  $fG \cos \alpha$  к ним не приложена. В этом случае неравенство (5) принимает следующий вид:

$$n > 30 \sqrt{\frac{\sin \alpha}{r} \text{tg}(\beta + \varphi_1)} \quad \text{об/мин.}$$

Согласно схеме, изображенной на рисунке 2,  $z$ , контакт частицы и направляющей плоскости нарушается в момент, когда вступает в силу уравнение

$$Q \sin \alpha \cos \beta + \frac{Q}{g} \omega^2 r \sin \beta \cos \omega t' = 0, \quad (6)$$

где:  $\omega t'$  — угол поворота кривошипа, соответствующий продолжительности контакта  $t'$ .

Решая уравнение (6) относительно  $\omega t'$ , получим:

$$\cos[\pi - \omega t'] = \frac{g \sin \alpha}{\omega^2 r \operatorname{tg} \beta} \quad (7)$$

откуда продолжительность контакта

$$t' = \frac{1}{\omega} \left[ \pi - \arccos \left( \frac{g \sin \alpha}{\omega^2 r \operatorname{tg} \beta} \right) \right] \quad (8)$$

Полученные уравнения свидетельствуют о том, что продолжительность контакта есть функция многих переменных. С увеличением частоты колебаний сортирующего стола продолжительность контакта уменьшается и качество разделения ухудшается. Это положение полностью подтверждается практикой.

Цикл работы падди-машины имеет четыре интервала движения зерновой смеси. В интервалах, определяемых углом поворота кривошипа  $\omega t'$  и продолжительностью контакта  $t'$ , движение зерновой смеси проходит по траекториям (прямым) относительного движения, представляющим собой пересечения наклонной опорной поверхности стола и направляющих плоскостей стенок.

В двух других интервалах движения зерновая смесь проходит по траекториям (кривым) относительного движения на опорной поверхности стола, определяемого углом поворота кривошипа

$$\omega t'' = \pi - \omega t'$$

и продолжительностью отсутствия контакта  $t''$ . С учетом формул (7) и (8)

$$\omega t'' = \arccos \frac{g \sin \alpha}{\omega^2 r \operatorname{tg} \beta} \quad (9)$$

и, следовательно,

$$t'' = \frac{1}{\omega} \arccos \left( \frac{g \sin \alpha}{\omega^2 r \operatorname{tg} \beta} \right) \quad (10)$$

Сумма  $t'$  и  $t''$  равна продолжительности полуцикла работы падди-машины, т. е.  $30/n$ .

Одинарная падди-машина состоит из следующих основных частей (рис. 3): приемного устройства 2, распределяющего продукт

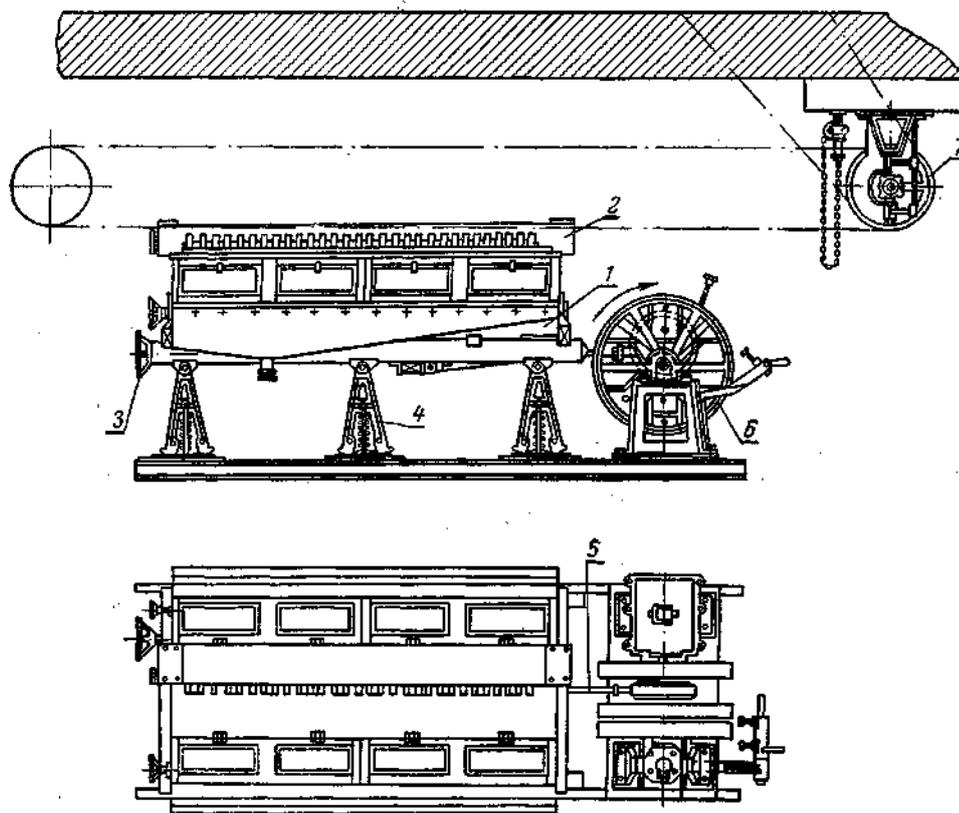


Рис. 3. Устройство одинарной падди-машины.

равномерным слоем по всей длине машины; корпуса 1, в котором находятся 30 каналов с зигзагообразными направляющими плоскостями. Каналы расположены на трех сортирующих столах по 10 в каждом; на второй стол продукт поступает через отверстия первого, а на третий — через отверстия первого и второго сортирующих столов; механизма 3 для изменения и фиксирования наклона корпуса по отношению к горизонтальной оси; стойки 4 с компенсаторами, шарнирно соединяющими корпус с основанием станины; приводного механизма 6, который эксцентриками и тягами 5 приводит в возвратно-поступательное движение корпус машины.

Вспомогательная трансмиссия 7 имеет один или два шкива, в зависимости от количества машин, которые она приводит в движение. На вспомогательной, а

также сопряженной с ней трансмиссиях установлены конические шкивы. Вращение от главной трансмиссии на вспомогательную передается плоским ремнем, надетым на конические шкивы, что позволяет регулировать скорость движения корпуса машины.

Для нормальной работы падди-машины необходимо: непрерывное поступление продукта одинаковым слоем во все каналы машины; плотное прилегание направляющих стенок к опорной поверхности сортирующего стола. Поверхность сортирующего стола и всех направляющих стенок должна быть плоской, без следов коррозии или других изъянов; не допускается перекося корпуса стола, так как это вызывает накопление продукта у стенок каналов (правых или левых), а также нарушение установленного кинематического режима машины.

Технологический процесс в падди-машине регулируется уменьшением или увеличением наклона корпуса по отношению к горизонтальной оси и частотой колебаний. Продукт, полученный сходом в нижней части машины, должен состоять только из шелушенных зерен. Продукт, полученный в верхней части машины и содержащий главным образом нешелушенные зерна, направляют на повторную обработку в шелушильные машины.

### **Машины с рабочими органами, совершающими плоско-параллельное движение**

На рисунке 4, а показан трехъярусный крупоотделитель БКО производительностью 1,5 т/ч для разделения промежуточных продуктов шелушения и риса. Такие машины в настоящее время применяются у нас и в Японии.

Машина состоит из рамы 12, на которой установлены приводной вал // с эксцентриковым механизмом 15, три яруса наклонных сортирующих столов 5, связанных системой рычагов с эксцентриковым механизмом и механизмом для изменения угла наклона в поперечном направлении.

Столы наклонены как в продольном, так и в поперечном направлении и получают возвратно-поступательное движение от эксцентрикового механизма.

Механизм изменения угла наклона столов состоит из вала 14 с правой и левой резьбой по концам и двух наклонных рычагов 3. Он приводится в движение вручную посредством колеса 2 и червячной передачи 13.

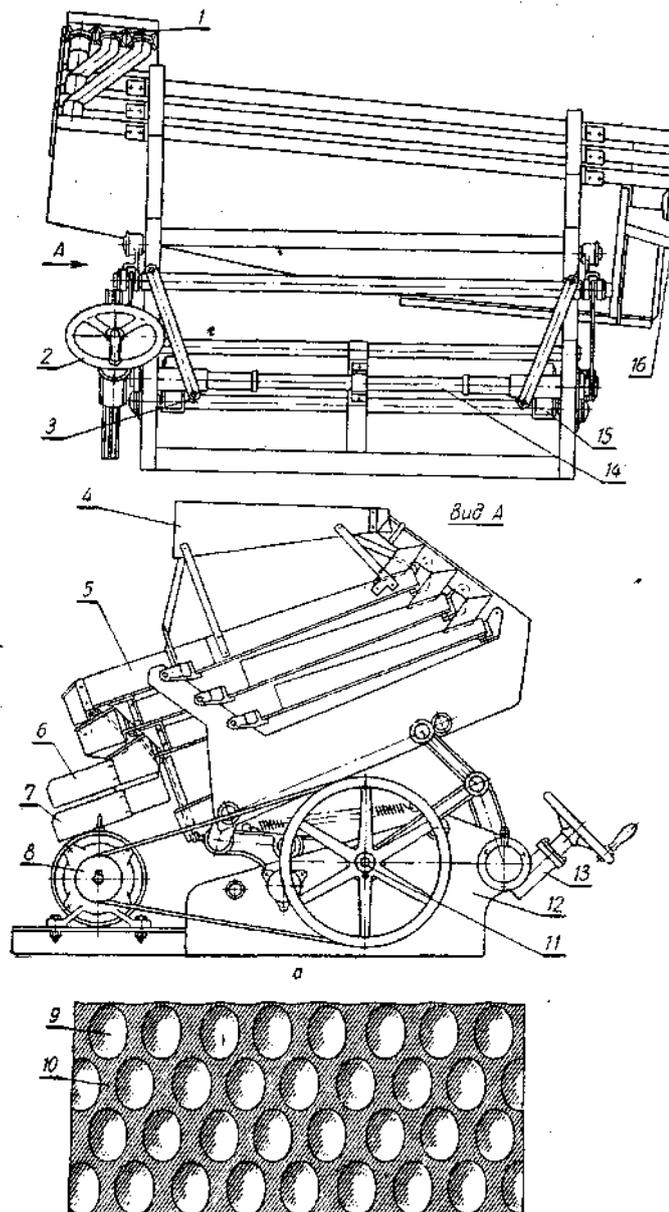


Рис. 4. Трехъярусный крупоотделитель производительностью 1,5 т/ч.

На раме установлен также электродвигатель 8, передающий вращение приводному валу клиноременной передачей. Дно сортирующих столов выполнено из листовой стали, на которой выштампованы ячейки 9 глубиной 0,5 мм (рис. 4, б). Расстояние между ребрами 10 ячеек — 6,5 мм. Так образована ячеистая поверхность дна, необходимая для выделения из смеси шелушенных зерен.

Над верхним столом расположен приемник зерна 4 с распределительным устройством /, которое делит зерновую смесь на три равных части и направляет их на три сортировальных стола.

Основным признаком, по которому исходный продукт разделяется на отдельные фракции, является различие между коэффициентами трения шелушенных и нешелушенных зерен об ячеистую поверхность дна сортирующего стола и их плотностью.

Большое значение для разделения смеси имеет самосортирование, которое происходит при возвратно-поступательном движении стола. Нешелушенные зерна, как более легкие, крупные, упругие, попадают в верхние слои, а шелушенные — в нижние.

Таким образом в данной конструкции, как и в падди-машине, создается большая свобода перемещения для нешелушенных зерен и возникают дополнительные связи для шелушенных зерен, так как они приходят в соприкосновение с ячеистой поверхностью дна стола.

Шелушенные зерна перемещаются только вдоль машины, потому что они не в состоянии преодолеть сопротивлений ребер ячеек стола и удаляются через лоток 1б, а нешелушенные скатываются вниз и удаляются через лоток б. Смесь шелушенных и нешелушенных зерен удаляется через лоток 7.

Оптимальный режим машины устанавливается регулированием частоты колебаний и угла наклона сортирующих столов в зависимости от физико-механических свойств исходного продукта.

Недостатком машины является ее динамическая неуравновешенность.

## Машины с рабочими органами, совершающими круговое поступательное движение

Для разделения продуктов переработки овса и риса, получаемых после прохождения через шелушильные машины и последующего отбора мучки и лузги, используют крупотделитель Беспалова.

Машина представляет собой два корпуса, состоящих из рам, разделенных на пять каналов; двух питающих устройств для равномерной подачи потоков исходного продукта в каждый корпус; приводного механизма с промежуточными трансмиссиями и устройством для регулирования числа колебаний корпусов.

Каждый корпус машины (рис. 5) состоит из верхней рамы 1 с 15 приемными патрубками, девяти рам 2—10 с рабочими каналами и нижней рамы 11 с патрубками для выпуска из машины рассортированных продуктов.

Каждый рабочий канал (рис. 6, а) в крупотделителе Беспалова образуется двумя продольными планками (стенками) 7 и имеет уступообразное днище, состоящее из: продольной горизонтальной части, образованной отражающей стенкой 8, перегнутым рифленным полудном 9 и гладким дном 10; порога 3; продольной наклонной части, образованной рифленным дном 11 и ограниченной вдоль левого борта отражающей стенкой.

Над частью дна 4 по правому борту расположены гонки 6. Нижние их кромки плотно прилегают к гладкой части дна. Вдоль того же борта над площадками рифленой наклонной части дна 10 расположены гонки 5.

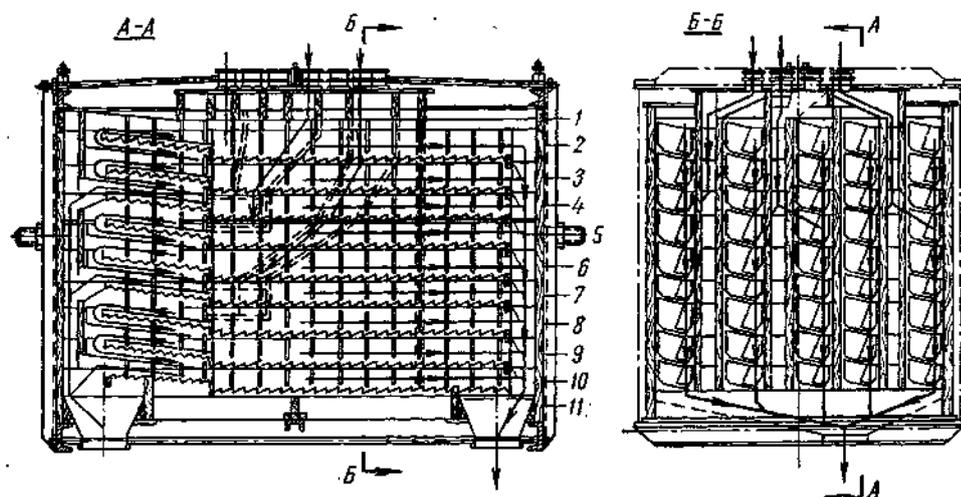


Рис. 5. Корпус крупотделителя.

Продукт поступает непрерывным потоком через приемное отверстие 2 и, ударяясь об отражательную стенку, отскакивает в полосу активного действия гонков 6.

Под влиянием кругового поступательного движения корпусов продукт самосортируется. При этом легкие компоненты с гладкой поверхностью (нешелушенные зерна) всплывают, а тяжелые с шероховатой поверхностью (шелушенные зерна) опускаются. Верхние слои продуктов из нешелушенных зерен, обладающих меньшим коэффициентом трения, легко преодолевают уклон порога 3 и дна 11. Все эти частицы перемещаются от стенки к гонкам, которыми они подаются вдоль канала влево. Нижние слои продуктов, состоящих из шелушенных зерен, обладающих большим коэффициентом трения, под воздействием отражающей стенки 8 и рабочих поверхностей гонков 6 не меняют траектории своего движения. Отталкиваясь от отражающей стенки, эти частицы преодолевают уклон и пересеченность дна, не доходят до зоны интенсивного воздействия гонков и постепенно смещаются вдоль канала вправо.

Процесс разделения смеси на две фракции при круговом поступательном движении зависит главным образом от наклона дна 11, числа и амплитуды колебаний. Поэтому для наилучшего разделения смеси различных продуктов экспериментальным путем подбирают соответствующий бортовой наклон и число колебаний при постоянной амплитуде.

Три рабочих канала, расположенных один над другим, образуют группу 1, причем приемным служит верхний канал, а два нижележащих 4 последовательно обрабатывают верхний сход.

Верхний сход удаляется через левый вертикальный канал, а через правый выводится нижний сход.

В каждом корпусе имеется девять рам. Каждая из них разделена на пять каналов. Всего таким образом корпус разделен на 45 каналов. Так как

группа, обрабатывающая один поток, состоит из трех каналов<sup>^</sup> то питающий механизм направляет в каждый корпус 15 потоков исходного материала.

При движении материальной частицы по наклонной плоскости  $AB$  вверх под действием горизонтально приложенной силы  $P$  (рис. 6, б) минимальное значение этой силы определяется из следующего уравнения:

$$P \cos \alpha = G \sin \alpha + fG \cos \alpha - fP \sin \alpha.$$

Учитывая, что  $f = \operatorname{tg} \varphi$  и  $G = mg$

$$P \left( \cos \alpha - \sin \alpha \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \right) = mg \left( \sin \alpha + \cos \alpha \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \right)$$

то после несложных преобразований

$$P = mgtg(\alpha + \varphi)$$

В крупоотделителе Беспалова сила  $P$  является силой инерции, равной  $m\omega^2 r_a$ , где  $r_a$  — радиус абсолютной траектории движения частицы (на рисунке не показан). Поэтому

$$m\omega^2 r_a = mgtg(\alpha + \varphi)$$

откуда

$$r_a = \frac{g}{\omega^2} tg(\alpha + \varphi) \quad (11)$$

Радиус абсолютной траектории движения частицы  $r_a$  связан с радиусом относительной траектории  $r_0$  и радиусом  $\rho$  (на рисунке не показан), описываемым каждой точкой горизонтальной поверхности при ее круговом поступательном движении, следующим соотношением:

$$r_a^2 = \rho^2 - r_0^2 \quad (12)$$

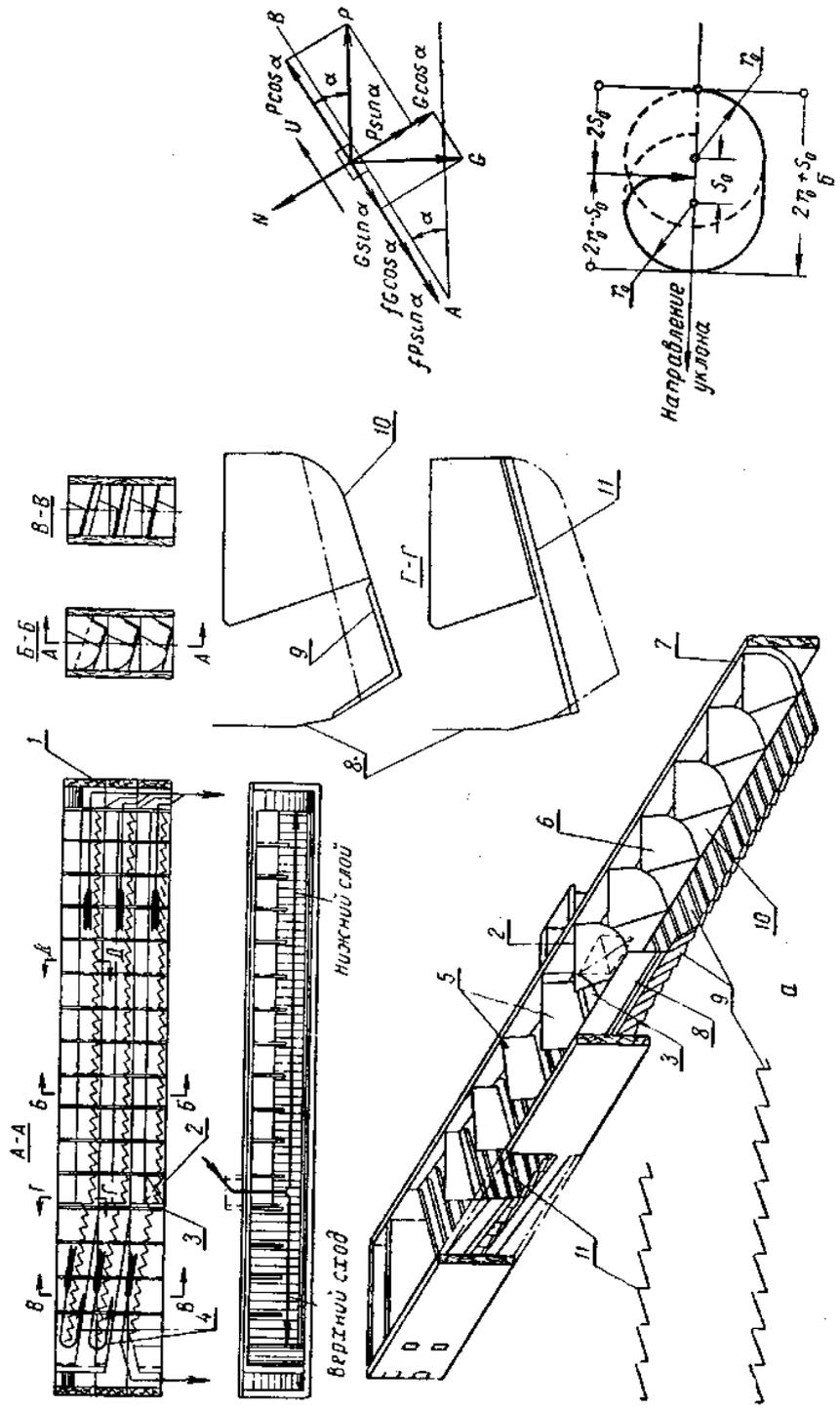


Рис. XIX-7. Рабочий орган крупноделителя:  
 а — устройство канала; б — расчетные схемы для определения кинематических параметров машины.

Поэтому радиус относительной траектории частицы

$$r_0 = \rho \sqrt{1 - \frac{g^2 \operatorname{tg}^2(\alpha + \varphi)}{\omega^4 \rho^2}} \quad (13)$$

Вне зоны действия гонков, устанавливаемых в машине Беспалова вдоль наклона рабочего канала, кривизна относительной траектории частицы определяется величиной  $r_0$ , внутри же зоны действия — величиной  $r'_0$ , где  $r'_0 < r_0$ .

Подача частицы вверх за время цикла движения  $(60/n)$

$$S_0 = (2r_0 - S_0) - (2r'_0 + S_0) = 2(r_0 - r'_0 - S_0), \quad (14)$$

где  $S_0$  — дополнительная величина перемещения частицы под влиянием наклона плоскости, совершающей круговое поступательное движение, и возникновения составляющей  $g \sin \alpha$

$$S_0 = \frac{g \sin \alpha t^2}{2} = \frac{g \sin \alpha \left(\frac{30}{n}\right)^2}{2} = 450 \frac{g \sin \alpha}{n^2} \quad (15)$$

Принимая  $r'_0 = 0$  и подставляя в уравнение (14) значения  $S_0$  из (XIX-15), получим приближенное значение для определения величины подачи  $S$ :

$$S = 2 \left[ \rho \sqrt{1 - \left(\frac{g}{\omega^2 \rho}\right)^2 \operatorname{tg}^2(\alpha + \varphi)} - 450 \frac{g \sin \alpha}{n^2} \right]. \quad (16)$$

При  $S=0$

$$\rho \sqrt{1 - \left(\frac{g}{\omega^2 \rho}\right)^2 \operatorname{tg}^2(\alpha + \varphi)} = 450 \frac{g \sin \alpha}{n^2}, \quad (17)$$

откуда в результате преобразований получаем, что минимальное число оборотов машины

$$n_{\min} = 30 \sqrt{\frac{1}{2\rho} \sqrt{4 \operatorname{tg}^2(\alpha + \varphi) + \pi^4 \sin^2 \alpha}} \text{ об/мин.} \quad (18)$$

Так как  $\sin^2 \alpha \rightarrow 0$

$$n_{\min} = 30 \sqrt{\frac{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}{\rho}} \quad (19)$$

Расчет по формулам (18) и (19) дает величины, близкие к принятым в практике, так как крупоотделитель Беспалова работает с лучшим технологическим эффектом на низшем пределе числа оборотов.

Основными недостатками машины Беспалова являются большой возврат крупы на повторное шелушение (до 60%) и крайне неравномерная загрузка рам.

### **§ 6. Устройство машины с рабочими органами, находящимися в относительном покое (крупоотделители КГМ-2)**

На некоторых предприятиях крупяной промышленности для сортирования продуктов шелушения риса и овса применяют крупоотделители КГМ-2. Подобные машины широко применяют для сортирования продуктов шелушения риса в Китайской Народной Республике, Индии, Японии и других странах. На рисунке XIX-8 показано устройство самотечного крупоотделителя КГМ-2. Продукты шелушения из приемного бункера 2 потоком толщиной 15—25 мм поступают на неподвижную металлическую сетку б, наклоненную под углом 32—40° (0,56—0,7 рад), часть которой со стороны приема продукта закрыта плотной тканью (брезентом) 1. В разрыхленной массе шелушенного продукта образуются промежутки между отдельными зернами, причем шелушенные зерна (ядро) и нешелушенные приобретают различные скорости движения, обусловленные их физико-механическими свойствами. При относительном движении зерен они самосортируются по толщине потока: в нижние слои направляются шелушенные зерна (ядро), имеющие большую плотность и меньшие размеры, а в верхние — нешелушенные зерна с меньшей плотностью и большими размерами. Когда продукт, движущийся по ткани /, поступает на сетку б, в нижних слоях потока, соприкасающихся с сеткой, находятся преиму

щественно шелушенные зерна, которые и просеиваются, а нешелушенные, находящиеся в верхних слоях, направляются сходом с сетки.

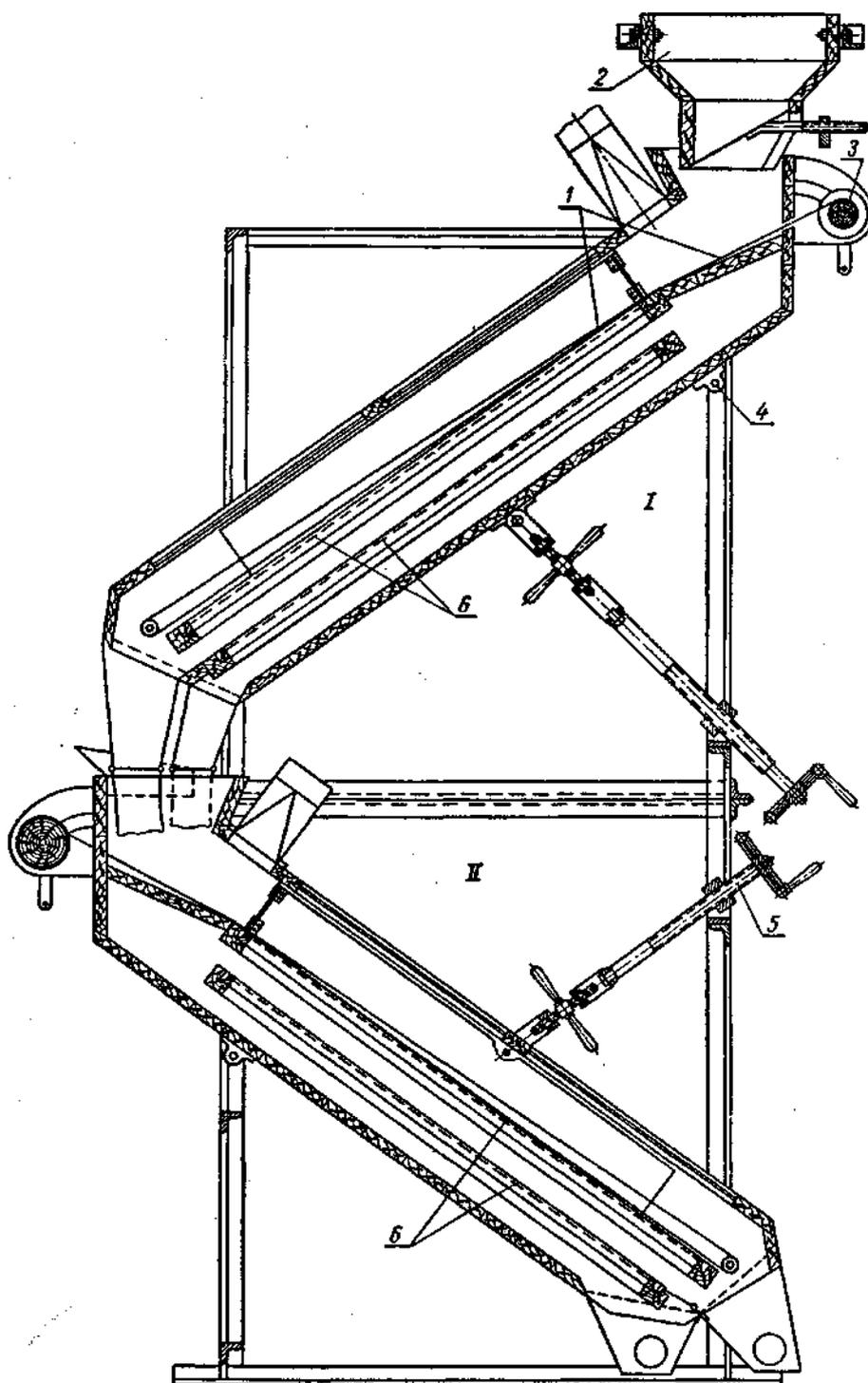


Рис. 7. Самосортирующий крупоотделитель для риса и овса  
(продольный разрез).

Полученные два продукта отличаются по качеству: проходовые продукты состоят в основном из ядра с небольшим количеством нешелушенных зерен, а сходовые продукты содержат главным образом нешелушенные зерна. Продукты, полученные в результате самосортирования в верхнем корпусе I, поступают в нижние корпуса. Проходовой продукт поступает в нижний корпус II, а сходовый продукт, содержащий большое количество нешелушенных зерен, направляется в нижний корпус III, слева от корпуса II (на рисунке не показано). В корпусах, шарнирно связанных с осями 4, прикрепленными к станине, помещаются съемные ситовые рамы. В приемной части корпусов имеются валики 3, на которые намотана ткань. Поворачивая валики, можно регулировать длину закрытой части сита, называемой зоной или областью самосортирования.

Угол наклона корпусов в пределах 32—40° регулируют при помощи устройства, состоящего из винта 5 и гайки, закрепленной в станине.

В результате сортирования проходовых продуктов в нижнем корпусе II получаются: проход через сито — обогащенный продукт и сход — промежуточный продукт, качество которого примерно соответствует качеству исходного продукта.

В результате сортирования сходовых продуктов в нижнем корпусе III получаются: сход с сита — наименее добротный продукт, содержащий максимальное количество нешелушенных зерен, и проход через сетку, который по своему составу примерно близок к качеству исходно-но продукта.

Таким образом, в результате сортирования исходного продукта получают четыре продукта. Из них два продукта являются конечными: один — состоящий в основном из шелушенных зерен, а другой — содержащий небольшое количество шелушенных зерен. Оба продукта могут быть направлены на другие контрольные крупотделители.

Остальные два продукта — сход с сита корпуса II и проход через сито корпуса III — по своему качеству примерно соответствуют исходному продукту и вновь возвращаются в крупотделитель.

Самотечные крупотделители просты по своей конструкции, не требуют энергии для привода в движение и удобны в эксплуатации.

Оптимальных условий самосортирования и просеивания продуктов достигают при скорости движения  $1 — 1,2$  м/сек, при угле наклона корпуса  $32^\circ$  и длине зоны самосортирования  $80$  см или при угле наклона  $34^\circ$  и длине зоны самосортирования  $60$  см.

Серьезным недостатком самотечного крупотделителя КГМ-2 является чрезмерная высота ( $3$  м), затрудняющая обслуживание его и большая чувствительность к изменению нагрузки. В настоящее время конструкцию крупотделителя модернизируют.

Лекция 17. -2ч.

Машины для брикетирования и гранулирования комбикормов.

Назначение, область применения и классификация прессов-грануляторов  
Теоретические основы процесса уплотнения продуктов при их брикетировании и гранулировании. Технологическая схема процесса гранулирования комбикормов. Роликовый пресс-гранулятор. Основы его расчета.

Конструкции прессов для брикетирования комбикормов. Устройство и принцип их действия.

### **Назначение и область применения машин для прессования комбикормов.**

Предприятия комбикормовой промышленности вырабатывают комбинированные корма — концентраты из разных продуктов сельскохозяйственного и животного происхождения. Комбикорма бывают рассыпные в виде сыпучей массы, брикетированные и гранулированные.

Рассыпные корма обладают недостатками, особенно ярко обнаруживающимися при транспортировании их на далекое расстояние (они занимают много места); в результате неизбежных вибраций и колебаний самосортируются на составные части, отличающиеся по удельному весу. В результате работа, затраченная на смешивание отдельных частей, оказывается в значительной части бесполезной.

Хранение рассыпных кормов насыпью связано с большими затруднениями, так как они гигроскопичны. Отсыревший продукт, лежащий более или менее толстым слоем, начинает самосогреваться и портиться. Если в состав комбинированных кормов входят такие продукты, как мясная или рыбная мука, то довольно быстро начинается плесневение и гниение.

Самое эффективное средство борьбы с этими недостатками — прессование, гранулирование и брикетирование комбинированных кормов на специальных машинах, вследствие чего объем продуктов значительно уменьшается.

Уменьшение гигроскопичности и окисляемости кислородом воздуха повышает сохранность прессования кормов, т. е. ведет к их консервированию.

Особое значение в настоящее время имеют гранулированные корма, обогащенные различными белково-витаминно-минеральными добавками. Гранулы представляют собой большей частью цилиндрические столбики спрессованной комбикормовой смеси диаметром от 2 до 19—20 мм, высотой 3—20 мм. Эти корма применяют для кормления свиней, молодняка крупного рогатого скота, домашней птицы и рыб.

К достоинствам гранулированных кормов относятся:

большая питательная ценность, так как в них равномерно распределены и сконцентрированы различные компоненты, входящие в состав комбикормов, а также добавки, повышающие кормовую ценность гранул;

возможность кормления домашней птицы гранулами, так как они по своей структуре больше приближаются к зерну, чем рассыпные корма, и легко склевываются птицами;

удобство раздачи их на фермах животным и птице, что повышает производительность труда обслуживающего персонала. Реже надо чистить кормушки, так как в отличие от рассыпного гранулированный комбикорм не прилипает к стенкам;

объем гранулированных кормов в три-четыре раза меньше объема рассыпных, что улучшает транспортабельность и условия хранения;

отсутствие самосортирования отдельных компонентов, входящих в состав комбикормов.

При прессовании на корма действуют сжимающие силы рабочих органов машины, а им противодействует упругость прессуемого продукта.

Материалы, имеющие волокнистое строение, не только сопротивляются сжатию, но, как известно, после отвода сжимающих поверхностей энергично стремятся вновь расширяться.

При прессовании комбикормов сжимающая сила уменьшает высоту брикета по направлению давления и одновременно вызывает перпендикулярное к ней расширение.

Под прессованием понимают обработку различных продуктов давлением при помощи специальных механических устройств — прессов. В зерноперерабатывающей промышленности наиболее широко распространено прессование комбикормов; кроме того, прессуют отруби, кормовые смеси (на крупных заводах), состоящие из лузги, мучки и других продуктов.

В процессе прессования сыпучие смеси уплотняются, увеличивается объемная масса, что повышает вместимость складов и транспортных средств. При прессовании продукту можно придать необходимую форму.

В зерноперерабатывающей промышленности сыпучие продукты подвергают прессованию сухим способом, т. е. прессуют продукты с влажностью 16...18%, предварительно прогревая и увлажняя их, например, паром, добавляя небольшое (1...2%) количество жидкости для связи. Кроме того, существует так называемое влажное прессование, которое заключается в добавлении значительного количества влаги в сыпучие продукты, при котором образуется тесто влажностью 28...32 %; это тесто затем формуется в частицы нужной формы и размеров. Последние высушиваются до нормальной влажности.

Сыпучие продукты перед прессованием состоят из двух (твердой и газообразной) или трех (твердой, жидкой, газообразной) фаз. При приложении внешних сил сыпучий продукт уплотняется в результате относительного смещения составляющих его частиц, вытеснения газообразной фазы, более равномерного распределения жидкой, а также в результате деформирования твердых частиц.

Процесс прессования происходит в несколько стадий. На первой стадии частицы сближаются, подгоняются друг к другу, перемещаются из области более высоких давлений в области более низких. На этой стадии частицы деформируются незначительно, уплотнение продукта происходит при сравнительно невысоких параметрах давления.

На второй стадии процесса упругопластичные деформации сопровождаются разрушением некоторых частиц, что приводит к их более плотной укладке. Заканчивается процесс вытеснением газообразной фазы, равномерно

распределяется жидкая фаза. На этой стадии уже довольно значительное увеличение давления не вызывает существенного уплотнения продукта.

На третьей стадии преобладают упругие деформации твердых частиц, оставшаяся газообразная фаза уже не вытесняется из материала, а защемляется внутри него. В результате сближения частиц возникают силы сцепления, которые являются причиной образования достаточно прочных брикетов или гранул.

Сцепление частиц объясняется разными причинами, существует ряд гипотез, объясняющих этот процесс.

Одна наиболее распространенная гипотеза объясняет сцепление отдельных частиц в результате проявления сил межмолекулярного взаимодействия. Эти силы возникают лишь при весьма тесном сближении частиц между собой. Естественно, что наибольшие силы сцепления проявляются при большем числе контактов между частицами, которые могут быть при большей дисперсности продуктов.

Другая — капиллярная теория объясняет сцепление частиц силами поверхностного натяжения жидкости, находящейся в капиллярных каналах между твердыми частицами. Капиллярные силы могут проявиться лишь при достаточном количестве жидкостей. Напряжения, которые возникают при приложении внешней нагрузки, могут постепенно снижаться, запасенная в продукте энергия упругих деформаций постепенно рассасывается, т. е. происходит релаксация напряжений.

Релаксация напряжений — процесс очень длительный, время его существенно превышает длительность нахождения продукта под нагрузкой. Поэтому лишь часть деформаций подвергается релаксации. Оставшиеся упругие деформации являются причиной упругого расширения прессуемого продукта, которое происходит после снятия нагрузки.

Изменение объема прессуемого продукта при приложении и снятии нагрузки может быть представлено в виде графика (рис. 1). Начальный объем продукта  $h_0$  при приложении уже небольших усилий резко снижается до величины  $h_1$ ,

дальнейшее повышение давления приводит к дальнейшему снижению объема до величины  $h_4$  (при максимальном давлении).

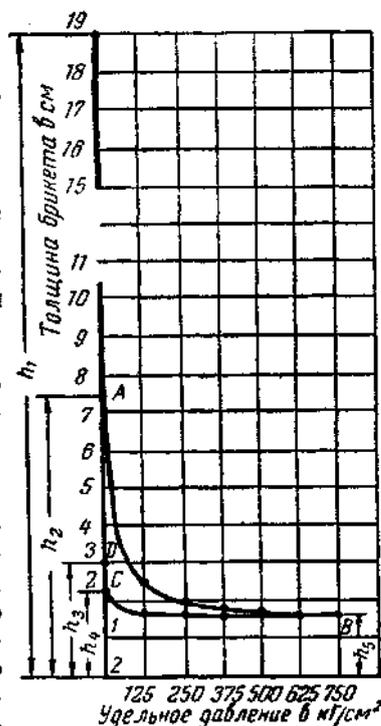


Рис. 1. Изменение объема прессуемого продукта при приложении и снятии нагрузки.

При снятии давления в результате действия остаточных упругих деформаций и расширения защемленного воздуха происходит упругое расширение продукта, причем этот процесс происходит как при снижении давления, так и после полного его снятия. На графике эти две фазы представлены увеличением размера брикета с  $h_4$  до  $h_3$  в первой фазе и с  $h_3$  до  $h_2$  во второй.

Процесс образования брикетов характеризуют коэффициентами уплотнения  $\beta$  и относительного упругого расширения  $\varepsilon$  брикетов:

$$\beta = \frac{V_0 - V_2}{V_0} = \frac{h_0 - h_2}{h_0}$$

$$\varepsilon = \frac{V_2 - V_4}{V_4} = \frac{h_2 - h_4}{h_4}$$

В соответствии с диаграммой  $V_0$  и  $h_0$  — соответственно объем и высота продукта до уплотнения,  $V_4$  и  $h_4$  — соответственно объем и высота брикетов при

максимальном уплотнении,  $V_2$  и  $h_2$  — соответственно объем и высота брикета после упругого расширения. Так как при прессовании обычно величина поперечного сечения брикета не меняется, то уменьшение объема пропорционально уменьшению его высоты. При снятии давления упругое расширение брикета может происходить как в осевом, так и в поперечном направлении, поэтому числовые значения коэффициентов упругого расширения брикетов  $\epsilon$ , подсчитанные по изменению объема и высоты, могут быть разными.

На показатели  $\beta$  и  $\epsilon$  влияют как условия прессования, так и физико-химические свойства продуктов. К условиям прессования относят величину создаваемого давления, продолжительность выдерживания продукта под давлением, кратность нагружения, температуру рабочих органов и продукта, конструктивные особенности и техническое состояние рабочих органов.

Повышение давления приводит к увеличению уплотнения продукта и повышению прочности брикетов, большая продолжительность выдерживания продукта под давлением вызывает возрастание релаксации продукта, снижает величину упругого расширения брикета.

Однако повышение давления существенно увеличивает расход электроэнергии на прессование, а возрастание продолжительности выдерживания под давлением ведет к увеличению размеров рабочих органов или снижению производительности прессов. Поэтому для повышения эффективности процесса прессования обращают внимание на остальные факторы, например температуру рабочих органов пресса и продуктов. Повышение температуры определяет состояние влаги и прочность связи с продуктом. Снижение величины поверхностного натяжения жидкости способствует ее лучшей миграции, более тесному сближению частиц. Повышение температуры также изменяет свойства твердой фазы, пластифицирует продукт, вызывает изменения его физико-химических свойств. Возможен, например, гидролиз крахмала с образованием декстринов, обладающих клеящими свойствами.

Рациональная конструкция рабочих органов, оптимизация их параметров являются также важным путем снижения энергоемкости процесса, повышения

износостойкости рабочих элементов прессов. Важное значение имеют и физико-химические свойства продукта. Именно они определяют так называемые реологические свойства, проявляющиеся в процессе продавливания уплотненного продукта через отверстия для формования гранул.

Свойства продуктов должны быть такими, чтобы при прочих равных условиях обеспечивались высокая производительность, относительно низкий расход электроэнергии установок, а также необходимая прочность гранул. Реологические свойства прессуемого продукта зависят от его химического состава, дисперсности, наличия связующих компонентов, температуры, влажности.

**Гранулирование комбикормов и других продуктов.** Как отмечалось выше, гранулы представляют собой, как правило, небольшие частицы в форме цилиндра  $\varnothing 2,4...20$  мм, длина их не превышает  $1,5...2,0$  диаметров. Размеры гранул зависят от применения. Мелкие гранулы предназначены в основном для кормления молодняка птиц (цыплят, утят, индюшат и др.), гранулы диаметром около 5 мм — для взрослых птиц, для рыб, более крупные гранулы — для свиней, крупного рогатого скота и т. д.

Если гранулы не предназначены для непосредственного скармливания, например гранулированные отруби, то их размеры выбирают, исходя из прочностных свойств, условий хранения и т. п. Процесс производства крупных гранул менее энергоемок, но гранулы менее прочны, поэтому при гранулировании отрубей производят гранулы диаметром около 10 мм.

Гранулированные комбикорма имеют ряд достоинств по сравнению с рассыпными. Каждая гранула представляет собой полный набор всех питательных веществ, заключенных в комбикорме. Гранулы, предназначенные для рыб, долгое время находятся в воде, сохраняя питательные вещества. Гранулированные комбикорма удобны для механизации кормления животных, птиц, их удобно раздавать по кормушкам.

**Сухое гранулирование.** Наиболее распространенный способ — сухое гранулирование. Для этой цели используют специальные прессы-грануляторы. В

подавляющем большинстве грануляторов в качестве рабочих органов применяют вращающиеся кольцевые матрицы и прессующие валки (рис. 2). Валки могут быть одинакового или разного диаметра, число валков равно двум или трем.

Матрица представляет собой толстостенное кольцо, в котором по радиусу или с уклоном до  $20^\circ$  проделаны отверстия, представляющие собой каналы, или фильеры, круглого сечения. Между внутренней поверхностью матрицы и прессующими валками образуются клиновидные зазоры. В эти зазоры поступает продукт, в результате вращения матрицы и трения продукта начинают вращаться прессующие валки. Чтобы повысить коэффициент трения между продуктом и валком, на поверхности валка делают продольную нарезку.

Продукт продавливается через отверстия матрицы, предварительно уплотняясь в клиновидном зазоре. По мере движения продукта в зазоре повышается давление, а когда напряжения сжатия превысят сопротивление продукта, ранее запрессованного в каналах (фильерах) матрицы, очередная порция продукта начинает продавливаться в каналы. Проходя через каналы, продукт приобретает размеры и форму, соответствующие размерам и форме каналов. Выходящие из каналов гранулы срезаются специальными ножами.

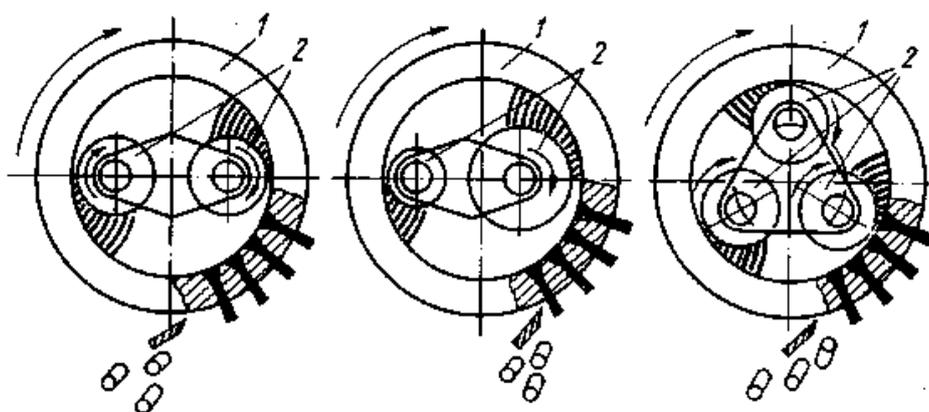


Рис. 2. Рабочие органы прессов-грануляторов:

1 — матрица; 2 — прессующие валки

Изготавливают прессы и с так называемой плавающей матрицей. В этих прессах в одну сторону вращаются от привода три прессующих ролика, матрица уравновешена распорным усилием этих роликов; в результате трения продукта она начинает вращаться в ту же сторону, что и валки. Применяют также прессы с плоской матрицей, устанавливаемой горизонтально и неподвижно. Ролики катятся по верху матрицы, запрессовывая в отверстия продукт.

При прессовании необходимо получать достаточно прочные гранулы, которые будут мало крошиться при транспортировании, загрузке бункеров, выгрузке и т. д. В то же время получение чрезмерно прочных гранул не вызывается необходимостью, так как такие гранулы хуже поедаются животными, а на их изготовление расходуется излишняя электроэнергия.

Так как на процесс гранулирования влияют физико-механические (реологические) свойства продуктов, то производится перед прессованием их направленное изменение, что способствует улучшению условий прессования. Изменяют свойства продуктов, регулируя их влажность, температуру, дисперсность, добавляя компоненты, облегчающие прессование.

Пресс-гранулятор, кроме прессующего узла, имеет узел дозирования — смешивания продукта. В смесителе из форсунок непосредственно в продукт подается пар под давлением 0,2...0,4 МПа (при гранулировании рассыпного комбикорма давление пара 0,35...0,4 МПа).

Некоторые особенности имеет процесс гранулирования БВД из-за большого содержания в них белка (протеина).

БВД, в составе которых большое количество белков животного происхождения, обрабатывают паром при давлении 0,4...0,5 МПа, с большим количеством белков растительного происхождения — 0,2...0,3, а с содержанием до 10% карбамида — 0,2 МПа. В результате пропаривания влажность комбикорма повышается с 11...13 до 15...17%, а температура — до 75...85°C.

Улучшить свойства прессуемого продукта, приводящие к снижению энергоемкости и повышению прочности гранул, можно, добавляя связующие

вещества. Среди связующих веществ особое место занимают меласса, жир, которые являются также питательными компонентами. Как правило, количество связующих веществ невелико — до 3 % от массы продукта. Продукты с добавлением связующих веществ можно не пропаривать, хотя при пропаривании результаты прессования получают лучше. В отдельных случаях можно применять в качестве связующих продукты минерального происхождения, например бентониты.

Регулировать прочностные характеристики гранул можно, изменяя зазор между матрицей и прессующим валком. С уменьшением зазора повышается давление в зоне прессования и гранулы получаются более прочными (рис. 3). Нормальным считают зазор между матрицей и валком 0,4...0,8 мм.

Важное значение имеют конструктивные особенности фильер: их диаметр, длина (определяемая толщиной матрицы), форма и т. д.

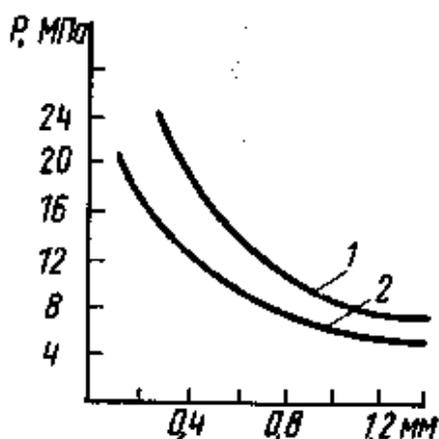


Рис. 3. Влияние зазора на величину давления в зоне прессования:

1 — гранулы  $\varnothing 4$  мм; 2 — гранулы  $\varnothing 8$  мм

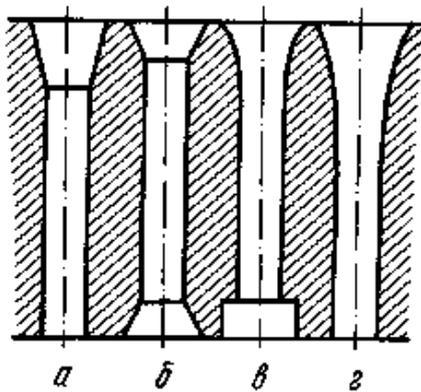


Рис. 4. Профили фильер в матрицах прессов-грануляторов: *а* — фильера, состоящая из цилиндрической и конической частей; *б* -фильера, состоящая из конических полостей и центральной цилиндрической части; *в* — фильера, состоящая из входной тороидальной полости и цилиндрической части; *г* — канал фильеры изношенной матрицы

Во МТИПП (Соколов А. Я., Полищук В. Ю.) проведены значительные работы по оптимизации параметров фильер. Основные виды фильер представлены на рисунке 4. Для лучшего входа продукта в фильеры их входные отверстия изготавливают с большим диаметром, чем диаметр цилиндрической части фильер.

Входная полость фильер имеет чаще всего коническую форму; форма может быть и тороидальной. Длина цилиндрической части фильер определяет прочность гранул: чем длина больше, тем гранула прочнее, так как в результате большего сопротивления перемещению продукта в фильере увеличиваются давление прессования и длительность воздействия. Однако излишняя длина фильер приводит к снижению производительности прессы и повышению расхода электроэнергии.

Матрица с короткими фильерами может иметь малую толщину и недостаточную прочность и жесткость. Поэтому при большой толщине матриц фильеры укорачивают за счет расширения выходной полости. Более высокую эффективность имеют фильеры с гладкой внутренней поверхностью.

Получению прочных гранул способствует равномерный дисперсный состав продукта. При прессовании выровненного по крупности продукта расход электроэнергии снижается на 20...25%.

Гранулы, выходящие из пресса, имеют высокую температуру и влажность, поэтому они непрочны и легко разрушаются. Их необходимо сразу после выработки охлаждать в специальных охладительных устройствах. В охлажденных гранулах содержание крошки (проход сита с отверстиями 0 2 мм) не должно превышать 5 %. После охлаждения гранулы обычно просеивают на ситах с отверстиями 0 2,0...2,5 мм или на проволочном сите с размером отверстий 1,6...2,0 мм для отделения крошки и мучнистых частиц, которые направляют на повторное прессование.

Гранулы должны быть достаточно прочными. Прочность гранул можно оценить раздавливанием, истиранием их и т.д. Однако наиболее целесообразно определять их прочность (крошимость) в условиях, имитирующих воздействие на них при перевозках, загрузках бункеров и т.д. Для этого используют специальные приборы, в которых навески гранул обрабатываются во вращающихся камерах четырехугольной формы. После обработки в результате трения, ударов при падении гранулы частично разрушаются. Количество разрушенных гранул характеризует их прочность и определяется просеиванием продукта на сите с отверстиями, диаметр которых составляет 0,75 от диаметра гранул. При обработке в приборе в течение 10 мин количество разрушенных гранул не должно превышать 8%.

Если комбикорма предназначены для рыб, то важным их свойством является водостойкость, которая характеризуется временем размягчения гранул в воде. Для определения водостойкости применяют специальные приборы. Водостойкость гранул можно повысить вводом в комбикорма специальных компонентов, нанесением их на поверхность гранул (например, жира) в специальных аппаратах, подготовкой компонентов определенной крупности.

**Влажное гранулирование.** Сущность его заключается в увлажнении продукта до влажности 28...32%, прессовании теста в гранулы, сушке их и охлаждении.

Гранулы производят, как правило, в шнековых прессах, состоящих из двух узлов. В смесителе замешивается тесто с горячей водой; в прессующей части тесто продавливается шнеком через отверстия матрицы, при выходе из матрицы срезается специальными вращающимися ножами. Затем гранулы высушивают в воздушных сушилках, охлаждают и сортируют, выделяя крошку и мучку.

Гранулы, полученные влажным способом, обладают большой водостойкостью. Изменяя влажность теста, применяя связующие вещества и т.д., можно регулировать плотность гранул. Гранулы могут быть существенно плотнее воды, они тонут в воде и предназначены для рыб, берущих корм со дна. Гранулы, имеющие плотность, равную плотности воды (зависающие), медленно тонут, и рыбы их берут в толще воды. Наконец, могут быть изготовлены гранулы, имеющие плотность ниже плотности воды; они плавают на поверхности, некоторые виды рыб, например лососевые, берут корм с поверхности воды. Недостатками такого способа являются низкая производительность линии гранулирования, а также большая энергоемкость процесса (главным образом за счет сушки). **Брикетирование комбикормов.** Брикетирование представляет собой процесс изготовления относительно больших брикетов прямоугольной или цилиндрической формы. Наиболее широко брикетируют комбикорма с большим содержанием грубых волокнистых веществ (сена, соломы, лузги и т.д.). Брикетирование существенно увеличивает плотность комбикорма, повышает вместимость складов для хранения, предотвращает самосортирование смеси. Получают брикеты в штоковых, или штемпельных прессах.

В этих прессах продукт поступает в матричный канал и штемпелем проталкивается в канал, а затем в транспортирующий лоток (мундштук) длиной 20...30 м. Так как матричный канал и мундштук открыты со стороны выхода брикетов, сопротивление давлению штемпеля создается в результате трения столба брикетов о стенки каналов. Большая длина мундштука позволяет увеличить сопротивление давлению, а также длительность пребывания брикетов под давлением, что усиливает релаксацию упругих напряжений, вследствие чего

снижается величина упругого расширения брикетов. Регулируют плотность и прочность брикетов изменением площади поперечного сечения в результате перемещения одной из стенок канала.

Для повышения плотности и прочности брикетов применяют также связующие вещества, прогревают горячей водой стенки матричных каналов.

Размеры брикетов, получаемых в прессе В-8230,— 160 X 130 X 68 мм, а в прессе БПС-3—140 X 160 X 40 мм. Более мелкие брикеты получают в прессах-грануляторах, например, с плоской матрицей. Брикеты Ø 20...25 мм и длиной до 100 мм могут быть получены и в прессах типа ДГ.

Прессование является весьма энергоемким процессом, расход энергии на гранулирование одной тонны комбикормов достигает 10...30 кВт·ч. Поэтому снижение энергоемкости является одним из путей совершенствования прессования. К снижению энергоемкости ведет автоматизация контроля загрузки пресса с использованием микропроцессорной техники.

Для снижения расхода электроэнергии применяют связующие вещества, изменяющие реологические свойства прессуемого продукта; оптимальное их дозирование; выбирают наиболее подходящие для этой цели пластификаторы. Снизить энергию прессования можно, разрабатывая новые конструкции машин, совершенствуя рабочие органы, повышая их износостойкость, применяя новые материалы, разрабатывая более совершенные профили фильер для прессования разных продуктов. Необходимо комплектование прессов большим набором матриц, конструкции прессов должны предусматривать быструю и несложную процедуру смены матриц, их точную регулировку.

### **Определение оптимального режима прессования отрубей**

Прочность брикетов зависит от состояния прессуемого продукта, его температуры и влажности, удельного давления и продолжительности прессования, а также от условий удаления воздуха из отрубей в процессе их сжатия.

Оптимальная влажность, отвечающая наиболее прочному сцеплению частиц отрубей в процессе их прессования, находится в пределах 6—7%. Для образования прочного брикета требуется наличие определенного количества влаги в прессуемых отрубях и предварительная тепловая обработка их.

Нагревая отруби до 60—80° С, обычно стремятся к тому, чтобы они равномерно прогревались и чтобы влага распределялась в виде слоя одинаковой толщины на поверхности отрубей; при этом должна быть исключена возможность появления сконденсированной влаги или перегрева отдельных частиц отрубей.

При прессовании холодных отрубей (без тепловой обработки) сцеплению частиц способствует в основном свободная влага прессуемого продукта; поэтому с повышением влажности холодных отрубей несколько увеличивается прочность брикета, хотя в общем она остается незначительной.

При двухстороннем сжатии прочность брикета выше, чем при одностороннем. Это преимущество двухстороннего сжатия тем больше, чем больше высота прессуемого продукта и чем больше его коэффициент трения о стенки прессформы. При небольшой высоте брикета и применении тепловой обработки отрубей преимущество двухстороннего сжатия становится почти незаметным.

Затрачиваемая удельная работа на образование брикета зависит от его размеров, удельного давления, состояния прессуемого продукта и коэффициента трения отрубей о стенки прессформы.

Существенным параметром, влияющим на изменение прочности брикета и производительности пресса, является продолжительность прессования. Чем она больше, тем больше воздуха удаляется из прессуемых отрубей, тем прочнее получается брикет, но тем ниже становится производительность пресса.

Для уменьшения продолжительности прессования и сохранения прочности брикетов из отрубей необходимо правильно выбрать скорости штампа на всем пути сжатия продукта и уменьшить сопротивление вытесняемому из отрубей воздуху.

Общая продолжительность прессования отрубей складывается из времени усадки и времени выдержки брикета под максимальным давлением. Целесообразно делать брикеты прямоугольной формы и небольших размеров, предусматривать в конструкции прессформ устройства, облегчающие выход воздуха, применять полуоткрытые прессформы.

Брикеты из отрубей с временным сопротивлением изгибу свыше  $15 \text{ кГ/см}^2$  не требуют упаковки; их можно перевозить и хранить без тары. Чем прочнее брикет, тем меньше механические потери. Однако при этом несколько возрастет продолжительность подготовки брикетов для кормления животных.

Для производства брикетов из отрубей требуются подогреватель, пресс, вспомогательные и транспортирующие механизмы.

Подогреватель осуществляет тепловую обработку отрубей по оптимальному режиму, что позволяет получать брикеты с достаточной прочностью (с временным сопротивлением изгибу  $15\text{—}20 \text{ кГ/см}^2$ ) при низких удельных давлениях прессования (около  $100 \text{ кГ/см}^2$ ).

### Штемпельные прессы

**Принцип действия.** Брикет прессуют в длинном формовочном канале, открытом с обеих сторон, особой штангой-пуансоном, совершающим возвратно-поступательное движение (рис. 5).

В исходном положении I штемпеля 1 материал подается сверху в канал, образованный матрицами 2. Этот канал называют формовочным или матричным.

При перемещении штемпеля в положение II последний перекрывает загрузочное отверстие 3 и проталкивает продукт в матричный канал.

В положении III происходит первоначальное уплотнение продукта и образование брикета.

В положении IV штемпель проталкивает всю находящуюся перед ним массу на расстояние, равное величине хода штемпеля. При обратном ходе

штемпель открывает загрузочное отверстие 5, перемещается в исходное положение, и дальше весь цикл повторяется в той же последовательности.

Для преодоления упругих сопротивлений составных частей продукта прессы этого типа должны развивать высокое давление, а также обеспечивать выдержку брикетов в течение некоторого времени под давлением. Штемпельные прессы при брикетировании комбикормов развивают давление до  $800 \text{ кГ/см}^2$ .

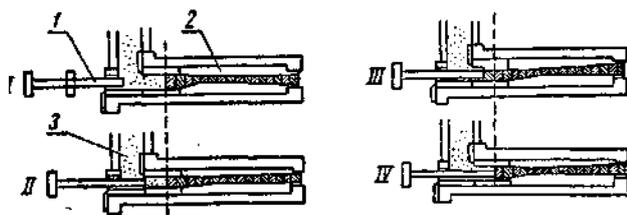


Рис. 5. Устройство штемпельного прессы.

Устройство штемпельного прессы. Основными частями штемпельного прессы (рис. 6) являются: станина 1 с подшипниками 2 для приводного механизма; приводной вал 3 с зубчатой передачей 4 для приведения в движение коленчатого вала 5; стальная прессовая камера 13; питающий механизм 11 для подачи брикетируемого продукта в машину; брикетный желоб для дополнительной выдержки готовых брикетов под давлением.

На шейку коленчатого вала надет стальной шатун 6, который соединен с ползуном 7. К последнему привернут пуансон 8 (штемпель) прямоугольного сечения со скошенными краями.

Верхняя часть прессовой камеры представляет собой траверсу 15, которая может поворачиваться вокруг оси 14. Траверса занимает определенное положение благодаря пружинам 17.

Между нижней частью прессовой камеры и траверсой образуется канал, на дне которого находятся четыре матрицы 21. К траверсе прикреплены три матрицы 20.

Срок службы матриц зависит главным образом от физико-механических свойств брикетируемого материала и удельного давления прессования. Для

увеличения износоустойчивости матриц их изготавливают из стали с легирующими присадками (марганцем, хромом и другими металлами). Из той же стали или отбеленного чугуна изготавливают штемпели прессов.

Пользуясь специальным механизмом, можно изменять размер канала. При вращении колеса *16* вращается также посредством зубчатой передачи винт *18*, перемещающий клин *19* в одну или другую сторону. Таким образом, траверса *15* поднимается или опускается, в результате чего изменяется высота канала для брикетов. При его уменьшении возрастает сопротивление продвижению продукта, а следовательно, и рабочее давление.

В нижней части прессовой камеры, а также в траверсе имеются каналы для воды. Во время работы через эти каналы может быть пущена вода для охлаждения пресса.

Механизм для предварительного уплотнения (подпрессования) продукта работает следующим образом.

Горизонтальный поршень *10* перемещается вместе с ползуном *7*.

Поршень с шатуном *12* посредством коленчатых рычагов *9* (на рисунке показаны пунктиром) получает вертикальное движение от того же ползуна.

Когда поршень занимает верхнее положение, горизонтальный поршень *10*, перемещаясь слева направо, подает материал по стрелке *A*. При движении горизонтального поршня в обратном направлении вертикальный поршень опускается и уплотняет подаваемый материал в прессовую камеру.

При движении штемпеля *8* вправо прессуемый продукт продвигается в прессуемую камеру. Трение о стенки заставляет его сопротивляться движению, что приводит к прессованию. Следующая порция продукта, вталкиваемая в канал, оказывается прижатой к первому брикету и продвигается вместе с ним. Таким образом образуется лента брикетов, подаваемая к входному отверстию. При каждом ходе пресса вся лента продвигается на толщину одного брикета.

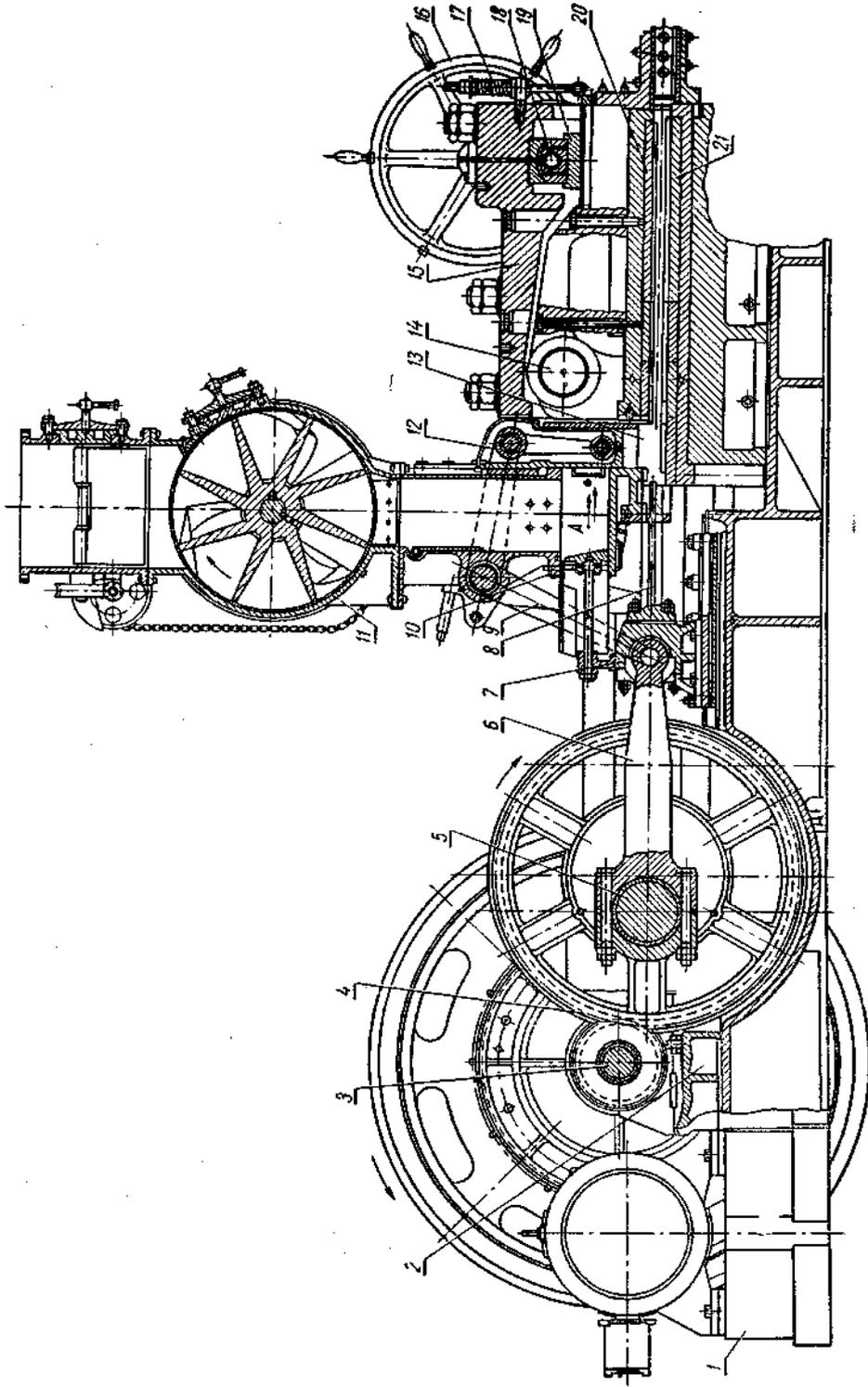


Рис. XX-6. Схема процесса прессования в штемпельном прессе.

## **Прессовые агрегаты для производства гранулированных кормов**

Известны два способа гранулирования: сухое, без предварительного увлажнения комбикорма, и влажное, с увлажнением комбикорма перед прессованием с последующей сушкой гранул.

В настоящее время внедряется главным образом сухой способ производства гранулированных кормов, для чего применяются агрегаты с валковыми прессами, которые будут рассмотрены ниже.

На рисунке 7 показана машинно-аппаратурная схема прессового агрегата для производства гранулированных кормов.

Продукты по определенной рецептуре подаются норией 1 в вертикальный шнековый смеситель 2 периодического действия емкостью около 3 м<sup>3</sup>. Рабочим органом смесителя является вертикальный шнек.

После подготовки смеси ее направляют норией 1 в бункер 3 и далее, через электромагнит 4— в пресс 5. Для переключения направления продукта после нории 1 предусмотрен специальный клапан.

Полученные гранулы норией 6 подаются в запасной бункер 7 или в охлаждающую колонку 8, куда вентиляторы 9 нагнетают воздух. Охлажденные гранулы на сортировочном сите 10 очищаются от мелких дробленых частиц.

Рабочими органами агрегата служат питающее устройство с вибрирующим лотком для подачи сухих продуктов, увлажнительная система с компрессором для подачи жидких компонентов, прессующие валки и охлаждающая колонка.

Увлажнительная система (на рисунке не показана) предназначена для добавления в смесь жидких компонентов. Жидкие корма заливают в бак-смеситель, откуда они поступают в промежуточный бак, дальше в форсунку, вводящую их в распыленном виде в смесь. В форсунку подается сжатый воздух, нагнетаемый компрессором через промежуточный баллон. Предусмотрена возможность работы форсунок при подаче пара вместо воздуха. Смеситель тщательно перемешивает сухие и жидкие ингредиенты кормов.

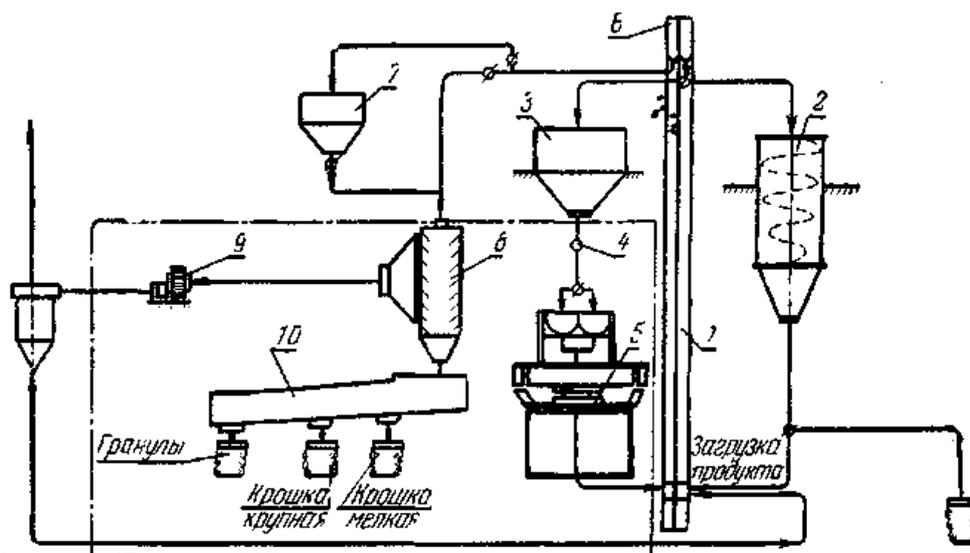


Рис. 7. Машинно-аппаратурная схема прессового агрегата для производства гранулированных кормов.

На рисунке 8, а показана схема прессующих элементов, действующих по принципу кольцевого прессования. Матрица 1 получает вращение вокруг оси 2 и передает его прессующим валкам 3. Продукт, поступающий в матрицу, попадает в зону 4 наибольшего сжатия, где и выжимается через отверстия 5, находящиеся в стенках матрицы.

На рисунке 8, б показана конструкция прессующего вала агрегата.

Для поворота осей валков на их верхней части установлено червячное колесо 1, приводимое в движение от червяка 2. На рабочей поверхности валков нарезаны рифли 3.

Эксцентриситет 4 в осях валков, равный 2,5 мм, необходим для регулирования их положения относительно внутренней поверхности матрицы в зависимости от условий прессования (видов смесей, кормов, диаметра отверстий матрицы и производительности пресса), а также для компенсации износа внутренней поверхности матрицы и наружной поверхности вала.

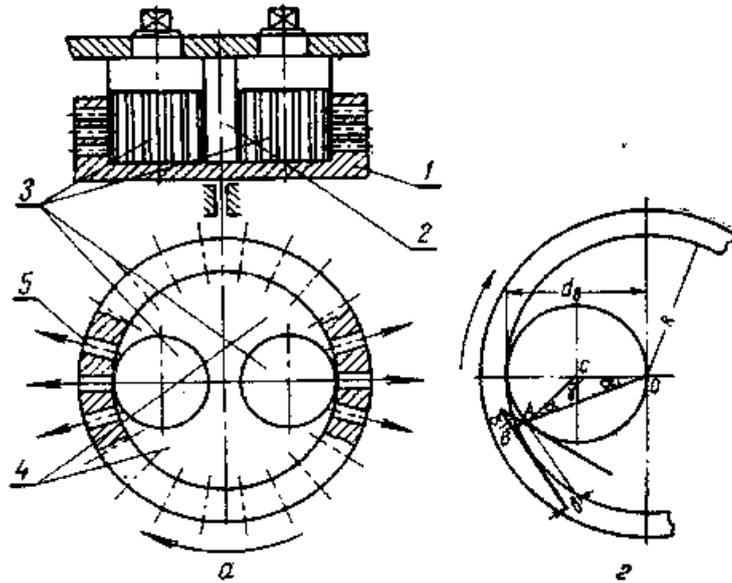


Рис. 8. Основные узлы пресса:

*a* — схема прессующих элементов; *б* — конструкция прессующего вала; *в* — конструкция матриц; *г* — расчетная схема.

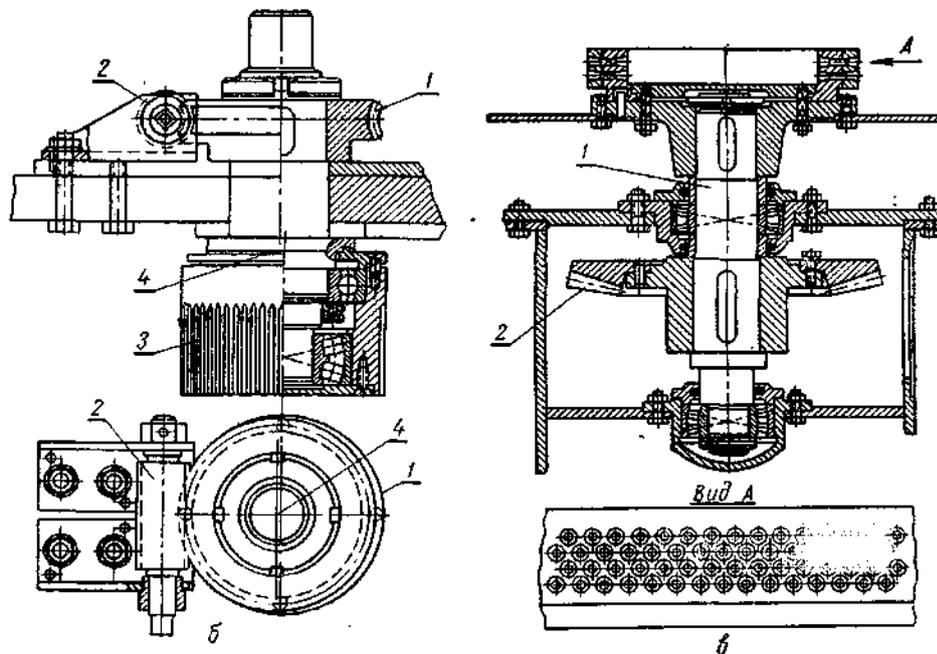


Рис. 8. Основные узлы пресса:

*a* — схема прессующих элементов; *б* — конструкция прессующего вала; *в* — конструкция матриц; *г* — расчетная схема.

На рисунке 8, в показана конструкция матрицы. Она получает вращение через вал 1 и коническую зубчатую передачу 2. Продукт увлекается в клиновидный зазор между валками и матрицей, чему способствуют рифли на рабочей поверхности валков, и выдавливается через боковые отверстия матрицы (см. рис. 8, а и б).

С наружной стороны матрицы по диаметру расположены два ножа с винтовым механизмом для регулирования их положения. Ножи разрезают на мелкие кусочки (гранулы) ленту продукта, выдавливаемого через отверстия матрицы.

Для получения гранул разных диаметров устанавливают матрицы с соответствующими отверстиями.

При этом изменится производительность прессового агрегата. Если принять, что за один оборот матрицы через нее будет продавлено каждым прессующим валком количество гранул, равное числу отверстий в ней, то общее количество корма  $q_{об}$  определится формулой:

$$q_{об} = \frac{\pi d^2}{4} l * \rho * k * z$$

где  $d$  — диаметр гранул в см;

$l$  — длина гранулы в см;

$\rho$  — плотность гранулы в момент прессования в г/см<sup>3</sup>;

$k$  — число отверстий в матрице;

$z$  — число прессующих валков.

Тогда часовая производительность прессового агрегата может быть рассчитана по формуле:

$$Q_{ч} = 0,015\pi * d^2 * l * \rho * k * z * n * x_{к2} / ч,$$

где  $n$  — число оборотов матрицы в мин.;

$x$  — коэффициент наполнения матрицы.

Важным условием, обеспечивающим максимальную производительность прессового агрегата, является правильный выбор соотношения диаметров матрицы и прессующих валков. Для обеспечения захвата корма прессующим валком необходимо выполнить условие:

$$\operatorname{tg} \alpha \leq 2 * f ,$$

где  $\alpha$  — угол захвата;

$f$  — коэффициент трения материала о поверхность матрицы.

Угол захвата  $\alpha$  определяет ширину кольца продукта  $b$  (рис. 8, г), расчет которой можно вести графическим способом. Для удобства расчета принимаем диаметр валка  $d_B$  равным радиусу матрицы  $R$ . Под углом  $\alpha$  к диаметру матрицы от точки  $O$  проводим прямую  $OB$ , которая пересекает валок в точке  $A$  и матрицу в точке  $B$ . Касательная к окружности валка в точке  $A$  и касательная к матрице в точке  $B$  образуют угол  $\alpha$ , который и является углом захвата.

В равнобедренном треугольнике  $OAC$

$$OC = CA = r_B \text{ и } \gamma = 180 - 2\alpha.$$

Сторона  $OA$  по теореме синусов будет равна:

$$OA = \frac{r_B \sin(180^\circ - 2 * \alpha)}{\sin \alpha} = \frac{r_B \sin 2\alpha}{\sin \alpha} = \frac{2r_B \sin \alpha \cos \alpha}{\sin \alpha} = 2r_B \cos \alpha = R \cos \alpha$$

Величина  $b$  определится:

$$b = AB = R - OA = R(1 - \cos \alpha),$$

Площадь основания  $S$  кольца шириной  $b$ :

$$S = \pi(R^2 - R^2 \cos^2 \alpha) = \pi R^2 (1 - \cos^2 \alpha),$$

а объем корма  $V_K$  в кольцевом слое:

$$V_K = \pi h R^2 (1 - \cos^2 \alpha),$$

где  $h$  — высота корма в матрице.

Таким образом, для обеспечения равномерной работы прессы и достижения заданной производительности необходимо выполнить следующее основное условие:

$$\frac{\pi d^2}{4} l^* \rho^* z^* k = \pi h R^2 (1 - \cos^2 \alpha) = \pi h d_B^2 (1 - \cos^2 \alpha) \quad ,$$

связывающее геометрические размеры матрицы прессующих валков с производительностью прессовых агрегатов.

В процессе прессования повышается температура матрицы до 37—43° С, а кормов — до 34—43°. Охлаждающая часть установки обеспечивает снижение температуры гранул до температуры, близкой к температуре окружающей среды.

На рисунке 9 показана прессующая часть агрегата ДПБ для приготовления гранулированных кормов производительностью до 2000 кг/ч.

Прессующая часть агрегата состоит из питающего шнека, смесителя и прессы, формирующего гранулы. Рабочим органом смесителя является вал с лопастями, угол наклона которых можно регулировать для получения необходимой эффективности смешивания.

На передней торцовой стенке смесителя установлена форсунка. В сопло подается меласса, в пространство между соплом и корпусом форсунки — пар из парораспределителя золотникового типа. Направление сопла можно регулировать посредством винтового механизма.

До поступления в форсунку меласса проходит через фильтр, представляющий собой сосуд, где установлен цилиндр с перфорированными стенками, через которые фильтруется меласса. Меласса из фильтра в форсунку подается посредством специального насоса.

Прессующая часть машины состоит из матрицы, которая расположена в вертикальной плоскости, и установленных на специальной траверсе двух прессующих валков. Оси валков расположены горизонтально. Матрица и валки изготовлены из легированной стали с термической обработкой.

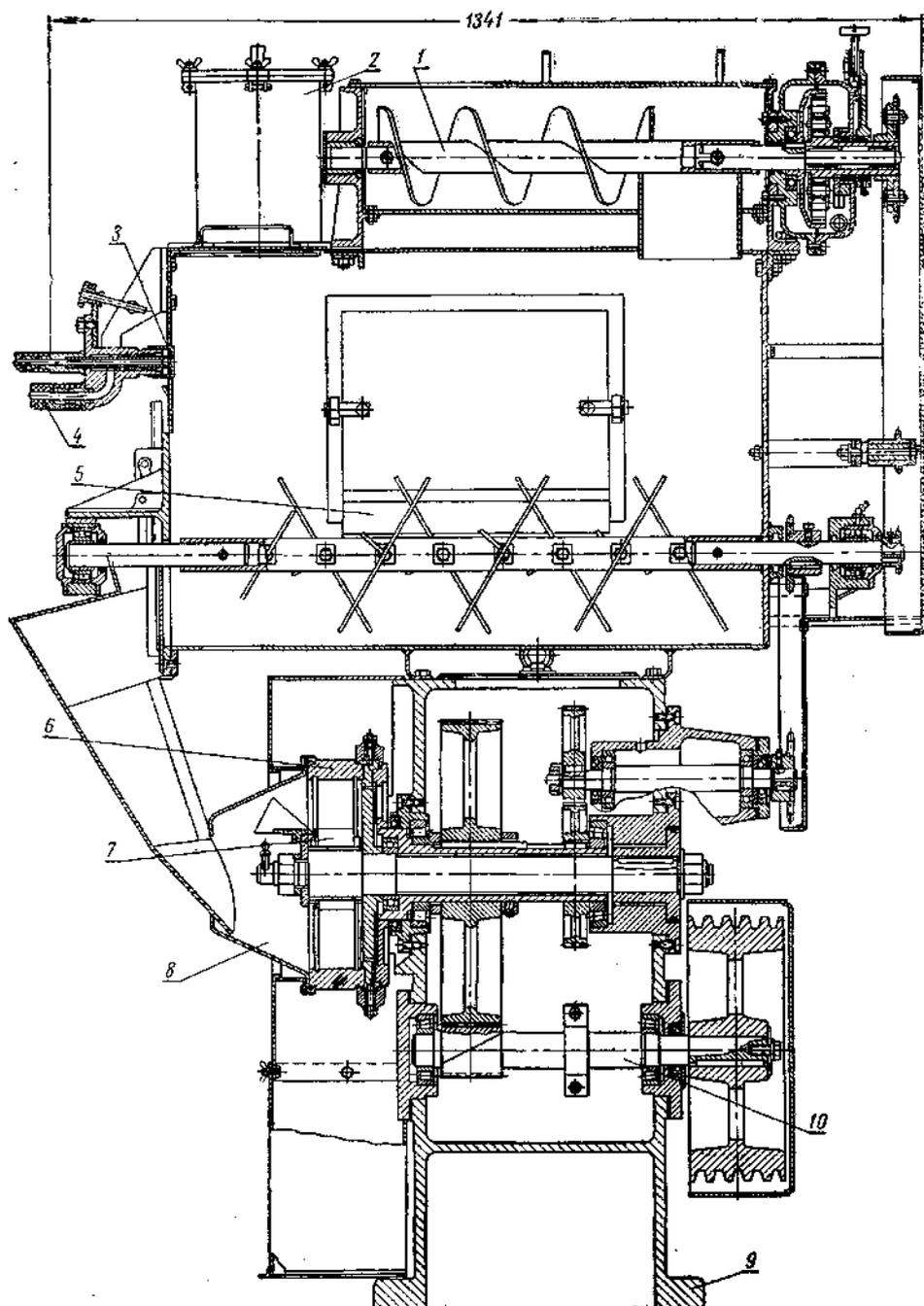


Рис. 9. Прессующая часть агрегата ДПБ для изготовления гранулированных кормов производительностью до 2000 кг/ч:  
 1 — питающий шнек; 2 — фильтр для мелассы; 3 — форсунка; 4 — канал для подачи пара; 5 — смеситель; 6 — кольцевая матрица; 7 — прессующий валок; 8 — камера для подачи смеси; 9 — станина; 10 — приводной вал.

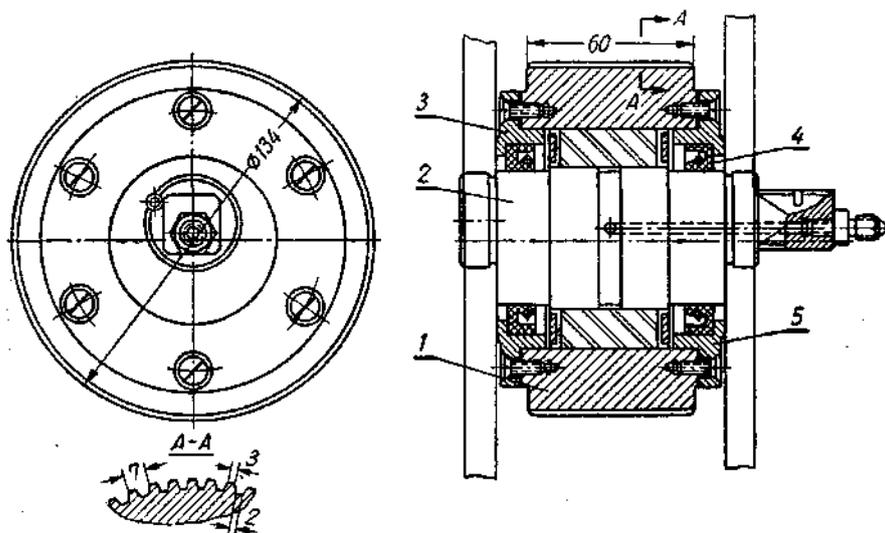


Рис. 10. Рабочий валок пресса для изготовления гранулированных комбикормов: 1 — валок; 2 — эцентриксовая ось; 3, 5 — крышки; 4 — уплотнение.

Поданная смесь различных ингредиентов попадает в клиновидный зазор между кольцевой матрицей и левым валком (рис. 10). В матрице установлен отражатель, посредством которого часть смеси направляется внутрь кольцевой матрицы и выводится в зазор между матрицей и правым валком.

В зависимости от требуемой длины гранулы обрезаются одним или двумя ножами. Если нужны гранулы большей длины, то один нож снимается. Зазор между матрицей и прессующим валком регулируется поворотом специального механизма.

На рисунке 11 показано устройство охлаждающе-сортирующей части агрегата ДСБ для изготовления гранулированных кормов производительностью до 2000 кг/ч.

Охлаждающая колонка состоит из двух секций, разделенных двумя перфорированными стенками. К боковой стенке колонки подводится воздухопровод от вентилятора. На воздухопроводах предусмотрены поворотные заслонки для регулирования воздушного режима. Воздух, проходя через колонку, охлаждает находящиеся в ней гранулы. Для выгрузки гранул в нижнем бункере смонтированы шлюзовые затворы, приводимые в движение от электродвигателя через редуктор. Выпуск гранул из шлюзовых затворов регулируется поворотными заслонками, что необходимо для сохранения постоянного уровня колонки.

Для контроля заполнения колонки установлены три мембранных датчика уровня. При достижении продуктом среднего датчика включается электродвигатель выпускного механизма; при достижении продуктом верхнего уровня включается датчик верхнего уровня. При этом подается световой сигнал, оповещающий о возможном переполнении охлаждающей колонки. Если уровень гранул в колонке значительно понизится, срабатывает датчик нижнего уровня, который включает электродвигатель механизма для выгрузки гранул.

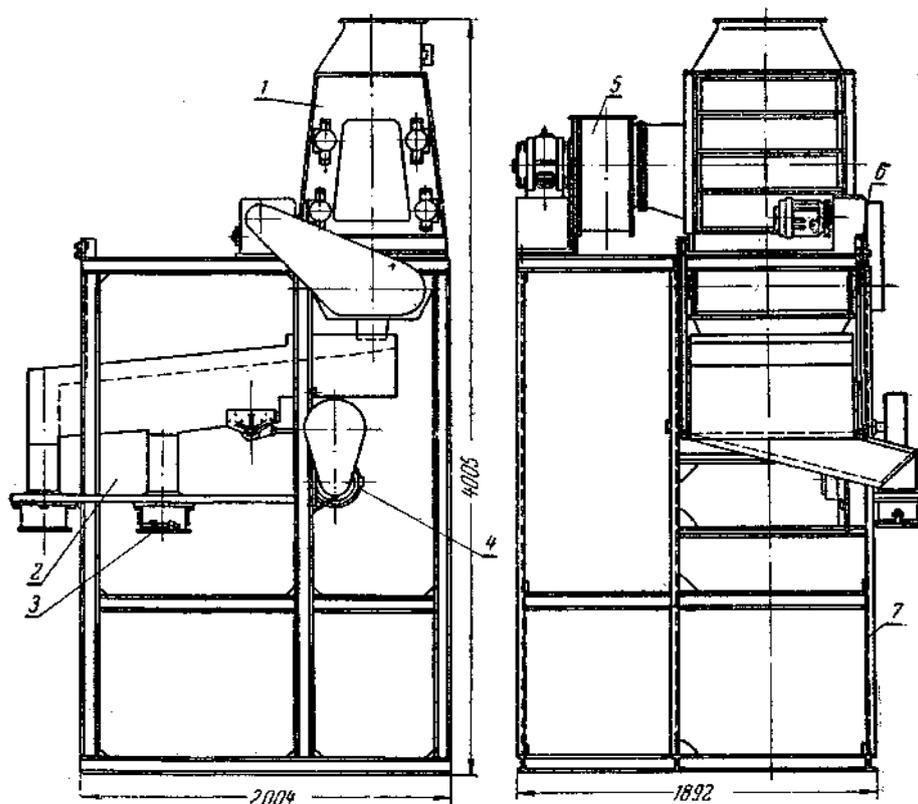


Рис. 11. Охлаждительно-сортирующая часть агрегата ДСБ для изготовления-гранулированных кормов производительностью до 2000 кг/ч:

1 — охлаждающая колонка; 2 — ситовой корпус; 3 — держатель мешков; 4 — привод ситового корпуса; 5 — вентилятор; 6 — два шлюзовых затвора для подачи гранул на сито; 7 — станина.

Ситовой корпус для отделения пыли и мелкой крошки от гранул подвешен к раме на четырех подвесках и получает возвратно-поступательные колебания. Для очистки сит предусмотрен ударный молотковый механизм.

Электрическая схема предусматривает возможность включения к выключения каждого из электродвигателей, кроме электродвигателя механизма для загрузки охладительной колонки. Последний включается: при достижении продуктом среднего уровня, т. е. при включении средних мембранных датчиков.

Процесс гранулирования следует рассматривать как непрерывное прессование, начинающее в зоне деформации определяемой углом захвата  $\alpha$  и кончающееся на линии центров матрицы и прессующего ролика.

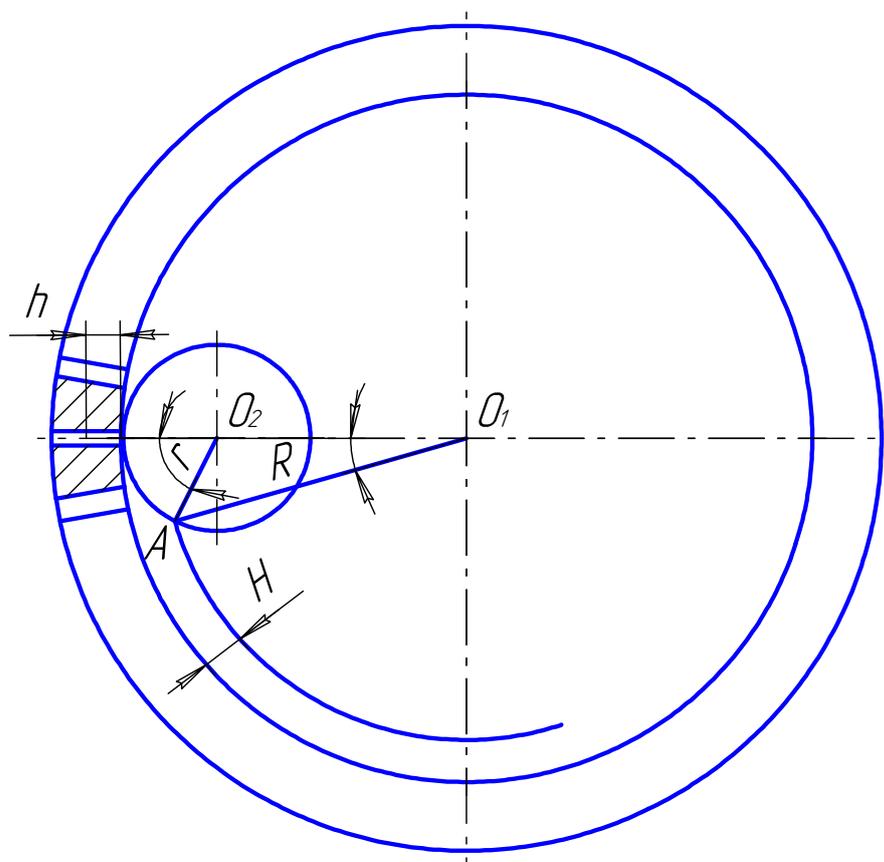


Рис. Расчетная схема.

Определение производительность пресса и мощность, необходимую для прессования путем установления аналитической зависимости средней скорости перемещения гранулы в отверстиях матрицы  $V_G$ , от основных геометрических параметров матрицы, прессующего ролика и толщины слоя комбикормовой смеси. Высота гранулы  $h$  и слой порошкообразной смеси  $H$  до прессования пропорциональны плотности прессованной гранулы  $\gamma_P$  и объемной плотности порошка  $\gamma_H$ .

$$\frac{H}{h} = \frac{\gamma_{II}}{\gamma_H} = \beta$$

отсюда

$$h = H \frac{\gamma_{II}}{\gamma_H} = \frac{H}{\beta}$$

Средняя скорость выпрессовывания  $V_{\Gamma}$  равна отношению  $h$  к времени ее деформации  $t$ ; т.е.

$$V_{\Gamma} = \frac{h}{t}$$

Величина  $h$  зависит от высоты  $H$ ;

Из треугольника  $AO_2O_1$  полученного в результате соединения точек  $O_2$ ,  $O_1$  и т.А, места встречи слоя с роликом, получим:

$$AO_1^2 = O_2O_1^2 + AO_2^2 - 2AO_2 * O_2O_1 \cos(180 - \alpha)$$

где:  $AO_1 = R - H$ ;  $O_2O_1 = R - r$ ;  $AO_2 = r$ .

После подстановки и преобразований получим:

$$H = R - \sqrt{(R - r)^2 + r^2 + 2 * r * (R - r) \cos \alpha}$$

следовательно:

$$h = \frac{R - \sqrt{(R - r)^2 + r^2 + 2 * r * (R - r) \cos \alpha}}{\beta}$$

Время деформации  $t$  слоя  $H$  определяется по числу оборотов матрицы  $n_M$  и центральному углу  $\alpha_1$ .

$$t = \frac{\alpha_1}{360 * n_M}$$

где:  $\frac{360}{\alpha_1}$  – время затрачиваемое матрицей на один оборот.

Таким образом, средняя скорость перемещения гранулы в отверстиях матрицы равно:

$$V_{\Gamma} = \frac{360 * \left[ R - \sqrt{(R - r)^2 + r^2 + 2r(R - r) \cos \alpha} \right] n_M}{\beta * \alpha_1}$$

Затем определим производительность пресса и потребную мощность его привода.

Мощность зависит от усилия трения  $F_{TP}$  при перемещении гранулы в отверстиях матрицы. Скорость перемещения  $V_{\Gamma}$  матрицы и количества одновременно перемещаемых гранул.

Сила трения гранулы  $F_{TP}$  при перемещении в круглом отверстии может быть определена на основе зависимости:

$$F_{TP} = f \frac{\mu}{1-\mu} pS = \pi f \frac{\mu}{1-\mu} d_0 h_0 p$$

где:  $f$ - коэффициент трения о стенку матрицы;

$h_0$  – Высота отверстия матрицы, см;

$\mu$  – коэффициент Пуассона;

$d_0$  – диаметр отверстия матрицы;

$p = \frac{\sigma_K}{\beta^m}$  – давление прессования, кг/см<sup>2</sup>,

$\sigma_K$  - микротвердость прессования, кг/см<sup>2</sup>;

$\beta^m = \left( \frac{\gamma_{II}}{\gamma_H} \right)^m$  - относительная плотность;

$m$  – опытный показатель степени определенный экспериментально.

Скорость  $V_{\Gamma}$  является пульсирующей от 0 до max. Зная  $V_{\Gamma}$  и  $F_{TP}$  можно определить потребную мощность привода.

$$N = z * K * \frac{F_{TP} V_{\Gamma}}{102} \text{ кВт}$$

где:  $z$  – число одновременно прессуемых гранул;

$K$  – поправочный коэффициент, учитывающий физико-механические свойства комбикормовой смеси;

$F_{TP}$  – сила трения гранулы о стенки матрицы.

Производительность пресса определяется по эмпирической формуле:

$$Q = 3,6 K_1 \psi * z_p \frac{\pi d^2}{4} n * V_{\Gamma} \text{ т/час}$$

где:  $\psi$  – объемная масса гранул данного размера, кг/м<sup>3</sup>;

$z_p$  – количество прессующих роликов;

$d_0$  – диаметр отверстий матрицы, м;

$n$  – число отверстий матрицы;

$V_{\Gamma}$  – скорость перемещения гранул в матрице;

$K_1$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние перемычек между отверстиями в матрице  $K_1=(0,14\dots 0,18)$ .