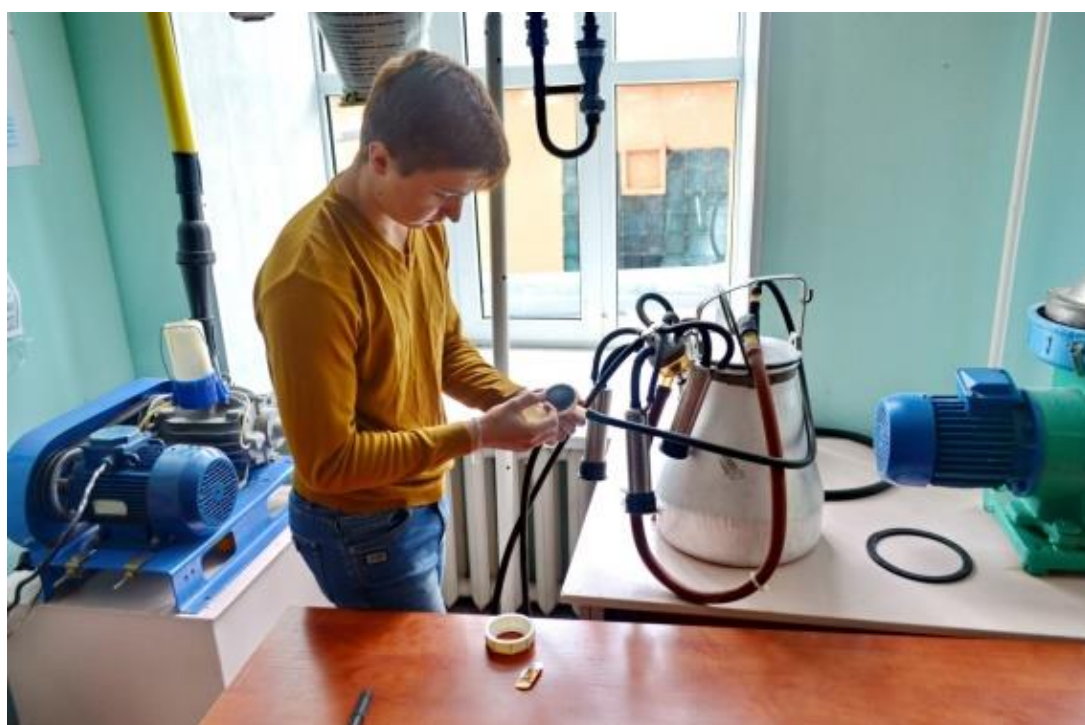


**А. В. БРУСЕНКОВ, С. М. ВЕДИЩЕВ,  
А. В. ПРОХОРОВ, А. Ю. ГЛАЗКОВ, Н. В. ХОЛЬШЕВ**

# **МЕХАНИЗАЦИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА**



**Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2023**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»**

**А. В. БРУСЕНКОВ, С. М. ВЕДИЩЕВ,  
А. В. ПРОХОРОВ, А. Ю. ГЛАЗКОВ, Н. В. ХОЛЬШЕВ**

# **МЕХАНИЗАЦИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА**

Утверждено Учёным советом университета  
в качестве учебного пособия для студентов очной и заочной форм обучения  
направлений подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»

*Учебное электронное издание*



---

Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2023

УДК 631.171:636  
ББК 40.715я73  
М55

Рецензенты:

Кандидат технических наук,  
заведующий лабораторией управления качеством  
технологических процессов в животноводстве ФГБНУ «ВНИИТиН»  
*В. И. Доровских*

Кандидат педагогических наук, доцент,  
доцент кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов»  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
*А. И. Попов*

М55 **Механизация** животноводства [Электронный ресурс] : лабораторный практикум /  
А. В. Брусенков, С. М. Ведищев, А. В. Прохоров, А. Ю. Глазков, Н. В. Хольшев. – Тамбов :  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). –  
Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 3,1 Mb ; RAM ;  
Windows 95/98/XP мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2574-6

Рассмотрены вопросы технологии, механизации и автоматизации процессов в животноводстве; изложены основы современной технологии производства продукции животноводства; дано краткое описание конструкций и принципов работы используемого в животноводстве оборудования. Практикум разработан в соответствии с примерными программами дисциплин «Машины и оборудование в животноводстве», «Технология производства продукции животноводства», «Механизированные технологии, техническая эксплуатация, ремонт и проектирование сельскохозяйственной техники» и оформлен в виде отдельных лабораторных работ. В каждой работе рассмотрены отдельные группы машин и оборудования в соответствии с их классификацией и технологическим назначением; освещены вопросы эксплуатации оборудования. Каждая лабораторная работа включает цель, содержание, отчетность и контрольные вопросы.

Предназначено для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки 35.03.06 «Агроинженерия».

УДК 631.171:636  
ББК 40.715я73

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.  
Незаконное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-2574-6

© Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический  
университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2023

## ВВЕДЕНИЕ

---

Лабораторный практикум по механизации животноводства предназначен для студентов высших учебных заведений инженерных специальностей. Рассмотрены устройство, принцип действия оборудования используемых для механизации животноводческих ферм.

Увеличение производства продукции животноводства невозможно без комплексной механизации и автоматизации технологических процессов по уходу за животными и птицей, при которых облегчается труд животноводов, снижается потребность в рабочей силе на фермах и птицефабриках, улучшается качество выпускаемой продукции и снижается ее себестоимость. Технология производства животноводческой продукции очень сложна, поскольку заготавливаемые корма перерабатываются животными и птицей, которые в свою очередь обслуживаются целыми комплексами машин и оборудования. Количественный и качественный рост энергонасыщенности современного животноводства, применяемое обилие технологических машин и оборудования требует от инженера определенного уровня технической подготовки, позволяющего ориентироваться в современной технике.

Цель данного практикума – помочь студентам инженерных факультетов изучить машины и оборудование, применяемые в животноводстве.

Практикум состоит из 17 лабораторных работ, различных по своему содержанию. Лабораторные работы выполняются звеньями по 2 – 4 человека.

Тематика работ охватывает не все оборудование, изучаемое на курсе, а лишь основные их типы для приготовления кормов, удаления навоза и исследования физико-механических свойств кормов, представлено устройство, принцип действия и регулировки машин и оборудования. Представлены методики исследования основных параметров работы данного оборудования.

## ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

*Общие правила безопасности труда учащихся при выполнении лабораторных работ.*

Работа по охране труда, выполняемая специалистами сельского хозяйства, регламентируется большим количеством различных положений, законодательных актов, стандартов безопасности, правил, инструкций, санитарных норм. В современном сельскохозяйственном производстве технологические процессы по возделыванию и уборке сельскохозяйственных культур, выращиванию животных, ремонту техники, погрузке и транспортировке грузов выполняют с помощью машин нескольких тысяч наименований. Для каждой из них разработаны требования безопасности, которые необходимо выполнять. Перед проведением каждой работы студенты дополнительно проходят инструктаж на рабочем месте. После каждого вида инструктажа учащиеся должны расписаться в специальном журнале, который постоянно хранится у преподавателя. Инструктаж и обучение безопасным приемам труда – одно из важнейших мероприятий по профилактике производственного травматизма.

При выполнении практических и лабораторных работ учащимся можно включать машины и оборудование только с **РАЗРЕШЕНИЯ** преподавателя после изучения устройства и принципа работы оборудования, а также правил его эксплуатации. Перед включением машины в работу учащийся вместе с преподавателем или мастером производственного обучения должен проверить правильность сборки установки, исправность ее сборочных единиц, сохранность токопроводов и изоляции, надежность крепления контактов и соединений, наличие заземления (зануления) металлических элементов установки. Учащимся запрещается самостоятельно проводить любой ремонт. Перед запуском машины в работу на конкретном рабочем месте учащиеся, выполняющие одну практическую работу, распределяют между собой обязанности по участию в работе. Обязательно назначается старший учащийся, отвечающий за пуск и остановку машины, а также осуществляющий общее наблюдение за ходом работы. Перед пуском машины необходимо вручную, за шкив, повернуть вращающийся рабочий орган и удостовериться в отсутствии посторонних предметов в камере рабочего органа. При загрузке бункера машины кормом следует убедиться, что в бункер не попали металлические детали, камни и другие посторонние предметы. Перед пуском убеждаются, что никто из присутствующих не подвергнется опасности. Работы, связанные с регулировкой и смазкой машины, проводят только при отключенной электросети. При этом на силовом шкафу и пульте управления необходимо вывешивать плакат «**Не включать**». Основы безопасности труда при выполнении практических работ.

### *Техника безопасности при работе с кормоприготовительным оборудованием*

При изучении кормоприготовительных машин надо быть особенно осторожными, так как их активные, измельчающие рабочие органы вращаются с высокой частотой и развивают значительные инерционные силы. Необходимо следить за тем, чтобы частота и направление вращения соответствовали указанному в инструкции. Подача кормов в машину должна быть равномерной.

Категорически **ЗАПРЕЩАЕТСЯ** проталкивать их руками под прессующие вальцы, к режущему аппарату или в приемную горловину.

При забивании рабочих органов необходимо включить реверс, т.е. обратный ход для устранения забивания, а очищать рабочие органы можно только при остановленной машине и выключенном рубильнике. **ЗАПРЕЩАЕТСЯ** стоять во время работы кормоизмельчителей против выбрасываемой массы, а площадку вокруг машины необходимо тщательно очищать, чтобы вместе с кормами в машину не попали посторонние предметы. Не следует также класть посторонние предметы на питающие транспортеры и защитные кожухи. Чтобы убедиться в отсутствии посторонних предметов внутри закрытых кожухов, перед включением двигателя нужно повернуть вручную рабочие органы машины за шкив. Все зубчатые, ременные и цепные передачи машины должны быть ограждены защитными кожухами. Корпусы электродвигателей и пусковых кнопок должны быть надежно заземлены.

## *Техника безопасности при работе с внутрифермским транспортом и транспортерами*

При эксплуатации внутрифермского транспорта и транспортеров надо быть предельно внимательным и строго соблюдать установленные правила безопасности труда. Так, при использовании кормораздатчика КТУ-10А запрещается работать на поворотах свыше 15°, поворачивать трактор относительно его продольной оси на 45°, запрещается при работающем транспортере проталкивать корм и очищать бункер, а также перевозить людей в бункере кормораздатчика. Все металлические части стационарных транспортеров-раздатчиков должны быть занулены, а передачи и движущиеся рабочие органы защищены кожухами.

Очищать рабочие органы кормораздатчиков, смазывать и регулировать их разрешается только при выключенном рубильнике. При изучении и техническом обслуживании ленточно-тросовых кормораздатчиков со смесителями-дозаторами надо соблюдать осторожность, особенно при очистке приводных барабанов от налипания кормов. Это следует делать удлиненной деревянной лопаткой. При этом надо следить, чтобы руки не попали под движущуюся ленту и барабан. В местах поперечных проходов следует установить переходные настилы со ступеньками над лентой кормораздатчика.

При работе кормораздатчиков колебательного типа с эксцентриковым механизмом нельзя стоять близко у торцов колеблющегося желоба, допускать ослабление приводных механизмов. Перед пуском надо своевременно проверить крепления всех соединений и подать сигнал о включении.

Приводные и натяжные устройства навозотранспортеров необходимо оградить. Желоба в проходах и у ворот должны быть сверху закрыты щитами. Люки для прохода навоза на наклонный транспортер ограждают перилами из стальных труб высотой не менее 1,6 м.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРМОВ

*Цель работы:* ознакомление со способами получения характеристик физико-механических свойств кормов и экспериментальное определение этих характеристик.

*Задание.*

1. Определить угол естественного откоса.
2. Определить углы насыпания и обрушения.
3. Определить начальное сопротивление сдвигу.
4. Определить коэффициенты внутреннего и внешнего сдвига.

### Методические указания

Перед выполнением лабораторной работы студент должен, пользуясь [1], ознакомиться с основными физико-механическими свойствами кормов и их влиянием на энергетические и качественные показатели работы дозирующих и транспортирующих устройств.

*Устройство и принцип работы лабораторной установки.*

В состав лабораторной установки входят: установка для определения коэффициентов внутреннего и внешнего трения (трибометр) с набором пластин из стали, полистирола, фанеры, прибор для определения угла естественного откоса, прибор для определения угла насыпания и обрушения, а также определения максимальной ширины сводообразующей дели, сыпучие корма, мерная емкость, измерительный инструмент.

В толще насыпных кормов могут возникнуть напряжение сжатия  $\delta$  и касательное напряжение среза  $\tau$ , (рис. 1). На рисунке показан график предельных касательных напряжений, построенных по результатам испытаний на трибометре (рис. 2). По опытным значениям  $\delta$  и  $\tau$  строят прямую предельных касательных напряжений  $aC$ , рис. 1,  $a$ . Эта прямая в общем случае пересекает ось координат выше точки  $O$ , что характеризует связанность материала. Отрезок  $Oa$  определяет начальное сопротивление сдвигу  $\tau_0$ . У легкосыпучих материалов  $\tau = 0$  (рис. 1). Угол  $\varphi^\circ$  называют углом внутреннего трения.

Коэффициент внешнего трения  $f$  – это коэффициент трения сыпучего материала о твердую поверхность, его определяют также при помощи трибометра.

Трибометр состоит из желоба 2 (рис. 2) и рамки 7. Рамка 7 опирается катками 5 на верхние направляющие 4 и соединена с грузовой чашкой 1 шнуром, перекинутым через блок 8. Исследуемый материал в рамке 7 прижимается к материалу желоба пластинами 6. При определении коэффициента внешнего трения сыпучего корма о твердую поверхность на нижние направляющие 3 устанавливается пластина из твердого материала.

Прибор для определения углов насыпания, обрушения и максимальной ширины сводообразующей щели состоит из коробки 1 (рис. 4, 5) с шибровой заслонкой 2. В заслонке 2 есть круглое отверстие 3. Кроме того, у коробки 1 имеется прямоугольное отверстие 4. Коробка 1 закреплена на подставке 5. Подставка 5 установлена на пластине 6.

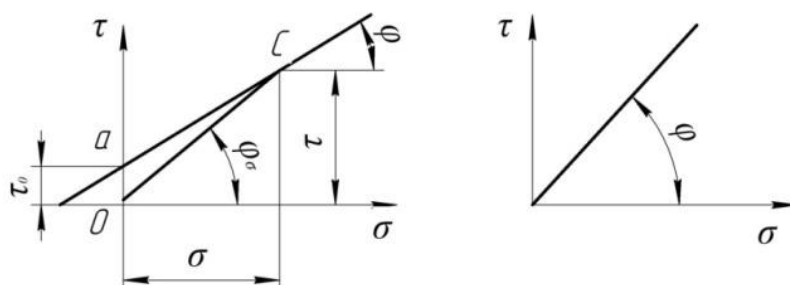
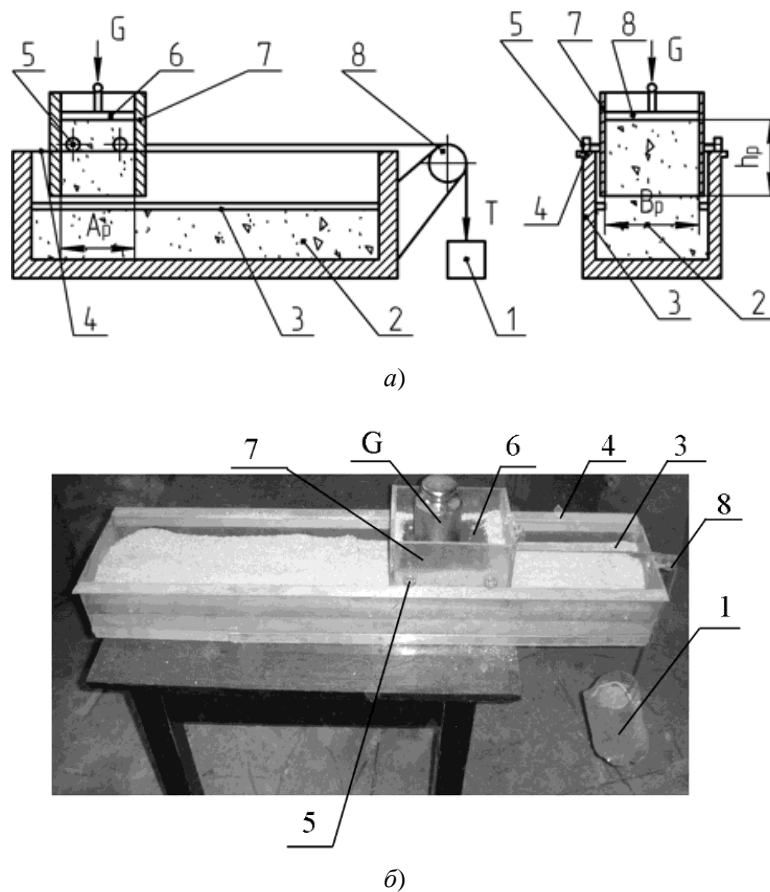


Рис. 1. График предельных касательных напряжений



**Рис. 2. Трибометр:**  
*a* – схема; *б* – общий вид

### Порядок выполнения работы

Определить объемную массу насыпного материала. Для чего взвесить мерный сосуд массой  $m_1$ , насыпать в мерный сосуд исследуемый материал. Заметить объем  $V$ , занимаемый исследуемым материалом в мерном сосуде, взвесить мерный сосуд с исследуемым материалом массой  $m_2$ . Объемную массу насыпного материала определить по формуле

$$\gamma_0 = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 9,81}{V},$$

где  $m_1$  – вес мерного сосуда, кг;  $m_2$  – вес мерного сосуда с исследуемым материалом, кг;  $V$  – объем, занимаемый исследуемым материалом в мерном сосуде, м<sup>3</sup>.

Эксперимент повторить 3 – 5 раз. Экспериментальные и расчетные данные занести в табл. 1.

Определить угол естественного откоса  $\alpha_0$ . Для чего установить цилиндр *1* (рис. 3) на плоскость *3*, наполнить насыпным материалом доверху и затем медленно поднять на высоту  $h$ . При этом направляющая *2* должна касаться плоскости *3*. Находящийся в цилиндре *1* материал вытекает и располагается под углом естественного откоса. Замерить длину основания  $A_0$  рассыпавшегося материала на пластине *3* и внутренний диаметр  $d$  цилиндра *1*. Определить коэффициент внутреннего трения  $f = \text{tg}\alpha_0$  по формуле

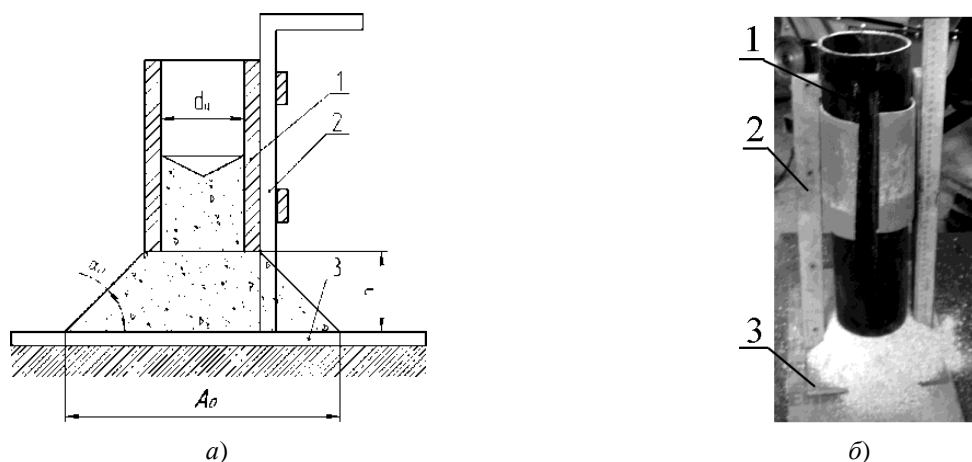
$$f = \text{tg}\alpha_0 = \frac{2h}{A_0 - d},$$

где  $h$  – высота подъема цилиндра над пластиной, м;  $A_0$  – длина основания материала, рассыпавшегося на пластине, м;  $d$  – внутренний диаметр цилиндра, м.



## 1. Результаты эксперимента и расчета для определения угла внутреннего трения

№ опыта	$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$V$ , м <sup>3</sup>	$\gamma_0$ , Н/м	$h$ , м	$A_0$ , м	$d$ , м	$\text{tg}\alpha_0$	$\alpha_0$ , °
1									
2									
3									
4									
5									
Средн.				Ср.				Ср.	



**Рис. 3. Схема прибора к определению угла естественного откоса:**

1 – цилиндр; 2 – стойка крепления цилиндра; 3 – подставка

Определить угол внутреннего трения  $\alpha_0$  по формуле

$$\alpha_0 = \arctg\left(\frac{2h}{A_0 - h}\right).$$

Эксперимент повторить 3 – 5 раз. Расчетные и опытные данные занести в табл. 1.

Определить углы насыпания  $\alpha_n$  и обрушения  $\alpha_{об}$ . Для этого собрать прибор согласно рис. 4.

Насыпать исследуемый материал в коробку 1 и выровнять по краям коробки 1. Установить шиберную заслонку 2 так, чтобы продольное отверстие 4 в коробке 1 совпало с отверстием 3 в шиберной заслонке 2. Материал начнет высыпаться из коробки 1 на прямоугольную пластину б. Тангенс угла насыпания  $\text{tg}\alpha_n$  определить по формуле

$$\text{tg}\alpha_n = \frac{2h_1}{A_n},$$

где  $h_1$  – высота рассыпающегося материала на пластине, м;  $A_n$  – средний диаметр основания рассыпавшегося материала на пластине, м.

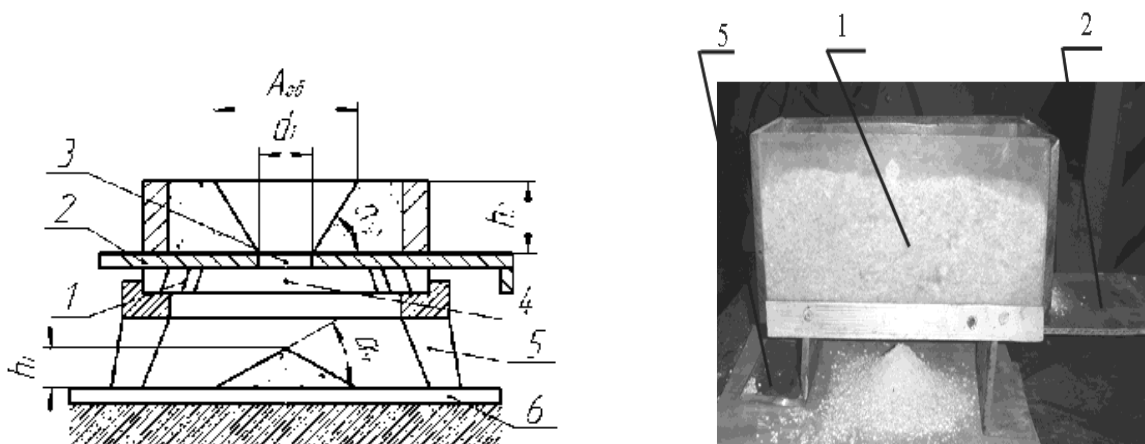
Эксперимент повторить 3 – 5 раз. Расчетные и экспериментальные данные занести в табл. 2.

Определить тангенс угла обрушения по формуле

$$\text{tg}\alpha_{об} = \frac{2h_2}{A_{об} - d_1},$$

где  $h_2$  – высота стенки коробки, м;  $A_{об}$  – средний диаметр внешнего конуса обрушившегося материала в коробке, м;  $d_1$  – диаметр отверстия в шиберной заслонке, м.

Эксперимент повторить 3 – 5 раз. Расчетные и экспериментальные данные занести в табл. 2.



**Рис. 4. Схема к определению углов насыпания и обрушения:**

1 – рамка; 2 – подвижная заслонка; 3 – отверстие в пластине;

4 – отверстие в коробке; 5 – подставка; 6 – пластина

## 2. Результаты эксперимента и расчета для определения угла внутреннего трения

№ опыта	$h$ , м	$A_n$ , м	$\text{tg}\alpha_n$	$\alpha_n$ , °	$h_2$ , м	$A_{об}$ , м	$d_1$ , м	$\text{tg}\alpha_{об}$	$\alpha_{об}$ , м	$b$ , м	$a_c$ , м	$\tau_0$ , Па	$f$	$\varphi$ , °
1														
2														
3														
4														
5														
Средн.														

Определить начальное сопротивление сдвигу  $\tau_0$ . Для чего определить наибольшую ширину сводообразующей щели прибором, представленным на рис. 5. В начале опыта заслонка 2 закрыта. Наполнить коробку 1 исследуемым материалом. Затем перемещать заслонку 2 так, чтобы образовалась щель между заслонкой 2 и прямоугольным отверстием 4 в коробке 1.

После того, как небольшая часть материала, находящегося непосредственно в щели, высыпается из сосуда, над ней образуется свод. Заслонку 2 открывают до тех пор, пока не будет достигнута ширина щели, обеспечивающая свободное вытекание исследуемого материала без образования устойчивых сводов. В этом случае начальное сопротивление сдвигу  $\tau_0$  определить по формуле

$$\tau_0 = \frac{ba_c\gamma_0}{3,2(ba_c)}, \text{ Па,}$$

где  $b$  – длина щели, м;  $a_c$  – ширина щели, м.

Эксперимент повторить 3 – 5 раз. Опытные и расчетные данные занести в табл. 2.

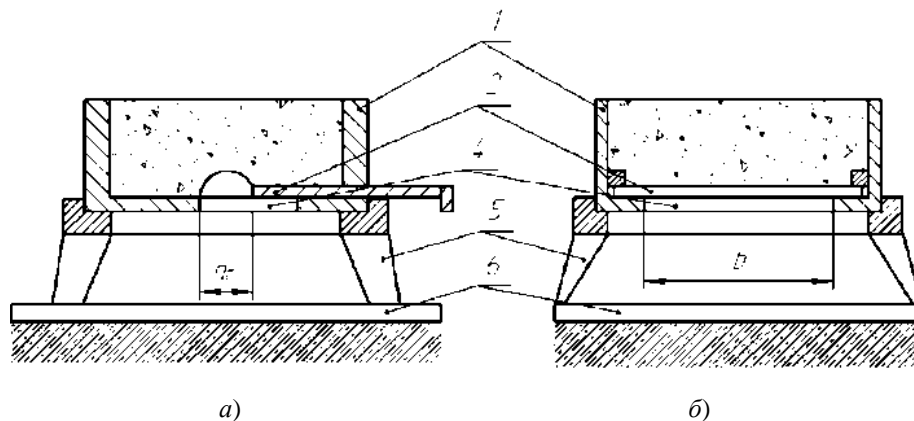
Определить коэффициент внутреннего трения  $f$  материала по формуле

$$f = \text{tg}\alpha_n - \frac{\tau_0}{h_1\gamma_0}.$$

Определить угол внутреннего трения  $\varphi$  по формуле

$$\varphi = \text{arctg}(f).$$

Полученные данные занести в табл. 2.



**Рис. 5. Схема к определению максимальной свообразующей щели:**  
 а – схема прибора; б – общий вид; 1 – коробка; 2 – заслонка; 3 – отверстие  
 в заслонке; 4 – отверстие в коробке; 5 – подставка; 6 – пластина

Определить коэффициент внутреннего сдвига  $f_c$ . Для чего рамку 7 и желоб 2 прибометра (см. рис. 2) заполнить насыпным материалом. Порцию материала, лежащего в рамке 7, прижать к материалу в желобе 2 пластинами 6 с грузом. Нагружать грузовую чашку 1 до тех пор, пока рамка 7 не станет двигаться. Происходит срез материала. Записать вес  $T_1$  грузовой чашки 1, при котором происходит срез материала.

Определить напряжение сжатия  $\delta$  по формуле

$$\sigma = \frac{9,81 \cdot (G_1 + G_2 + G_3)}{F},$$

где  $G_1$  – вес прижимных пластин, кг;  $G_2$  – вес груза на прижимной пластине, кг;  $G_3$  – вес материала в рамке, кг;  $F$  – площадь материала в подвижной рамке, м<sup>2</sup>.

Вес материала в подвижной рамке определить по формуле

$$G_3 = a_1 b_1 h_p \gamma_0,$$

где  $a_1$  – длина подвижной рамки, м;  $b_1$  – ширина подвижной рамки, м;  $h_p$  – высота материала в подвижной рамке, м.

Площадь материала в подвижной рамке определить по формуле

$$F = a_1 b_1.$$

Эксперимент повторить 3 – 5 раз, экспериментальные и расчетные данные занести в табл. 3.

Определить касательные напряжения среза  $\tau$  по формуле

$$\tau = \frac{(T_1 - T_p) \cdot 9,81}{F},$$

где  $T_1$  – сопротивление сдвига рамки с материалом, кг;  $T_p$  – сопротивление подвижной рамки, кг.

Определить коэффициент внутреннего сдвига по формуле

$$f_b = \text{tg} f_b = f + \frac{\tau_0}{\sigma}.$$

Эксперимент повторить 3 – 5 раз. Расчетные и экспериментальные данные занести в табл. 3.

Определить коэффициент подвижности материала  $m$ . Для идеально сыпучего материала коэффициент подвижности определяется по формуле

$$m_i = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}.$$

### 3. Результаты расчетов и экспериментальных исследований

№ опыта	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$a_1$	$b_1$	$h_p$	$F$	$\sigma$	$T_1$	$T_p$	$f_b$	$\tau$	$m'$	Сталь		Полистерол	
														$T_2$	$f_1$	$T_2$	$f_1$
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
Средн.																	

Для легкосыпучих материалов приближенное значение коэффициента подвижности определить по формуле

$$m_i = \frac{0,18}{f}$$

Коэффициент подвижности связанных материалов зависит от начального сопротивления сдвигу  $\tau_0$ . Определить по формуле

$$m' = m_i - (1 - m_i) \frac{\tau_0}{f\sigma_1},$$

где  $m_i$  – коэффициент подвижности идеального сыпучего материала, имеющего тот же коэффициент внутреннего трения, что и рассматриваемый материал;  $\sigma_1$  – наибольшее главное напряжение в рассматриваемой точке, Па,

Полученные данные занести в табл. 3.

Построить график предельных касательных напряжений для исследуемого материала согласно рис. 1.

Определить коэффициент трения  $f_1$  насыпного материала о твердую поверхность (коэффициент внешнего трения). Для этого под рамку 7 трибометра (см. рис. 2), на направляющие 3 уложить полоску твердого материала (металл, дерево, полистирол и др.). Наполнить рамку 7 трибометра сыпучим материалом и прижать его к полоске твердого материала под рамкой 7 пластиками 6 с грузом.

Нагружаем грузовую чашку 1 до тех пор, пока рамка 7 не станет двигаться. Записываем вес  $T_2$  грузовой чашки 1, при котором происходит сдвиг рамки 7. Эксперимент повторить 3 – 5 раз. Определить коэффициент внешнего трения  $f_1$  по формуле

$$f_1 = \frac{T_2 - T_p}{G_1 + G_2 + G_3},$$

где  $T_2$  – вес грузовой чашки, при котором происходит сдвиг насыпного материала по твердой поверхности, кг.

Экспериментальные и расчетные данные занести в табл. 3.

### **Содержание отчета**

Цель работы и задание. Заполнение табл. 1 – 3 с результатами расчетов и измерений. График предельных касательных напряжений. Выводы по результатам работы и расчета.

### **Контрольные вопросы**

1. Как определить коэффициент внутреннего трения?
2. Какое влияние на конструкцию бункеров оказывают углы откоса и обрушения?
3. Какое влияние на конструкцию объемных дозаторов оказывает численное значение коэффициента трения?

Литература: [1, с. 5 – 15], [2, с. 11 – 18].

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ТАРЕЛЬЧАТОГО ДОЗАТОРА КОРМОВ

*Цель работы:* знакомство с объемными дозаторами кормов, теоретическое и экспериментальное определение производительности тарельчатого дозатора типа ДТК и мощности на его привод.

*Задание.*

1. Ознакомиться с конструктивно-технологическими схемами объемных дозаторов сыпучих и стебельных кормов.
2. Изучить тарельчатый дозатор ДТК.
3. Определить теоретическую производительность и мощность на привод тарельчатого дозатора ДТК.
4. Экспериментально определить действительную производительность и мощность на привод тарельчатого дозатора ДТК при различных положениях подвижного цилиндра.

### Методические указания

Перед выполнением лабораторной работы студент должен изучить устройство и принцип работы объемных дозаторов сыпучих и стебельных кормов [1 – 4]. Дать оценку этим дозаторам в отношении их подготовленности для автоматического (оперативного) изменения дозы выдачи кормов.

### Устройство и принцип работы лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят: тарельчатый дозатор типа ДТК, весы, ваттметр и сыпучий материал.

Схема тарельчатого дозатора ДТК показана на рис. 6. Дозатор состоит из корпуса 1, закрепленных на валу червячного редуктора 10 тарели 2 и побудителя 3, установленного над ним подвижного цилиндра 4 с регулировочной гайкой 6 с рукояткой 7, поворотом которой изменяется зазор между цилиндром 4 и тарелью 2. Для приема корма на корпус установлен бункер 5, а для сброса компонентов с тарели 2 в самотечную трубу 9 на ней установлен нож 8. Привод дозатора осуществляется от электродвигателя 11. Основные технические характеристики дозатора приведены в [3].

Работает дозатор следующим образом. Из приемного бункера 5 компоненты поступают в цилиндр 4, высыпаются на тарель 2 и затем за каждый ее оборот с нее снимается с помощью ножа 8 порция материала, расположенная на тарели 2 в виде кольца треугольного сечения (см. рис. 7), и сбрасывается в самотечную трубу.

### Порядок выполнения работы

Изучить инструкцию по технике безопасности при работе с дозатором.

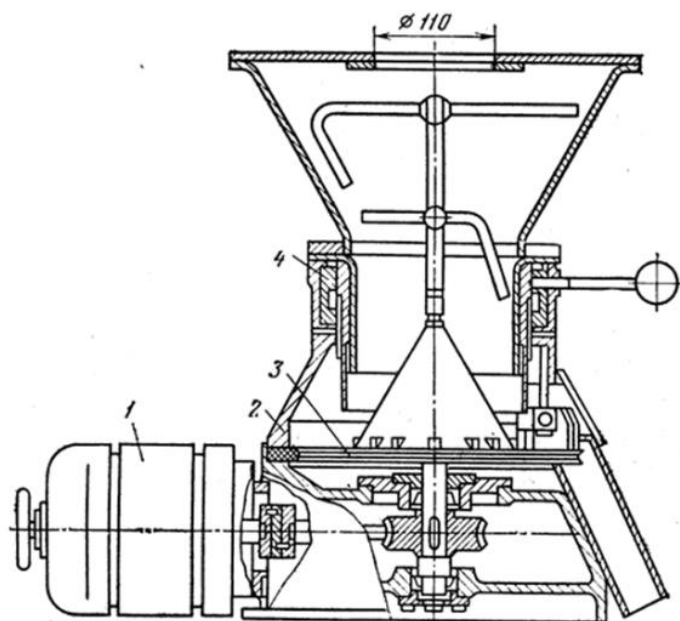
Пользуясь методичкой [3], изучить устройство и работу тарельчатого дозатора ДТК.

Определить теоретическую производительность дозатора для определения высот подъема цилиндра по формуле

$$Q_{Th_a} = h_i^2 n \rho \left[ R + \left( \frac{h_i}{3 \operatorname{tg} \alpha_0} \right) \right] / 2 \operatorname{tg} \alpha_0,$$

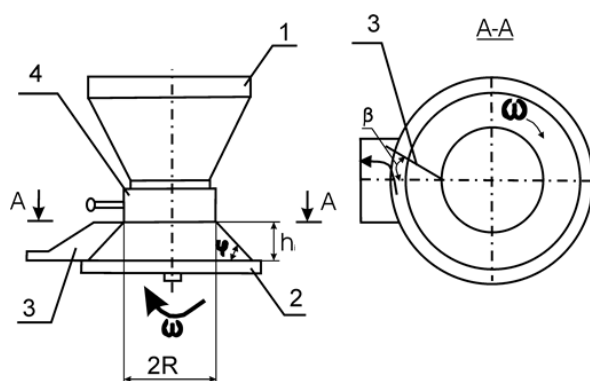
где  $h_i$  –  $i$ -я высота подъема цилиндра над тарелью, м;  $n$  – частота вращения тарели,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\rho$  – объемная масса дозируемого материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $R$  – внутренний радиус цилиндра, м ( $R = 140$  мм);  $\alpha_0$  – угол естественного откоса дозируемого материала.

Значения  $\rho$ ,  $\alpha_0$  взять из результатов, полученных в лабораторной работе № 1.



**Рис. 6. Схема тарельчатого дозатора:**

1 – электродвигатель; 2 – корпус; 3 – тарель; 4 – цилиндр с подъемным устройством



**Рис. 7. Расчетная схема тарельчатого дозатора:**

1 – корпус; 2 – тарель; 3 – нож; 4 – цилиндр; 5 – бункер; 6 – регулировочная гайка;  
7 – рукоятка; 8 – побудитель; 9 – самотечная труба; 10 – привод дозатора

Рассчитать мощность на привод дозатора по формуле

$$N = h_i^2 \rho g f \omega R \pi \left[ R + \left( \frac{h}{3 \operatorname{tg} \alpha_0} \right) \right] (1 + \cos \beta / 2) \frac{k_2}{\operatorname{tg} \alpha_0},$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения тарели,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\beta$  – угол установки скребка (замерить на установке);  $f$  – коэффициент трения материала о скребок,  $k_2$  – коэффициент, учитывающий другие сопротивления ( $k_2 = 1,5 \dots 2,0$ )

Значения  $f$  берем из результатов, полученных в лабораторной работе № 1.

С разрешения преподавателя засыпать дозируемый материал в бункер 5 и установить первоначальную высоту подъема цилиндра 4 над тарелью 2,  $h = 5$  мм. Время дозирования фиксировать по секундомеру и принять не более 10 с.

Определить действительную производительность тарельчатого дозатора  $Q_{dh_i}$  при различных  $h_i$ :

$$Q_{dh_i} = \frac{G_{h_i}}{t_i},$$

где  $G_{h_i}$  – масса дозы корма при высоте цилиндра над тарелью  $h_i$ , кг;  $t_i$  – время дозирования, с.

Опыты при каждом  $h_i$  повторить не менее 3 раз.

При максимальной высоте подъема цилиндра с помощью ваттметра замерить мощность на привод дозатора  $N_d$ .

Данные измерений и расчетов внести в табл. 4.

Определить среднее значение абсолютной погрешности дозатора по формуле

$$\bar{\delta} = \sum_{i=1}^m \frac{(Q_{дh_i} - Q_{тh_i})}{m},$$

где  $m$  – число измерений при каждой высоте  $h_i$ .

Рассчитать среднеквадратичную погрешность дозирования по формуле

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{(Q_{дh_i} - Q_{тh_i})^2}{m}}.$$

Рассчитать относительную погрешность дозирования  $v$  (коэффициент вариации) по формуле

$$v = \pm 100 \cdot \frac{S}{Q_{дh_i}},$$

где  $\bar{Q}_{дh_i}$  – среднее значение производительности дозатора в пробах при  $h_i$ .

Построить график зависимости:  $Q_t = f(h)$ ,  $Q_d = f(h)$ .

#### 4. Результаты эксперимента и расчета

№ опыта	$h$	$G_{h_i}$	$t_i$	$Q_{g_i}$	$\bar{Q}_{g_i}$	$Q_{т_i}$	$\bar{\delta}$	$S$	$v$	$N_{п}$	$N_{д_i}$	$N_{т_i}$
1												
2												
3												
Средн.												

#### Содержание отчета

Схема тарельчатого дозатора и описание его работы. Таблица экспериментальных и расчетных данных. Графики зависимостей. Выводы по проделанной работе.

#### Контрольные вопросы

1. Рассказать про устройство и работу дозаторов типа ДТК, ДК-10, ДП-1, ПЗМ-1,5, БДК-Ф-70-20.

2. Как определить производительность и мощность тарельчатого дозатора?

3. Характеристики качества дозирования кормов.

Литература: [1, с. 76 – 82], [2, с. 60 – 78], [3, с. 113 – 134, с. 305 – 322], [4, с. 232 – 256].



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ

*Цель работы:* определение основных параметров, характеризующих процесс измельчения и анализ гранулометрического состава продуктов измельчения.

*Задание.*

1. Экспериментально определить основные параметры процесса дробления.
2. Определить гранулометрический состав продуктов измельчения зерна.
3. Экспериментально определить основные параметры процесса дробления.

### Методические указания

Перед выполнением лабораторной работы студент, пользуясь [4, 5], должен:

- ознакомиться с механизмом разрушения твердых тел;
- изучить основные характеристики физико-механических свойств зерновых кормов;
- ознакомиться с основами теории измельчения кормов.

### Устройство и принцип работы лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят: установка для дробления материала, рис. 8, технические весы, набор сит, мерный цилиндр, цельное измельченное зерно (дёрть).

Измельчение зерна можно рассматривать как процесс образования новых поверхностей за счет получения более мелких в сравнении с исходным зерном частиц с сильно развитой поверхностью. Приращение удельной площади поверхности в ходе измельчения зерна служит показателем эффективности процесса измельчения.

Определение удельной площади поверхности зернового материала из-за сложной их формы затруднительно. Поэтому определение удельной площади поверхности зерна основывается на использовании эквивалентного диаметра  $D_3$ , а дерти – по средневзвешенному диаметру частиц. Кроме того, гранулометрический состав дерти характеризуется распределением частиц в соответствии с их размерами по классам.

### Порядок выполнения работы

Определить эквивалентный диаметр зерна  $D_3$ , для чего из партии зерна отобрать навеску массой 0,5 кг, руководствуясь методикой ГОСТа 3040–55.

Из пробы выделить две навески зерна по 50 г и от каждой из них отобрать по 100 зерен, взвесить их и определить среднюю массу одного зерна  $m$ .

В наполненный керосином мерный цилиндр (мензурку) поместить 100 отобранных зерен и по разности отметок уровня керосина до и после погружения зерен найти средний объем зерна ( $V_3$ ), для дальнейших расчетов принять среднее значение из двух определений.

По полученному объему зерна вычислить эквивалентный диаметр зерна  $D_3$ , мм по формуле

$$D_3 = \sqrt[3]{\frac{6V_3}{\pi}}$$

Удельная площадь поверхности зерна  $S_{\Pi}$ , мм<sup>2</sup>/г:

$$S_{\Pi} = \frac{6}{\rho D_3},$$

где  $\rho$  – плотность зерна, г/мм<sup>3</sup>.

Методом ситового анализа определить средневзвешенный диаметр частиц  $M$ , мм (модуль помола) дерти, для чего из ее партий в 1 кг взять навеску на 100 г, которую просеять через набор штампованных сит с круглыми отверстиями Ø5, 3, 2, 1 мм при грубом и среднем помоле или Ø4, 3, 2, 1 и 0,2 мм – при тонком измельчении в течение 5 мин.

Верхние сита с отверстиями Ø5 и 4 мм являются контрольными для учета целых зерен, наличие которых в дерти не допускается. Остатки на этих ситах присоединяют к остаткам на сите с отверстиями Ø3 мм. Остатки на ситах взвесить с точностью до 0,01 г. Потери при расसेве не должны превышать 1%.

Затем вычислить модуль помола по формуле

$$M = \sum_{i=1}^n \frac{P_i d_{i\text{ср}}}{P_i},$$

где  $P_i$  – массовый остаток на поддоне и  $i$ -м сите, г;  $d_{i\text{ср}}$  – средний размер отверстий смежных сит, мм и удельная площадь поверхности дерти  $S_k$ , мкг/г:

$$S_k = \frac{6}{\rho_d M},$$

где  $\rho_d$  – плотность дерти, г/мм<sup>3</sup>.

Помол считается тонким при  $M = 0,2...10$  мм, средним – при  $M = 1,0...1,8$  мм и крупным при  $M = 1,8...2,6$  мм.

Экспериментально определить удельную работу на измельчение и степень измельчения, для чего взвесить дробимый материал 3 (соль, мел и др.) и поместить в посуде 2 установки, рис. 8.

Определить объем  $V$ , эквивалентный диаметр  $D_3$  и начальную поверхность  $S_{\text{п}}$  куса дробимого материала, считая, что он имеет форму шара по формулам:

$$V = \frac{G}{\rho},$$

$$D_3 = \sqrt[3]{\frac{6V_3}{\pi}},$$

$$S_{\text{п}} = \pi D_3^2,$$

где  $G$  – масса дробильного куса, кг;  $\rho$  – плотность дробимого материала, кг/м<sup>3</sup>.

Бросая груз 1 несколько раз с высоты  $H$ , определяемой по линейке 4, раздробить материал в посуде 2. Раздробленный материал пропустить через набор сит, рассчитать модуль помола  $M$ .

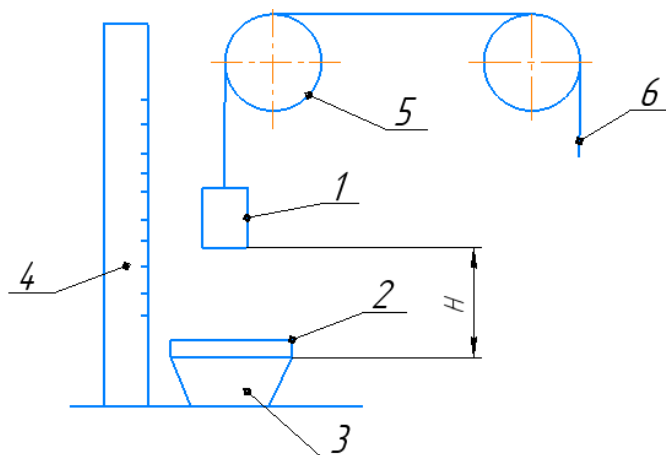


Рис. 8. Установка для дробления материала

Принимая за шар форму частиц раздробленного материала, определить среднюю поверхность  $S_i$ , объем  $V_i$  и вес одной частицы для каждой фракции  $G$ :

$$S_i = \pi D_i^2,$$

$$V_i = \frac{\pi D_i^3}{6},$$

$$G_i = V_i \rho,$$

где  $D_i$  – средний диаметр частиц каждого остатка на каждом из сит:

$$D_i = \frac{(D_{i+1}^c + D_{i-1}^c)}{2},$$

где  $D_{i+1}^c$  – диаметр отверстия в сите, где фиксируется остаток, мм;  $D_{i-1}^c$  – диаметр отверстия в верхнем сите, мм.

Количество частиц по фракциям  $n$  рассчитать по формуле

$$n_i = \frac{\sum_{i=1}^m D_i G_{\phi i}}{G},$$

где  $G_i$  – вес  $i$ -й фракции, г,

Определить общую поверхность частиц каждой фракции  $S_{\phi i}$  и всех измельченных частиц  $S_k$ :

$$S_{\phi i} = \pi D_i^2 n_i,$$

$$S_k = \sum S_{\phi}.$$

Поверхность, полученная в результате дробления,

$$S = S'_k - S_{\Pi}.$$

Расход энергии от ударов груза вычислить по формуле

$$A = g G_{\Gamma} H k,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения тела, м/с<sup>2</sup>;  $G_{\Gamma}$  – масса груза, кг;  $H$  – высота падения груза, м;  $k$  – число ударов, затрачиваемых на измельчение куска.

Удельную работу на образование единицы поверхности  $A_{уд}^s$  и раздробления одного килограмма материала  $A_{уд}^m$  можно найти из выражений:

$$A_{уд}^s = \frac{A}{S},$$

$$A_{уд}^m = \frac{A}{G}.$$

Степень измельчения  $\lambda$  определить по формуле

$$\lambda = \frac{D_{\text{э}}}{M}.$$

Все исходные и расчетные данные занести в табл. 5.

## Содержание отчета

*Цель работы.* Схема установки для дробления материала. Результаты эксперимента и расчета с таблицей. Выводы по результатам работы.

### 5. Сводные экспериментальные и расчетные данные

№ опыта	Размер сита, $D_i$ , мм	Остаток на ситах, $P_i$ , г	$D_i$ , мм	$S_i$ , мм	$V_i$ , мм <sup>3</sup>	$G_i$ , г	$h_i$ , м	$S$ , м <sup>2</sup>
1								
2								
3								
4								
5								
Средн.								

### Контрольные вопросы

1. В чем заключаются физические основы поверхностной и объемной теории измельчения?
2. Что такое удельная площадь поверхности, степень измельчения, модуль помола? Как эти показатели определить?
3. Что такое разрушающая скорость и как она определяется?  
Литература: [4, с. 62 – 145].

## ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКИ

*Цель работы:* изучение рабочего процесса молотковых дробилок и определение основных их параметров.

*Задание.*

1. Изучить устройство и работу молотковой дробилки Ф-1М.
2. Определить основные конструктивные и энергетические параметры дробилки.

### Методические указания

Перед выполнением лабораторной работы студент, пользуясь [4, 7], должен;

- ознакомиться с основными способами измельчения кормов; типами молотковых дробилок и их классификацией;
- изучить устройство и принцип работы молотковых дробилок КДУ-2, БД-5, ИТР-165.

### Устройство и принцип работы лабораторной установки

В состав лабораторной установки входит: молотковая дробилка Ф-1М, плакаты, линейка, штангенциркуль.

Схема дробилки Ф-1М показана на рис. 9.

Дробилка состоит из приемного бункера 1, у выходного отверстия которого установлена заслонка 3 и магнитный сепаратор 2, чугунного корпуса с откидной крышкой 4, внутри которого в подшипниках установлен барабан 6 с шарнирно закрепленными на них молотками 7. В нижней части корпуса устанавливаются сменные решета 8, а внутренняя поверхность крышки сделана рифленой, т.е. выполнена заодно с декой 5. Сбоку корпуса находится вентилятор 9, связанный через патрубок 10 с циклоном 12, в нижней части которого закреплен шлюзовой затвор 11.

Работает дробилка следующим образом. Зерно, проходя из приемного бункера 1 по наклонному днищу к выходному отверстию, очищается магнитным сепаратором 2 от случайно попавших металлических предметов и подается в дробильную камеру, где дробится под действием ударов молотков дек 5 и решета 8. Измельченные частицы диаметром равным или меньше диаметра отверстий решета, выводятся в зарешетную полость, из которой потоком воздуха, создаваемым вентилятором 9, по напорному трубопроводу переносятся в циклон 12.

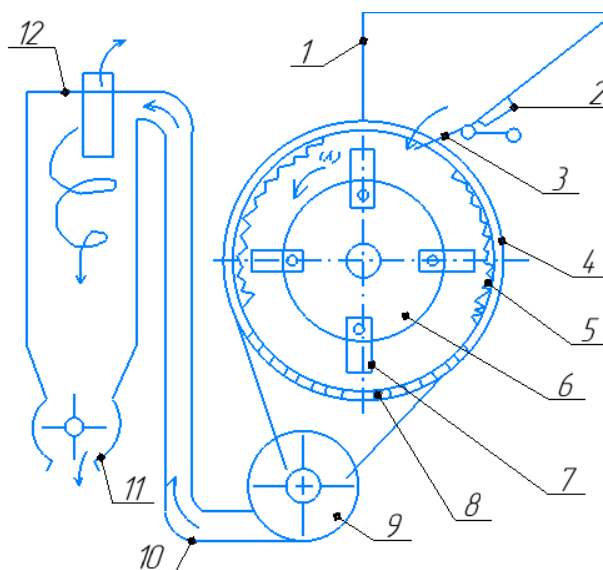


Рис. 9. Схема дробилки Ф-1М

В циклоне происходит отделение воздуха от частиц, которые оседают вниз и через шлюзовой затвор 11 сбрасываются в мешки или транспортер, а воздух уходит в атмосферу. Степень измельчения регулируется установкой сменных решет с диаметром отверстий 4, 6 и 8 мм. Загрузку дробилки регулируют поворотной заслонкой 3, при этом показания амперметра, установленного в цепи питания электромотора привода дробилки, должны быть в пределах 55...60 А.

### Порядок выполнения работы

Пользуясь методичкой и плакатами, изучить устройство и принцип работы дробилки Ф-1М. Замерить и занести в табл. 6 значения геометрических параметров барабана молотковой дробилки.

Определить типы барабана у дробилки из выражения

$$k = \frac{D}{L},$$

и если  $k = 1...2$ , то это первый тип, а при  $k = 4...7$  – второй.

Окружная скорость молотков рассчитывается по формуле

$$V_M = \frac{V_{\text{разр}}}{(1 - \beta_{\text{сл}})},$$

где  $V_{\text{разр}}$  – разрушающая скорость молотков, м/с;  $\beta_{\text{сл}}$  – коэффициент, учитывающий скорость циркуляции воздушно-продуктового слоя ( $\beta_{\text{сл}} = 0,4...0,5$ ).

### 6. Геометрические параметры дробилки

Параметр	Ед. измерения	Обозначение	Величина
Длина барабана	м	$L$	
Диаметр барабана	м	$D$	
Радиус подвеса молотка	м	$R_{\text{п}}$	
Длина молотка	м	$a$	
Ширина молотка	м	$b$	
Диаметр отверстий в молотке	м	$d$	
Расстояние от оси подвеса до центра тяжести молотка	м	$c$	
Расстояние от оси подвеса до конца молотка	м	$l$	

При многократном воздействии молотков на материал:

$$V_{\text{разр}} = \sqrt{k_3 (0,81 + 2,31 \lg \lambda)},$$

где  $k_3 = k_d + \frac{V_{\text{стс}}}{\rho}$  – характеристика физико-механических свойств зерна;  $\lambda$  – степень измельчения (принимать  $\lambda = 5,5$ ); коэффициент, учитывающий во сколько раз динамический предел прочности выше статического ( $k_d = 1,8$ );  $V_{\text{стс}}$  – статистический предел прочности, МПа (для ячменя  $V_{\text{стс}} = 7$  МПа);  $\rho$  – плотность зерна, кг/м<sup>3</sup> (для ячменя  $\rho = 1320$  кг/м<sup>3</sup>).

Рассчитать скорость вращения барабана по формуле

$$n = \frac{60V_M}{\pi D_6}$$

Сравнить ее значение с действительной скоростью барабана дробилки Ф-1М  $n_d$ .

Теоретическую производительность дробилки  $q$ , кг/с определить по эмпирической формуле

$$q = (2 \dots 8) \cdot 10^{-5} \rho_{\Pi} D^2 L n_d,$$

где  $\rho_{\Pi}$  – плотность готового продукта, кг/м<sup>3</sup>.

Определить работу на измельчение  $A_{\text{изм}}$ :

$$A_{\text{изм}} = C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1),$$

где  $C_1, C_2$  – коэффициенты, определяемые по способу наименьшее квадратов из опытных данных, (для ячменя  $C_1 = (10 \dots 13) \cdot 10^3$  Дж/кг;  $C_2 = (6 \dots 9) \cdot 10^3$  Дж/кг).

Мощность на привод дробилки  $N$ , Вт определить по формуле

$$N = (1,15 \dots 1,20) N_{\text{изм}},$$

где (1,15...1,20) – коэффициент, учитывающий затраты энергии на вентиляцию и циркуляцию слоя материала в дробилке;  $N_{\text{изм}}$  – измеренная мощность, Вт

$$N_{\text{изм}} = q A_{\text{изм}}.$$

Проверить молоток дробилки на уравновешенность. Анализ относительного движения показал, что реакция от ударных импульсов не будет передаваться от молотка на палец, а через него и на подшипники вала барабана дробилки, если центр удара совпадает с центром качения. Если учесть, что удары по материалу молоток наносит своим внешним концом, то с небольшой погрешностью за центр удара можно принять точку пересечения продольной осевой линии молотка с его внешней гранью. Для того чтобы центр качения молотка совпал с этой точкой (центр удара), необходимо выполнить условие

$$\rho^2 = cl,$$

где  $\rho$  – радиус инерции молотка относительно оси подвеса, м;  $c$  – расстояние от оси подвеса до центра тяжести молотка, м;  $l$  – расстояние от оси подвеса до конца молотка.

Для экспериментального определения радиуса инерции молотка относительно оси шарнира, его подвешивают на опору, имеющую форму треугольной призмы (рис. 10), отклоняют от вертикального – положения, определяя секундомером длительность одного полного колебания  $T$  и проводят расчет по формуле

$$\rho_3 = \frac{gT^2 \left( c + \frac{d}{2} \right)}{4\pi^2} - \frac{d^4}{4},$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

Затем сравнивают полученные значения  $\rho^2$  и  $\rho_3^2$ , делают выводы.

Для обеспечения устойчивости движения молотка радиус подвеса  $R_{\Pi}$ , м рекомендуется определять по условию

$$R_{\Pi} = 2,25l - 1\text{-й тип дробилок или } R_{\Pi} = 4l - 2\text{-й тип дробилок.}$$

Значение  $c$ ,  $l$  и  $\rho$  можно рассчитать так же и теоретически [4, 5], что необходимо сделать самостоятельно.

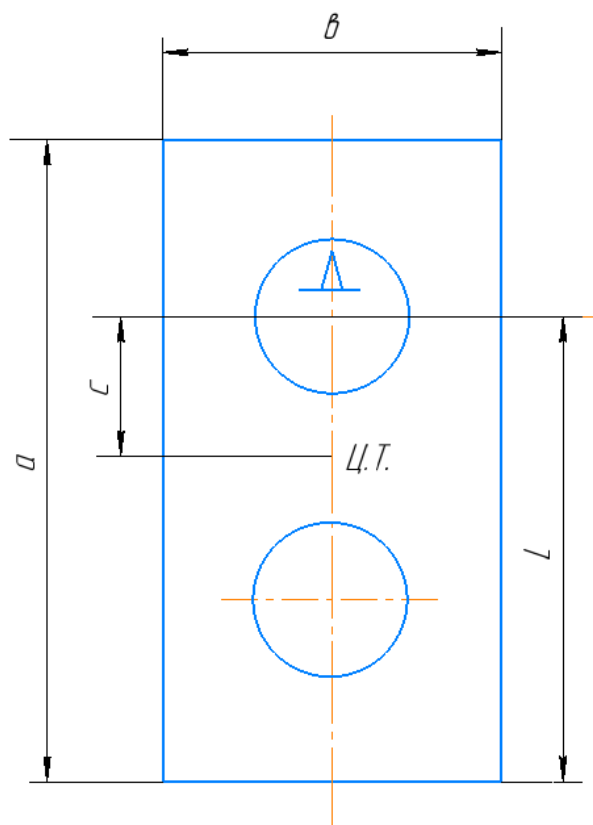


Рис. 10. Схема подвеса молотка

### Содержание отчета

*Цель и задание.* Схема дробилки и краткое описание ее работы. Расчет основных параметров дробилки.

### Контрольные вопросы

1. Какие способы измельчения материалов вы знаете?
  2. Рассказать устройство и работу дробилок КДУ-2, БД-5, ИРТ-165.
  3. Как определить мощность на привод дробилки и ее производительность.
  4. Как рассчитать молоток дробилки на уравновешенность?
- Литература: [4, с. 62 – 145], [7, с. 128 – 135].



## ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ КОРМОВ «ВОЛГАРЬ-5»

*Цель работы:* знакомство с машинами для измельчения сочных и грубых кормов и освоение методики расчета и оптимизации основных параметров барабанных измельчителей кормов.

*Задание.*

1. Изучить устройство и работу измельчителя кормов «Волгарь-5».
2. Определить угол защемления режущей пары.
3. Определить основные параметры барабанного измельчителя кормов.

### Методические указания

Перед выполнением лабораторной работы студент, пользуясь [4, 7], должен:

- ознакомиться с основными способами резания кормов;
- ознакомиться с зоотехническими требованиями, предъявляемыми к машинам для измельчения сочных и грубых кормов;
- изучить схемы измельчителей стебельных и сочных кормов «Волгарь-5», «ИСК-3» и др., и основные способы регулирования длины резки на этих машинах.

### Устройство и принцип работы лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят: измельчитель кормов «Волгарь-5», прибор для определения угла защемления режущей пары, образцы, материалов (сено, солома, трава), измерительный инструмент.

Режущие аппараты животноводческих машин обычно работают по принципу ножниц; одно лезвие неподвижно (противорежущая пластина), а другое вращается. Угол, образованный между лезвиями, называется углом раствора. Максимальный угол раствора, при котором происходит зажатие материала, называют углом  $\chi$  защемления. Угол защемления можно определить по формуле:

$$\chi = 2\varphi,$$

где  $\varphi$  – угол трения материала о лезвие.

Прибор для определения угла защемления  $\chi$  состоит из острого лезвия 1 (рис. 11) и тупого лезвия 2. Острое лезвие прикреплено к тупому лезвию шарнирно.

Измельчитель «Волгарь-5» (рис. 12) состоит из подающего 1 и прижимного 2 транспортеров, аппарата первичного резания 3, заточного приспособления 4, шнека 5, аппарата вторичного резания 6, автомата отключения 7.

Технологический процесс приготовления корма протекает следующим образом: подготовленный к измельчению корм укладывается ровным слоем на подающий транспортер 1, откуда, подпрессованный нажимным транспортером 2, направляется к аппарату первичного резания 3, где происходит предварительное измельчение до фракции 20...80 мм.

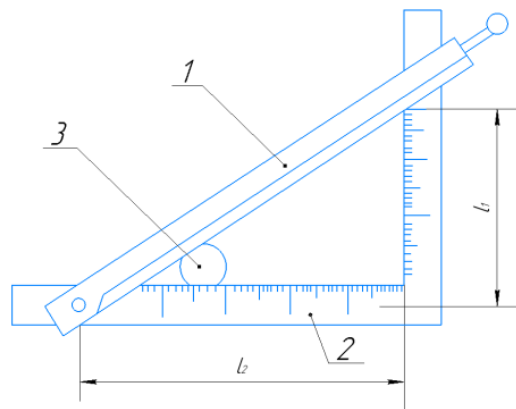


Рис. 11. Схема прибора для определения угла защемления

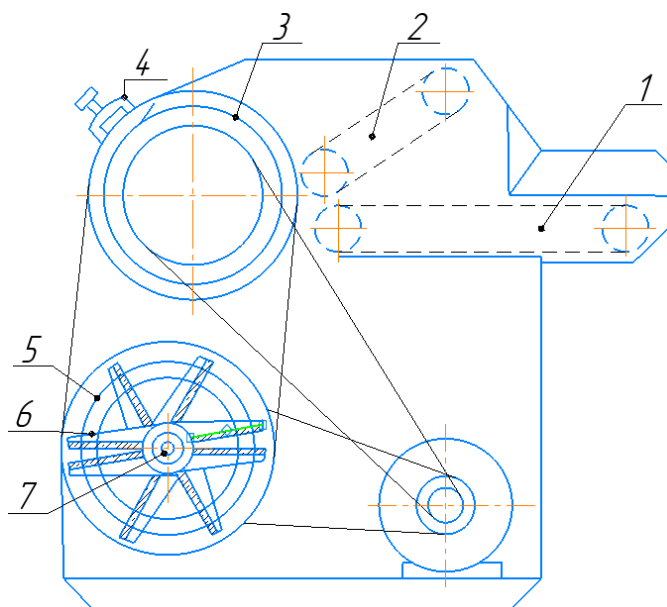


Рис. 12. Схема технологического процесса измельчителя «Волгарь-5»

### Порядок выполнения работы

Измельченный аппаратом первичного резания 3 корм падает на шнек 5. Шнеком масса направляется к аппарату вторичного резания 6, где измельчается до фракции 2...10 мм. Измельченный корм выбрасывается через нижнее окно корпуса. Для удобства выгрузки кормов из-под окна рекомендуется устроить яму для транспортера.

Пользуясь инструкцией, плакатами, найти на установке «Волгарь-5» основные узлы и изучить их назначение и устройство.

Изучить правила технического обслуживания и основные регулировки измельчителя кормов «Волгарь-5».

По заданию преподавателя настроить измельчитель на заданную степень измельчения.

Определить угол защемления  $\chi$ . Для чего испытуемый материал 3 (рис. 11) поместить в раствор прибора. Угол раствора взять большим и постепенно уменьшать, вращая по часовой стрелке острый нож 1. При этом слегка поддерживать материал до тех пор, пока он не будет зажат в растворе. Необходимо следить, чтобы материал был перпендикулярен к лезвию ножа в плоскости разреза, не перемешивался и не деформировался. Замерить расстояние  $l_1$  и  $l_2$ . Угол защемления определить по формуле

$$\chi = \arctg\left(\frac{l_1}{l_2}\right),$$

где  $l_1$  – показания вертикальной шкалы, м;  $l_2$  – показания горизонтальной шкалы, м.

Замерить и занести в табл. 7 значения геометрических параметров измельчителя кормов.

### 7. Геометрические параметры измельчителя кормов

Параметр	Ед. измерения	Обозначение	Величина
Угол между ножами и противорежущей пластиной у аппарата первичного резания	°	$\tau$	
Диаметр барабана	м	$D$	
Высота расположения оси барабана над противорежущей пластиной	м	$h$	
Ширина барабана	м	$b$	
Число ножей барабана	м	$z$	

Определить максимальную толщину слоя  $a_{\max}$ , подаваемого в барабан, по формуле

$$a_{\max} = 0,25D, \text{ м}$$

Определить окружную скорость барабана по формуле

$$V_{\delta} = \frac{\pi D n}{60},$$

где  $n$  – частота вращения барабана, об/мин ( $n = 725 \text{ мин}^{-1}$ )

Скорость подачи слоя материала в аппарат первичного резания определить по формуле

$$V_{\text{сл}} = V_{\text{тр}} \eta,$$

где  $V_{\text{тр}}$  – скорость нажимного транспортера, м/с,  $V_{\text{тр}} = 0,3 \text{ м/с}$ ;  $\eta$  – коэффициент пробуксовывания стейблей ( $\eta = 0,9 \dots 0,85$ ).

Определить высоту расположения оси барабана над противорежущей пластиной по формуле

$$h' = a_{\max} + \frac{D V_{\text{сл}}}{z V_{\delta}}, \text{ м.}$$

Определить расчетную длину резки подаваемого слоя по формуле

$$L_{\text{р}} = \frac{60 V_{\text{сл}}}{z n}, \text{ м.}$$

Определить производительность барабанного измельчителя по формуле

$$Q = 0,06 a_{\max} B L_{\text{р}} \gamma_0 z n \beta, \text{ т/ч,}$$

где  $\gamma_0$  – объемная масса, уплотненная питающим аппаратом, корма  $\text{кг/м}^3$  ( $\gamma_0$  принимают: для соломы –  $54 \dots 100 \text{ кг/м}^3$ ; для сена –  $106 \text{ кг/м}^3$ ; силоса –  $405 \text{ кг/м}^3$ ; зеленой массы –  $234 \text{ кг/м}^3$ );  $\beta$  – коэффициент, учитывающий снижение пропускной способности барабанного измельчителя из-за несовершенства питающего аппарата; ( $\beta = 0,5 \dots 0,7$ ).

Сравнить расчетную производительность измельчителя с паспортной.

Построить развертку ножевого барабана согласно рис. 13 в масштабе М 1:10.

Определить значения момента резания по формуле

$$M_{\text{рез}} = \frac{q \Delta S D}{2},$$

где  $\Delta S$  – активная длина лезвия, м; замерить на развертке ножевого барабана с учетом масштаба, рис. 13;  $q$  – удельное давление, Н/м.

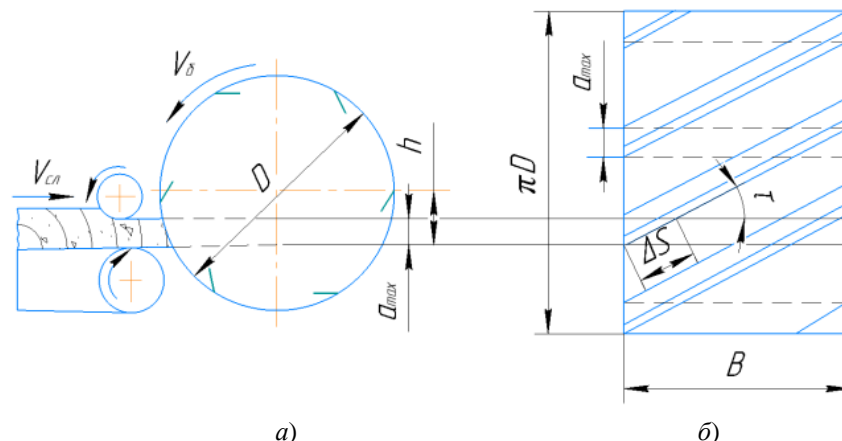


Рис. 13. Схема режущего аппарата барабанного типа (а) и развертка ножевого барабана (б)

Удельное давление определить по формуле

$$q = (0,7...0,75) q_0,$$

где  $q_0$  – нормальное удельное давление, Н/м ( $q_0$  принимают для соломы –  $(5...12) 10^3$  Н/м, для травы –  $(4...6) 10^3$  Н/м, силоса –  $(9...13) 10^3$  Н/м.)

Определить вращающий момент по формуле:

$$M_{вр} = M_{рез} + M_{под} + M_{хх}, \text{ Нм},$$

где  $M_{под}$  – момент на валу барабана измельчителя, обусловленный сопротивлением механизма подачи, Н·м, ( $M_{под} = 31\%$  от  $M_{рез}$ );  $M_{хх}$  – момент от сопротивления холостого хода, Н·м, ( $M_{хх} = 35\%$  от  $M_{рез}$ ).

Определить мощность двигателя по формуле

$$N_{дв} = M_{вр} \omega, \text{ Вт},$$

где  $\omega$  – угловая скорость барабана измельчителя,  $\text{с}^{-1}$ , ( $\omega = \frac{\pi n}{30}$ ).

Сравнить полученную мощность двигателя с паспортной.

### Содержание отчета

Задание и цель работы. Краткое описание установки. Заполнить табл. 7. Зарисовать рис. 11, 12 и схему развертки ножевого барабана.

### Контрольные вопросы

1. Что такое угол защемления и угол резания режущей пары?
2. Рассказать об устройстве и работе измельчителей «Волгарь-5» и «ЛИС-3».
3. Как определить производительность барабанного измельчителя?
4. Рассказать правила технического обслуживания измельчителя «Волгарь-5».
5. Объяснить работу автомата отключения от сети.

Литература: [4, с. 154 – 199], [7, с. 136 – 139, 166 – 171].

## ИЗУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОРА

*Цель работы:* изучение устройства, технологического процесса гранулятора травяной муки и определение основных характеристик пресс-гранулятора.

*Задание.*

1. Изучить процесс прессования и устройство гранулятора ОГМ-0,8 и его пресса-гранулятора.
2. Установить заданный зазор между матрицей и вальцами пресса гранулятора.
3. Измерить основные геометрические параметры пресса-гранулятора и определить его основные характеристики.

### Методические указания

Перед выполнением работы студент, пользуясь [4, 6], должен:

- изучить основные способы уплотнения кормов;
- ознакомиться с технологическими схемами грануляторов и брикетировщиков;
- изучить назначение и работу оборудования, входящего в состав грануляторов и брикетировщиков.

### Устройство и принцип работы лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят: пресс-гранулятор от ОГМ-0,8А, штангенциркуль, линейка, набор гаечных ключей.

Схема технологического процесса оборудования ОГМ-0,8А представлена на рис. 14. Травяная мука от агрегата АВМ-0,65 дозатором 1 подается в смеситель 2, где увлажняется водой и паром до влажности 15...17%. При содержании в муке свыше 16% внутриклеточной влаги процесс гранулирования неэффективен, так как внутриклеточная влага делает частицы упругими. Из смесителя увлажненная мука выводится в питатель 4, который принудительно подает ее в пресс 3. В камере прессования мука затягивается между вращающейся матрицей и прессующими вальцами и продавливается в радиальные отверстия матрица, где под действием большого давления происходит формирование гранул. Выдавленные гранулы наталкиваются на неподвижный нож и обламываются. Выходящие из пресса гранулы имеют высокую температуру (350...360 К) и непрочны, поэтому они воздушным потоком, создаваемым вентилятором 7, по трубопроводу транспортируются в охладитель 8. Здесь через слой гранул вентилятор 7 просасывает воздух, который охлаждает их и одновременно отсасывает часть несгранулированной муки, которая оседает в циклоне 6 и выводится в трубопровод отсоса несгранулированной муки и крошки. В процессе охлаждения влажность гранул снижается за счет испарения влаги, в них происходят физико-химические изменения, в результате чего гранулы приобретают необходимую прочность, влажность и температуру.

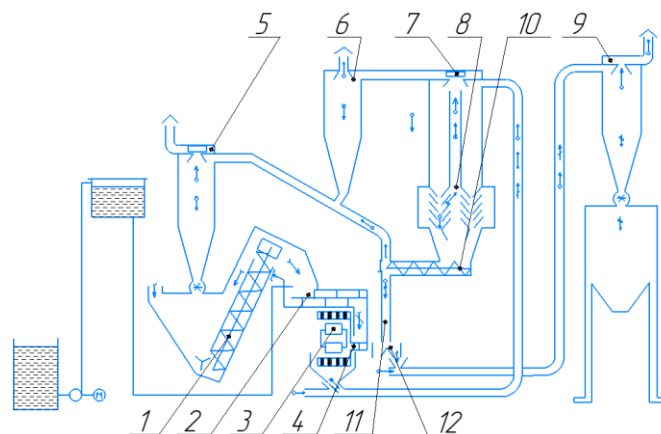
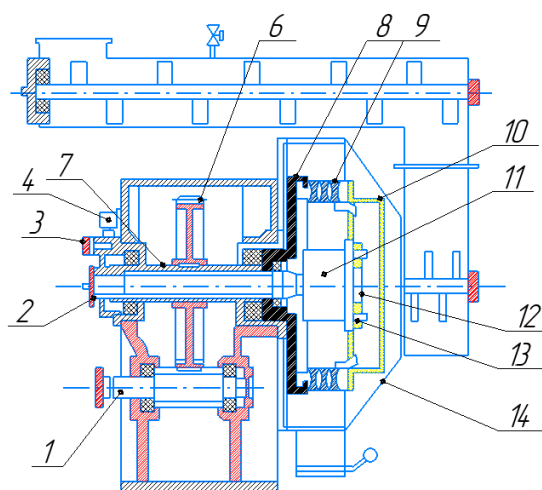


Рис. 14. Технологическая схема гранулятора ОГМ-0,8



**Рис. 15. Схема пресса-гранулятора**

Из охладителя по мере его наполнения до верхнего датчика уровня гранулы шнеком сортировки 10 выводятся в сортировочную колонку 11, где в вертикальном потоке воздуха, создаваемом вентилятором сортировки 5, происходит отделение кондиционных гранул от крошки и несгранулированной муки. Кондиционные гранулы поступают через отборщик 12 в шнеки или пневмотранспортером 9 направляются в бункер временного накопления. Несгранулированная мука и крошка отсасывается воздушным потоком, создаваемым вентилятором сортировки 5, и подаются в дозатор 1 для повторного гранулирования.

Основным узлом в комплекте оборудования ОГМ-0,8А является гранулятор, который состоит из лопастного смесителя 2, питателя 4, пресса 3 и редуктора привода пресса. Основой гранулятора является пресс, состоящий из редуктора и узла прессования с вертикальной кольцевой матрицей и двумя пассивными вальцами (роллерами). Общее устройство пресса показано на рис. 15.

Электродвигатель ( $N = 40$  кВт,  $n = 1500$  мин<sup>-1</sup>) подсоединяется к валу шестерни 1 через эластичную муфту. В постоянном зацеплении с валом-шестерней находится зубчатое колесо 6, жестко закрепленное шпонкой на полом главного вала 7. К фланцу главного вала сегментами 8 прикреплена матрица 9, которая от проворачивания закреплена шпонками.

К наружному торцу вращающейся матрицы прикреплен приемник 14, образующий вместе с ее внутренней полостью камеру прессования. Внутри главного вала размещена ось 2, на конце ее установлены две плиты, между которыми на эксцентричных осях смонтированы прессующие вальцы 11. Зазор между рабочими поверхностями вальцов и матрицы в пределах 0,3...0,5 мм регулируется с помощью специальных рычагов 12 и болтов 13 на передней плите вальцов. На другом конце оси 2 на шлицах посажен фланец с лыской, который через срезной штифт 3 жестко соединен со стаканом заднего роликового подшипника. При обычной нагрузке срезной штифт удерживает ось от вращения, и прессующие вальцы вращаются лишь вокруг своих неподвижных осей. Если пресс окажется чрезмерно перегруженным гранулируемой массой, или в зазор между вальцом и матрицей попадает посторонний предмет, то валец заклинится, и вращающий момент от матрицы будет передаваться на ось 2, а через нее – на срезной штифт 3. После срезания штифта фланец начнет поворачиваться и имеющаяся на нем лыска нажмет на толкатель конечного выключателя 4, который отсоединит от сети все электродвигатели и остановит пресс, предохраняя его от поломок. Для распределения гранулируемой массы по ширине матрицы служат направляющие лопатки 10.

### **Порядок выполнения работы**

Пользуясь методичкой и плакатами, изучить конструктивно-технологическую схему ОГМ-0,8.

Установить заданный зазор между матрицей и вальцами, для чего необходимо: на неработающем остановленном прессе открыть конусный чехол с питателем; в зазор между вальцом и матрицей положить два куса алюминиевой проволоки длиной 15...20 мм на расстоянии 50...60 мм друг

от друга; повернуть матрицу вручную; с помощью штангенциркуля измерить толщину участков проволоки, попавших в зазор между валцом и матрицей. Если зазор оказался больше оптимального (0,3...0,5 мм), необходимо с помощью регулировочных болтов повернуть рычаг, надетый на шлицы оси вала, против часовой стрелки. Если рычаг дошел до крайнего положения, а зазор остался больше допустимого, рычаг переставить на шлицах и продолжить регулировку. Если зазор меньше допустимого, рычаг вращают по часовой стрелке, затем измеряют зазор вторично и фиксируют положение рычага стопорным болтом.

Измерить и занести в табл. 8 значения геометрических параметров матрицы и прессующего вальца, чертя схему рабочих органов пресса (рис. 16).

Определить частоту вращения матрицы  $n_M$  ( $c^{-1}$ ) по условию

$$n_{\min} \leq n_M \leq n_{\max},$$

при этом

$$n_{\min} = \frac{2\pi Vg}{R_B \sin \varphi},$$

$$n_{\max} = \sqrt{\frac{\sigma_p}{bR_H d \rho}} / (2\pi),$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  $\varphi$  – угол трения материала о поверхность вальца,  $\varphi = 25...30^\circ$ ;  $\sigma_p$  – разрушающее напряжение отрыва в монолите, Па (для гранул из травяной муки  $\sigma_p = 1300...1700$  Па);  $b$  – отношение длины гранулы к его поперечному сечению ( $b = 1,5...2$ );  $d$  – диаметр гранулы, м;

$$d = cd_0,$$

где  $c$  – коэффициент, учитывающий расширение гранул после выхода из каналов ( $c = 1,1$ );  $\rho$  – плотность гранул,  $kg/m^3$  ( $\rho = 1200$   $kg/m^3$ );  $R_H$  – внешний радиус матрицы, м.

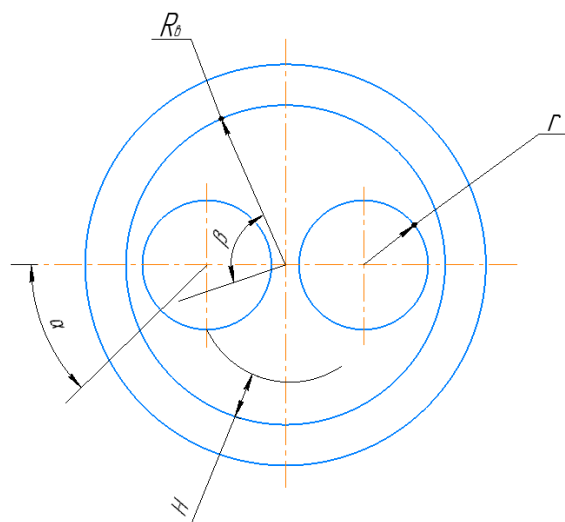


Рис. 16. Расчетная схема

## 8. Размеры матрицы и вальца

Параметр	Ед. измерения	Обозначение	Величина
Внутренний радиус матрицы	м	$R_B$	
Наружний радиус вальца	м	$r$	
Ширина матрицы	м	$B$	
Толщина матрицы	м	$L$	
Диаметр отверстий	м	$d_0$	
Число отверстий	шт.	$z$	

Рассчитать теоретическую производительность пресса-гранулятора, кг/с:

$$q_T = \frac{\pi d_0^3 b n_M z \beta \rho}{4},$$

где  $z$  – общее число каналов прессования;  $\beta$  – коэффициент заполнения каналов материалом, учитывающий неравномерность распределения его по внутренней поверхности матрицы ( $\beta = 0,95$ ).

Определить максимальное давление прессования:

$$P_{\max} = c \left( e^{a(\rho - \rho_0)} - 1 \right),$$

где  $c$  и  $a$  – постоянные для данного вида прессуемого материала (для сальной муки  $c = 0,36$  МПа,  $a = 5,2$  103м<sup>3</sup>/кг);  $\rho_0$  – плотность травяной муки, кг/м<sup>3</sup> (при  $W = 17\%$ ,  $\rho_0 = 180$  кг/м<sup>3</sup>).

Время пребывания монолита в канале прессования  $t_{\text{обр}}$  рассчитать по формуле

$$t_{\text{обр}} = \frac{L}{b d n_M}.$$

Вычислить силу трения  $F_{\text{тр}}$  (Н), возникающую при движении монолита по каналу:

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{ст}} \xi P_{\text{уп}} \Pi_{\text{к}} L,$$

где  $f_{\text{ст}}$  – коэффициент трения покоя монолита о стенки канала ( $f_{\text{ст}} = 0,08 \dots 0,1$ );  $\xi$  – коэффициент бокового распора ( $\xi = 0,4 \dots 0,45$ );  $P_{\text{уп}}$  – давление на упоре ( $P_{\text{уп}} = 0,1 \dots 0,45$ )  $\cdot P_{\max}$ ;  $\Pi_{\text{к}}$  – периметр канала прессования, м.

Из выражения  $q_T = 2\pi(2R_{\text{вн}}H - H)bn_M\beta\rho_0$  найти высоту слоя  $H$  в зоне захвата вальцом прессуемого материала, а из формулы  $H = R_{\text{в}} - \sqrt{r^2 + (R_{\text{в}} - r)^2 + 2r(R_{\text{в}} - r)\cos\alpha}$  угол прессования  $\alpha$ . При этом должно соблюдаться неравенство

$$\alpha \leq \frac{\varphi}{1 - \left(\frac{r}{R_{\text{в}}}\right)}.$$

Определить среднюю скорость перемещения монолита по каналу прессования:

$$V_{\text{ср}} = \frac{360 d n_M}{\beta},$$

где  $\beta = \alpha \frac{r}{R_{\text{в}}}$ .

Мощность  $N_{\text{пр}}$  (кВт), потребную для процесса прессования, определить по формуле

$$N_{\text{пр}} = 10^{-3} \cdot F_{\text{тр}} V_{\text{ср}} z_y,$$

где  $z_y$  – число каналов, в которых производится прессование одновременно, т.е. на дуге зоны захвата

( $z_y = \frac{z z_b \beta}{360}$ , где  $z_b$  – число прессующих вальцов).

### Содержанке отчета

*Цель и задание.* Схема гранулятора ОГМ-0,8А. Описание технологического процесса. Результаты расчета пресса-гранулятора.

### Контрольные вопросы

1. Рассказать устройство и работу грануляторов ОГМ-0,8А, ОГМ-1,5, ДГ-1, ОПК-2.
2. Как рассчитать производительность пресса-гранулятора и мощность на его привод?
3. Какие регулировки осуществляется у пресса-гранулятора ОГМ-0,8А.

Литература: [4, с. 275 – 339].



## ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОГО КОРМОРАЗДАТЧИКА

*Цель работы:* изучение устройства мобильного кормораздатчика типа КТУ-10 и расчет его основных параметров.

*Задание.*

1. Изучить конструктивно-технологическую схему кормораздатчика типа КТУ-10.
2. Изучить методику расчета и определить основные параметры бункерного кормораздатчика.

### Методические указания

Перед выполнением лабораторной работы студент, пользуясь [3 – 5], должен:

- ознакомиться с зоотехническими требованиями к кормораздатчикам и их классификацией;
- уяснить назначение, устройство и работу основных типов кормораздатчиков для свиноводческих ферм и ферм крупного рогатого скота КРС.

### Устройство и принцип работы лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят: макет кормораздатчика КГУ-10, привод подающего транспортера и его отдельные узлы, плакаты, измерительный инструмент.

Универсальный тракторный кормораздатчик КТУ-10 предназначен для транспортировки и выгрузки на ходу на одну или две стороны измельченной листостебельной массы (кукуруза, силос и др.). Ширина кормового прохода 2,2 м, высота кормушек не более 0,75 м. Кормораздатчик можно использовать для перевозки различных сельскохозяйственных грузов с выгрузкой их назад при помощи продольного транспортера.

По заказу к кормораздатчику придается съемный транспортер, который дает возможность выгружать массу в силосные ямы и раздавать корм в летних лагерях и у выгульных площадок в кормушки с навесами, не позволяющими кормораздатчику подезжать на близкое расстояние к кормушкам.

Рабочие органы кормораздатчика приводятся от вала отбора мощности трактора.

Кормораздатчик состоит из двухосной прицепной тележки и установленного на ней дозирующе-выгрузного устройства. Дозирующе-выгрузное устройство (рис. 17) состоит из прямоугольного бункера 1, в днище которого установлен цепочно-планчатый продольный (подающий) транспортер 2, блока счесывающих битеров 3 и ленточного выгрузного транспортера 4. Работает кормораздатчик следующим образом. При движении кормораздатчика вдоль фронта кормления, транспортер 2 подает всю массу к битерам 3, которые разрыхляют и счесывают ее на выгрузной транспортер 4, которым корм выгружается в кормушки.

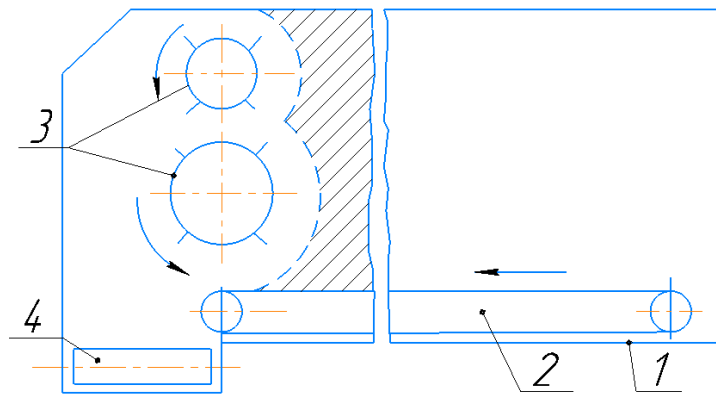
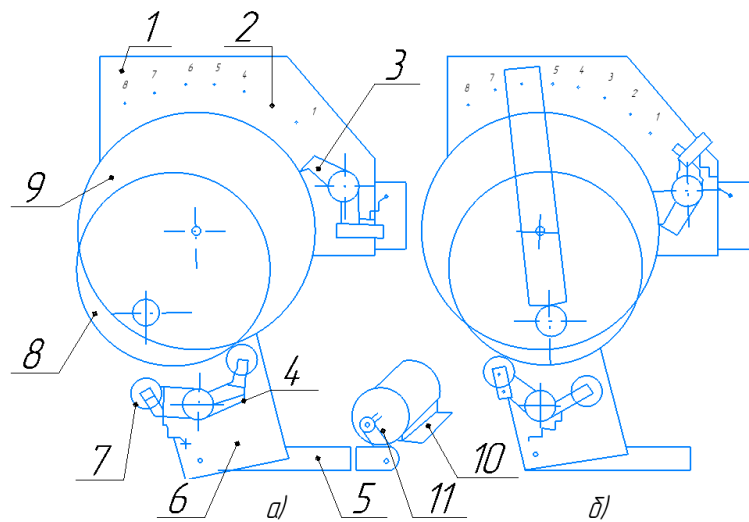


Рис. 17. Схема кормораздатчика



**Рис. 18. Схема привода подающего транспортера:**  
*a* – при раздаче; *б* – при реверсе

Норма выдачи корма регулируется изменением поступательной скорости трактора и изменением продольной скорости продольного транспортера 2. Для изменения скорости транспортера необходимо оттянуть фиксатор 2, см. рис. 18, *a*, фиксирующий диск фиксатора 8, установить его на секторе 1 против соответствующего деления. При этом ведущая собачка 4, связанная с качающейся рамой 6 и шатуном 5, за каждый ход поворачивает храповое колесо 9 с ведущим залом подающего транспортера на соответствующий угол. Фиксирующая собачка 3 препятствует обратному вращению храпового колеса, ролики 7 ведущей собачки 4 при накатывании их на диск фиксатора 6 выводят собачку 4 из зацепления с храповым колесом 9. В связи с этим, в зависимости от положения фиксирующего диска 3, происходит поворот храпового колеса на заданный оператором угол.

Для реверса подающего транспортера необходимо переставить пружины на фиксирующей и ведущей собачках, рис. 18, *б*.

### Порядок выполнения работы

Пользуясь плакатами, инструкцией по эксплуатации и макетом КТУ-10, найти основные узлы машины, уяснить их назначение, устройство и работу.

Изучить кинематическую схему кормораздатчика.

Установить фиксатор 2 в положение 1 с разрешения преподавателя включить электродвигатель привода подающего транспортера 10 и определить угол поворота храпового колеса за один рабочий ход шатуна 5 (один оборот кривошипа). Опыт повторить для других положений фиксатора и результаты занести в табл. 9.

### 9. Расчетная производительность выдачи корма кормораздатчика

Положение фиксатора на секторе регулировки подачи продольного транспортера	Угол поворота храпового колеса, $\alpha$	Скорость продольного транспортера, $V_{\text{п}}$	$Q_{\text{п}}$ , кг/с	$q_{\text{м}}$ , кг/м
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Рассчитать скорость продольного транспортера  $V_{\Pi}$  :

$$V_{\Pi} = \frac{d_0 n \alpha}{4\pi}, \text{ м/с,}$$

где  $d_0$  – начальный диаметр приводной звездочки цепи подающего транспортера, м;  $n$  – частота вращения кривошипа,  $\text{с}^{-1}$ .

Определить производительность подающего транспортера  $Q_{\Pi}$ , кг/с на силосе:

$$Q_{\Pi} = bhV_{\Pi}\rho k_0,$$

где  $b$  – ширина бункера ( $b$  – взять из замеров вала подающего транспортера), м;  $h$  – высота монолита корма в бункере, м ( $h = 1,2$  м);  $k_0$  – коэффициент, учитывающий отставание корма от цепи транспортера ( $k_0 = 0,94 \dots 0,95$ );  $\rho$  – плотность насыпного силоса ( $\rho = 300 \text{ кг/м}^3$ ).

Расчетные данные занести в табл. 9.

Для максимальной производительности подающего транспортера вычислить частоту вращения счесывающих битеров  $\omega$  ( $\text{с}^{-1}$ ):

$$\omega = \frac{Q_{\Pi \max}}{b_{\text{б}} h_{\Pi} S_a \rho k_0 k_{\text{н}}},$$

где  $b_{\text{б}}$  – ширина захвата битера, м;  $S_a$  – шаг установки пальцев;  $h_{\Pi}$  – высота пальцев битера, м ( $b_{\text{б}}$ ,  $S_a$ ,  $h_{\Pi}$  – взять из непосредственных замеров);  $k_{\text{н}}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность поступления кормовой массы к пальцу битера ( $k_{\text{н}} = 0,5 \dots 0,9$ ).

Рассчитать скорость выгрузного транспортера при максимальной производительности кормораздатчика:

$$V_{\text{в}} = \frac{Q_{\Pi \max}}{b_1 h_1 \rho_1 k_{\text{ск}}},$$

где  $b_1$  – ширина ленты выгрузного транспортера, м (замерить на кормораздатчике);  $h_1$  – высота слоя корма на ленте, м (принять в пределах  $0,15 \dots 0,2$  м);  $\rho_1$  – насыпная масса корма на выгрузном транспортере,  $\text{кг/м}^3$  (принять  $\rho_1 = 150 \dots 200 \text{ кг/м}^3$ );  $k_{\text{ск}}$  – коэффициент, учитывающий снижение скорости корма за счет его проскальзывания по ленте транспортера ( $k_{\text{ск}} = 0,8 \dots 0,97$ ).

Для заданной скорости кормораздатчика  $V_{\text{агр}}$  (м/с), определить линейную плотность корма  $q_{\text{м}}$  (кг/м), выдаваемую по длине кормушки:

$$q_{\text{м}} = \frac{Q_{\Pi}}{V_{\text{агр}} k_{\text{б}}},$$

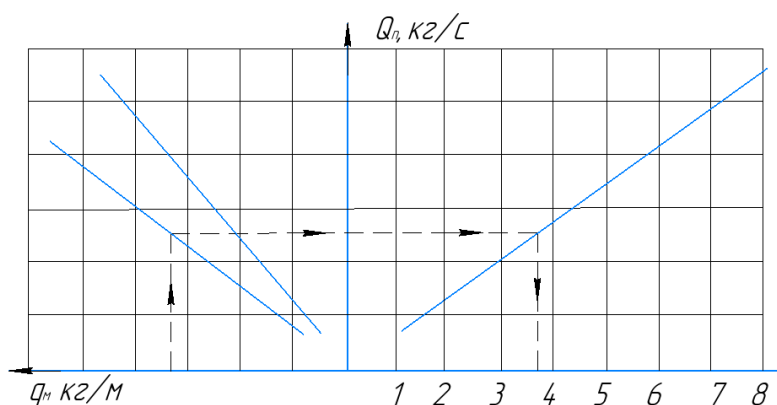
где  $k_{\text{б}}$  – коэффициент, учитывающий пробуксовку трактора ( $k_{\text{б}} = 0,95$ ),  $V_{\text{агр}} = 1,67$  и  $2,85 \text{ км/ч}$ .

Расчетные величины занести в табл. 9 и по ним построить номограмму для настройки кормораздатчика на заданную норму выдачи (рис. 19). Для этого в левой части номограммы строится график зависимости  $Q_{\Pi} = f(q_{\text{м}})$ , а в правой –  $Q_{\Pi}$  в зависимости от положения фиксатора.

Для определения заданного положения фиксатора определяем количество корма на единицу длины кормушки:

$$q_{\text{м}} = \frac{q_{\text{р}} m_0}{L_k},$$

где  $q_{\text{р}}$  – разовая норма выдачи корма на одну голову согласно рациону, кг;  $m_0$  – число голов на одно кормоместо;  $L_k$  – длина кормоместа, м.



**Рис. 19.** Номограмма по настройке подающего транспортера

Откладывают полученное значение  $q_M$  в левой части номограммы и проводят вверх вертикальную линию до пересечения с кривой  $Q_n = f(q_M)$ , из точки пересечения провести вправо горизонтальную линию до пересечения с кривой в правой части номограммы и из точки пересечения опустить вертикаль на ось абсцисс, где и покажется нужное положение фиксатора (номер шкалы сектора, рис. 19).

### Содержание отчета

*Цель работы.* Схема дозирующе-выгрузного устройства и механизма регулирования скорости продольного транспортера. Описание работы кормораздатчика и настройки его на заданную норму выдачи. Расчет кормораздатчика и номограмму по его настройке на заданную норму выдачи.

### Контрольные вопросы

1. Как классифицируются кормораздатчики?
2. Каковы зоотехнические требования к кормораздатчикам?
3. Какими показателями оценивается качество работы кормораздающих средств?
4. Рассказать устройство и работу кормораздатчиков типа КТУ-10, РСП-10, АРС-10, КРО-75, КЛК-100 и др.
5. В чем заключается расчет бункерного кормораздатчика на заданную норму выдачи.

Литература: [4, с. 357 – 388], [6, с. 164 – 183].

## ИЗУЧЕНИЕ СТРИГАЛЬНЫХ МАШИНОК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

*Цель работы:* изучение устройства и принципа работы стригальных машинок МСУ-200 и МСО-77Б.

*Задание.*

1. Провести разборку и сборку машинок с проверкой их работоспособности.
2. Определить расчетные характеристики стригальной машинки.

### Методические указания

Перед выполнением работы студент, пользуясь [6, 8], должен:

- ознакомиться со способами стрижки овец на обычных столах, на столах-тележках с фиксацией ног животных и на полу;
- изучить оборудование стригальных пунктов КТО-24 и ВСЦ-24/200.

### Устройство и принцип работы лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят: стригальные машинки МСО-77Б и МСУ-200, стенд со всеми частями машинок, штангенциркуль, линейка, угломер и набор ключей.

Стригальная машинка МСО-77Б предназначена для стрижки овец в помещениях. Она состоит из корпуса 4 (рис. 20), режущего аппарата, эксцентрикового и нажимного механизмов, передаточного устройства.

Регулировка машинки после сборки сводится к правильной установке гребенки 1, положения двуплечего рычага 3 и регулировке усилия нажатия ножа. Перемещают центр качения двуплечего рычага до положения, при котором ролик 5 эксцентрика 6 выступает из паза не более чем на 1/3 своего диаметра. Прижатие ножа 2 к гребенке 1 должно обеспечить проворачивание вала эксцентрика вручную.

Во избежание порезов животного и вырывания пучков шерсти гребенку крепят так, чтобы расстояние от вершин зубьев ножа до крайней точки заходной части гребенки было 1...2 мм, а в крайних положениях центры зубьев ножа и гребенки совпадали.

Ознакомиться с частями машинки на стенде, уяснить их назначение и последовательность соединения при сборке, провести разборку и сборку машинки и с разрешения преподавателя проверить ее работоспособность, включив в сеть.

Вычертить кинематическую схему машинки МСО-77Б (рис. 21).

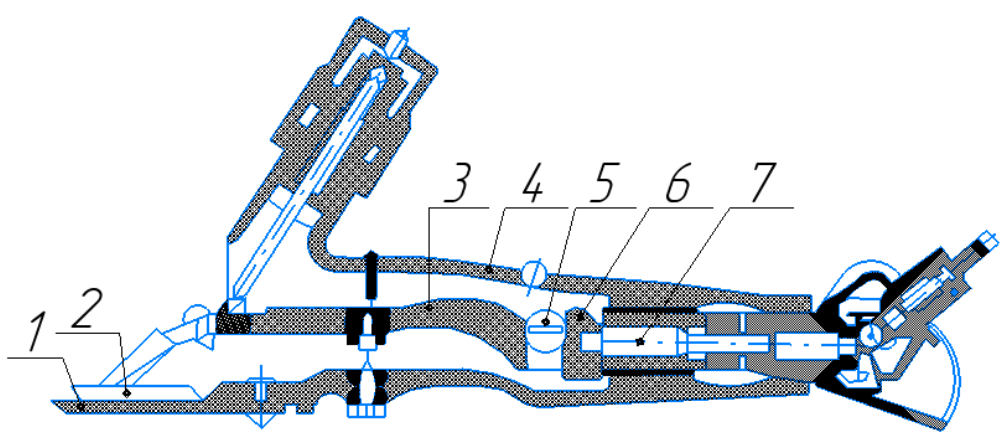


Рис. 20. Стригальная машинка МСО-77Б

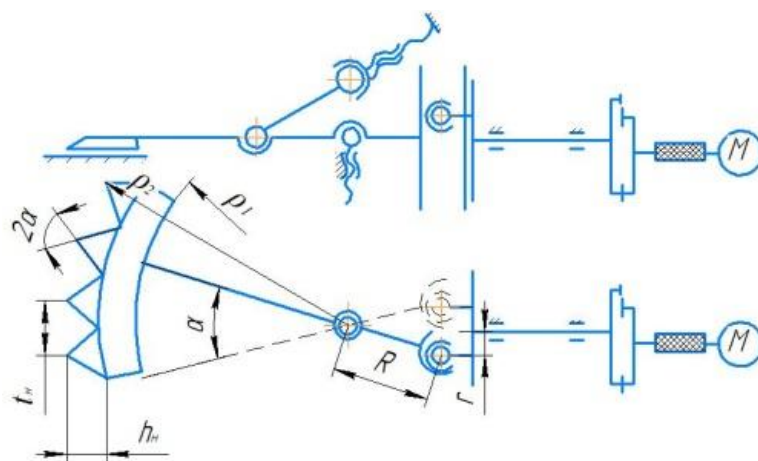


Рис. 21. Кинематическая схема машинки МСО-77Б

### Порядок выполнения работы

Провести расчет скорости перемещения ножа  $v_m$ , м/с относительно гребенки для угла поворота эксцентрика от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  через каждые  $30^\circ$ :

$$v_H = \frac{2r\rho n_c \pi \sin \alpha}{R},$$

где  $r$  – радиус эксцентрика, м;  $\rho$  – расстояние от выбранной точки до центра качения, м ( $\rho_1 \leq \rho \leq \rho_2$ );  $n_c$  – число двойных ходов ножа,  $c^{-1}$  (для МСО-77Б,  $n_c = 38,3 c^{-1}$ );  $\alpha$  – угол поворота эксцентрика,  $^\circ$ ;  $R$  – плечо рычага от центра вращения до центра цилиндрического его паза, м.

Результаты расчета занести в табл. 10.

По вычисленным значениям скоростей выбранных точек лезвия построить график изменения скорости резания в зависимости от угла поворота кривошипа, рис. 22.

Определить оптимальную скорость перемещения машинки  $v_m$ , м/с:

$$v_m = \frac{h_1(\rho n_c \cdot 0,5 \operatorname{tg} \alpha_l)}{0,95(\rho - B_l)},$$

где  $h_1$  – высота зуба ножа, м;  $\rho$  – радиус кривошипа, м ( $\rho = 19,2$ );  $\alpha_l$  – угол наклона лезвия ножа ( $\alpha_l = 32^\circ 20'$ );  $B_l$  – половина ширины основания зуба гребенки.

Проверить условие защемления шерсти по формуле:

$$v_m \leq v_H \operatorname{tg}(f_1 + f_2) \leq v_H \operatorname{tg}(\alpha_1 + \alpha_2),$$

где  $f_1, f_2$  – углы трения шерсти о лезвие ножа и гребенки (принимают  $f_1 = f_2 = 12,50$ );  $\alpha_1, \alpha_2$  – половина угла зуба гребенки и ножа,  $^\circ$ .

Скорость ножа, при которой будет происходить резание с условием защемления, определим из выражения

$$v_H = \frac{v_m}{\operatorname{tg}(\alpha_1 + \alpha_2)}. \text{ м/с.}$$

На графике рис. 22 нанести точки, устанавливающие пределы скорости ножа, с соблюдением условия и защемления.

### 10. Относительная скорость лезвия ножа

Скорость лезвия ножа, м/с	Угол поворота эксцентрика, $^\circ$						
	0	30	60	90	120	150	180
$v_1$							
$v_2$							

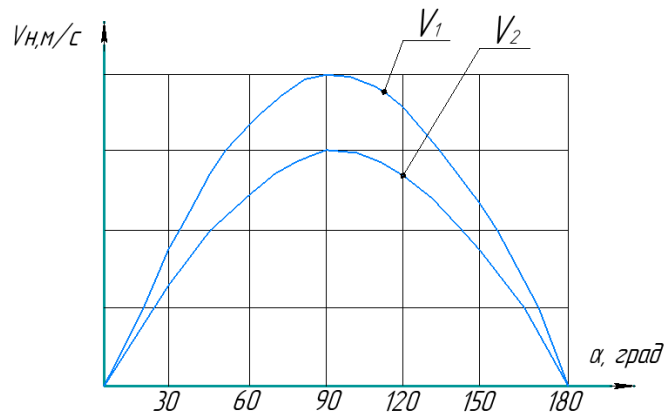


Рис. 22. График изменения скорости резания в зависимости от угла поворота кривошипа

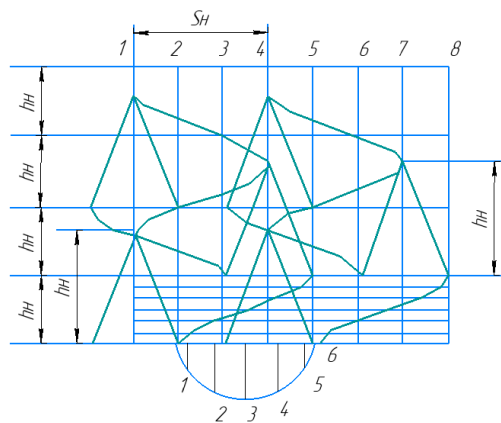


Рис. 23. График пробега ножа стригальной машинки

Вычислить подачу  $h_m$  машинки, определяемой ее перемещением за один ход ножа:

$$h_m = \frac{v_m}{2n_c}.$$

Построить график пробега ножа (рис. 23), для чего на чертеже в принятом масштабе отложить величину подачи  $h_m$  и вычертить контуры нескольких лезвий зубьев ножа с высотой зуба  $h_1$ . Зубья гребенки обозначить осевыми линиями.

Из середины отрезка, равного шагу  $S_n$  ножа, провести полуокружность радиусом  $S_n/2$ . Величину  $h_m$ , так же как и полуокружность, разделить на 6 равных частей и построить траекторию абсолютного перемещения любой точки ножа на гребенке.

Сняв с полученной траектории шаблон, нанести на чертеж несколько таких траекторий перемещения крайних точек активной части лезвий ножей. Далее с учетом предельной скорости (см. рис. 22) штриховкой отметить на графике участки одинарного и двойного среза шерсти и сделать выводы.

### Содержание отчета

*Цель и задание.* Кинематическая схема машинки МСО-77Б. Описание устройства машинки и ее регулировки. Результаты расчета, графики.

### Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве и работе стригальных машинок МСО-77Б и МСУ-200.
2. Назовите правила заточки ножей.
3. Как определить подачу машинки?

Литература: [6, с. 284 – 300], [8, с. 589 – 626]

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПНОГО СКРЕПЕРА

*Цель работы:* изучение устройства, исследование технологического процесса и определение основных параметров цепного скрепера.

*Задание.*

1. Изучить устройство и работу цепного скрепера УС-15,
2. Рассчитать основные параметры технологической линии уборки навоза цепным скрепером с возвратно-поступательным движением.
3. Провести исследования и определить действительные параметры скрепера.

### Методические указания

Вперед выполнением лабораторной работы студент, пользуясь [4, 8], должен:

- изучить конструктивные особенности скребковых, канатно-скреперных и штанговых транспортеров для удаления навоза;
- знать работу указанных транспортеров;
- изучить особенности скреперов типа «Короб», «Стрела», «Лопатка», «Каретка».

### Устройство и принцип работы лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят: цепной скрепер УС-15 (макет), плакаты, опилки, измерительный комплект К-5С6, весы, секундомер, комплект инструмента.

Стационарный цепной скрепер возвратно-поступательного действия (порционного волочения) предназначен для уборки бесподстильного навоза крупного рогатого скота и свиней из навозных проходов на доильных площадках.

Скрепер (рис. 24) состоит из приводной станции 1 с механизмом реверсирования, поворотных устройств 2, рабочих органов 7, совершающих возвратно-поступательное движение, цепной контур 4 с круглозвенной или кованной тяговой цепью и щита управления. Мощность привода 1,1 кВт.

Редуктор приводной станции представляет собой спаренные редукторы горизонтального и наклонного транспортеров ТСН-3,0Б. Передаточное число редуктора 310.

Механизм реверсирования предназначен для автоматического реверсирования электродвигателя привода. В его состав входит прибор, Д-3М который крепится на щите управления, и бесконтактные концевые выключатели, установленные на приводе, механизм реверсирования приводится в действие приваренным к цепи упором.

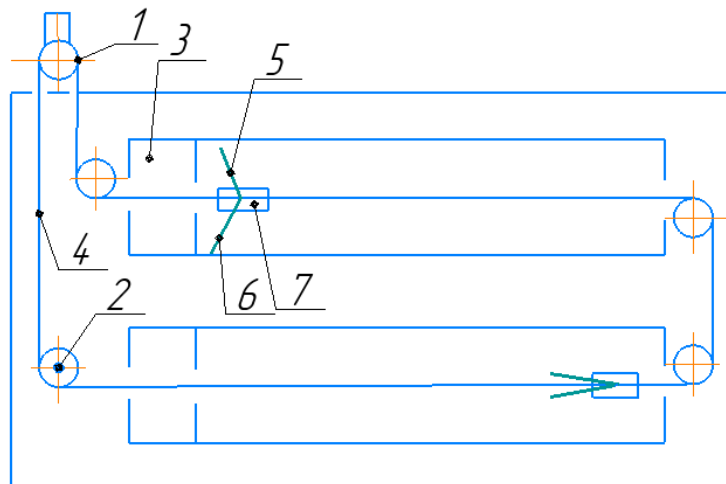
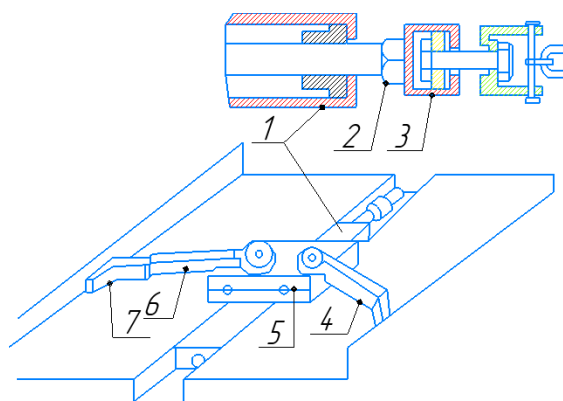


Рис. 24. Схема скреперной установки УС-15





**Рис. 25. Общий вид скрепера**

Поворотное устройство предназначено для изменения направления цепи и состоит из подпятника с анкерными болтами, звездочки (ролика – для кованной цепи), подшипников, крышек и оси.

Рабочий орган (рис. 25) предназначен для перемещения навоза по каналу и состоит из ползуна 1, шарнирного устройства 5, левого 4 и правого 6 скребков высотой 0,1 м, натяжного устройства 2 с подшипником 3. К ползуну подсоединяется цепь. Внутри скребка имеется выдвижной резиновый чистик 7.

При рабочем ходе скрепера (см. рис. 24) скребки 5 и 6 под действием сил трения раскрываются и перемещают навоз в сторону навозоприемника 8, а при обратном движении скрепера складываются, оставляя навоз в желобе.

Установка УС-15 убирает навоз из двух открытых навозных проходов шириной 1,8 или 3 м и глубиной 0,2 м. При этом скрепер движется со скоростью 0,0638...0,0717 м/с. Продолжительность одной уборки навоза 70 мин. Подача установки УС-15 – 1,4 т/ч.

### Порядок выполнения работы

Изучить устройство и принцип работы установки УС-15.

Провести расчет основных параметров технологической линии уборки навоза скреперной установки УС-15 по следующим формулам:

- продолжительность одного цикла удаления навоза:

$$t_{ц} = \frac{2L_{к}}{v_{ср}},$$

где  $L_{к}$  – длина пути перемещения скрепера из одного конечного положения до другого;  $v_{ср}$  – средняя скорость перемещения скрепера;

- подача, кг/с:

$$Q = \frac{M_{н} n_{с} k}{t_{ц}},$$

где  $M_{н}$  – масса навоза, перемещаемая одним скрепером, кг;  $n_{с}$  – количество скреперов;  $k$  – коэффициент, учитывающий заполнение канала и уплотнение навоза при его перемещении ( $k = 0,5$ );

- масса навоза, перемещаемая одним скрепером:

$$M_{н} = 6H^2 B \rho,$$

где  $H$  – высота скребка, м;  $B$  – ширина канала, м;  $\rho$  – объемная масса навоза, кг/м<sup>3</sup> (при расчетах принимать  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>);

- продолжительность работы транспортера в течение суток, с:

$$t_{сут} = \frac{M_{сут}}{Q},$$

где  $M_{сут}$  – суточный выход навоза, кг;  $Q$  – подача скрепера, кг/с.

– суточный выход навоза:

$$M_{\text{сут}} = \sum_{i=1}^n (m_{\text{ж}} + m_{\text{т}} + m_{\text{п}} + m_{\text{в}}) z_{\text{ж}},$$

где  $m_{\text{т}}$ ,  $m_{\text{ж}}$  – среднесуточное выделение твердых и жидких экскрементов одного животного, кг;  $m_{\text{п}}$  – суточная норма подстилки на одно животное, кг;  $m_{\text{в}}$  – суточная норма расхода воды на одно животное (при уборке навоза гидравлическими методами и при промывке установки);  $z_{\text{ж}}$  – число животных в группе;  $n$  – количество групп животных.

Суточное выделение экскрементов одного животного принимается по РД-АПК 1.10.15.02-17 «Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета».

Количество включений скреперной установки в сутки:

$$n_{\text{вк}} = \frac{t_{\text{сут}}}{t_{\text{ц}}},$$

где  $n_{\text{вк}}$  – число включений транспортера.

Данные для расчета взять из табл. 11.

### 11. Исходные данные для расчета

$L_{\text{к}}$ , м	$v_{\text{ср}}$ , м/с	$n_{\text{с}}$	$H$ , м	$B$ , м	$z_{\text{ж}}$	$n$
80	0,0633	4	0,2	2,5	50	4

Изучить устройство и проверить правильность подключения лабораторной установки на базе цепного скрепера. Только с разрешения преподавателя провести пробный пуск установки на холостом ходу и установить скребки в исходное положение.

Заполнить канавки материалом-заменителем навоза (опилки) в соответствии с заданными преподавателем коэффициентом заполнения.

Установить под конец желоба ящик и включить транспортер.

Определить время транспортировки заложенных в канал опилок (с помощью секундомера), действительные размеры и объем тела волочения (рис. 26):

$$V_{\text{л}} = \frac{B^2 H \text{ctg} \alpha}{4} + \left( \frac{L_1 h}{2 \text{tg} \varphi} \right) B,$$

где  $h$  – высота перемещаемой призмы, м;  $\alpha$  – угол между скребком и ползуном при рабочем ходе ( $\alpha = 75^\circ$ );  $\varphi$  – угол естественного откоса при движении ( $^\circ$ ), массу накопившихся в ящике опилок  $M$ . Для получения средних значений эксперимент повторить 3 раза.

Рассчитать действительную подачу скрепера  $Q_{\text{л}}$ .

С помощью измерительного комплекта К-51 зафиксировать мощность привода на холостом  $N_{\text{хх}}$  и рабочем ходу  $N_{\text{рх}}$ .

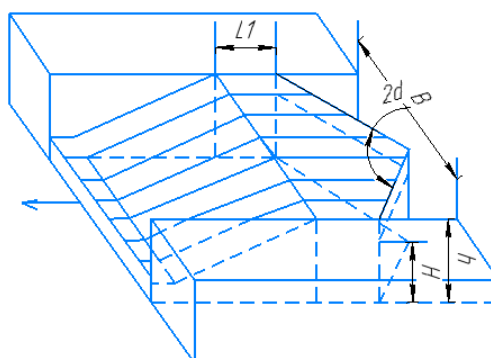


Рис. 26. Схема тела волочения

## **Содержание отчета**

Схема скреперной установки УС-15. Краткое описание его назначения, устройства и выполняемого технологического процесса. Расчеты по определению параметров технологической линии уборки навоза и результаты лабораторных исследований с анализом полученных данных.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы преимущества цепных скреперов перед другими средствами механизированной уборки навоза?
2. Как определить продолжительность одного цикла удаления навоза?
3. Как определить объем тела волочения?
4. Как рассчитать подачу цепного скрепера?
5. Какова методика определения действительной подачи цепного скрепера?
6. Рассказать устройство и принцип работы установок для уборки навоза типа ТСН-160, ТСН-3,0Б, ТС-1.

Литература: [4, с. 388 – 435], [8, с. 350 – 401].

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ**

*Цель работы:* ознакомление со способом исследования физико-механических свойств корнеклубнеплодов (ККП) и экспериментальное исследование этих свойств.

*Задание.*

1. Изучить конструкцию устройства и принцип его работы.
2. Определить коэффициенты трения и сопротивления сдвигу ККП в водной среде и без нее.

### **Методические указания**

Перед выполнением работы студент должен, пользуясь литературными источниками [9 – 16], ознакомиться с основными физико-механическими свойствами ККП и их влиянием на энергетические и качественные показатели работы корнеклубнемоющих машин.

### **Общие сведения**

На основании проведенного анализа конструкций технологических машин для мойки и очистки ККП, овощных и бахчевых культур на животноводческих фермах, в сахарной, пищевой промышленности и в других предприятиях предлагается уточненная их классификация по следующим признакам (рис. 27):

- по способу очистки – сухой, жидкостный и комбинированный;
- по принципу действия – непрерывные и периодические;
- по режиму работы – с длительным и кратковременным циклом;
- по виду движения рабочего органа – вращательный, поступательный, колебательный и комбинированный;
- по способу перемещения ККП в рабочей камере – гравитационные, центробежные, механические, гидравлические, комбинированные;
- по конструкции рабочего органа – барабанные, щеточные, шнековые, дисковые, лотковые, решетчатые, вальцовые, лопатные, клавишные, жидкостные;
- по виду воздействия рабочего органа на продукт – трение продукта о продукт, трение продукта о поверхность рабочего органа, трение рабочего органа о продукт, отмочка, воздействие струй жидкости, механическое, гидравлическое, пневматическое, комбинированное;
- по месту расположения устройств для отделения механических примесей – в моющей машине и перед моющей машиной;
- по конструкции устройств вывода продукта из машины – плужковые, ковшовые, кареточные и комбинированные;
- по материалу изготовления устройства вывода продукта – стальные, деревянные, капроновые, пластмассовые;
- по расположению в пространстве выгрузного устройства – вертикальные, горизонтальные, наклонные и комбинированные (пространственные);
- по способу отвода грязи и грязной воды – с ручным отводом, гидросмыв и с механическим отводом;
- по качеству конечного продукта – с остаточной загрязненностью не более 2...3%, с механическим повреждением не более 3% исходного продукта и с потерей питательных веществ не более 3%.

Отмывание загрязненных ККП у всех моечных машин так или иначе связано с использованием воды. По мере пребывания обрабатываемого продукта в затопленном состоянии загрязнения частично насыщаются водой и становятся более рыхлыми.

Барабанные корнеклубнемойки различаются по габаритным размерам, конструкции и числу секций (на одно- и двухкамерные). При очистке корнеплодов в барабанных и кулачковых машинах они совершают сложное движение как в самом слое, так и относительно рабочих органов и поверхностей машин. Находясь, как правило, в свободном положении, ККП могут двигаться в том же направлении, что и рабочие органы. В результате такого динамического взаимодействия загрязнения в местах контакта испытывают деформацию и сдвигаются. Дальнейшее взаимное перетирание продукта приводит к потере прочностных связей частиц, которые уносятся вместе с водой. Это не обеспечивает эффективного удаления загрязнений, но чрезмерно увеличивает энергоемкость процесса, так как большая часть энергии расходуется на перемещение материала. Степень очистки в таких машинах невысока. Недостатками барабанных корнеклубнемоек являются: малая производительность, длительность пребывания ККП в воде (до 6 мин) и низкая частота вращения барабана.

Кулачковые мойки, используемые в сахарной промышленности, в сочетании с гидроэлеваторами обеспечивают высокую степень очистки свеклы. Недостатками кулачковых моек являются: повышенное повреждение ККП, минимальная частота вращения кулачкового вала, большие удельные объемы моечного аппарата, повышенная загрязненность рабочих мест вычерпываемой водой, наматывание сорной растительности на вращающиеся элементы, при попадании металлических предметов между кулачками может произойти их заклинивание и вывод из технологического процесса всей машины.

В вибрационных и роликовых моечных машинах загрязнения с поверхности ККП отделяются в результате более активного перемещения продукта рабочими органами и интенсивного промывания их водой, вытекающей под давлением из отверстий оросителя. При этом вибрация с перекатыванием служит для пространственного изменения положения ККП и повышения эффективности струйной очистки. Струи, имея достаточное давление, обеспечивают удаление загрязнений с мест обильного скопления и с труднодоступных участков – углублений корневой системы. Такие машины, хотя и обладают малой производительностью, но обеспечивают высокую степень очистки благодаря гидродинамическому воздействию струй.

У центробежных машин вода оказывает слабое моющее действие на ККП, что объясняется ограниченной зоной струйной обработки, определяемой их конструкцией. Поэтому на труднообрабатываемых участках процесс носит случайный характер с поверхностным разрушением загрязнений. Это подтверждается малыми производительностью и степенью очистки (около 4%).

Недостатками дисковых корнеклубнемоек является объективная оценка качества вымытых ККП, их повреждение, высокий расход воды, избыточное попадание воды в измельченный продукт и невозможность отделения механических примесей.

Шнековые мойки относятся к машинам непрерывного действия. В конструктивном исполнении они наиболее хорошо сочетаются с различными измельчителями (ИКС-5М, ИКМ-Ф-10, АПК-10). При вращении шнек витками захватывает ККП, поднимает их в зону водяных струй, нагнетаемых насосами через распределительные трубопроводы. Преимущества шнековых моек: простота устройства, высокая пропускная способность и возможность обрабатывать ККП без удаления ботвы. Недостатком шнековых моек является невозможность пропускать ККП диаметром более 150 мм (при степени загрязненности 20% длина шнека должна быть не менее 6 м, что делает конструкцию корнеклубнемойки трудновыполнимой или требуется установка двух, трех и более машин в технологической линии). Кроме того, применение моечных машин связано с большим расходом воды, что требует их размещения в отапливаемых помещениях, оборудованных водопроводом, канализацией и полами с твердым покрытием, а также возникают трудности с остатками ботвы (приводит к загрязненности корма гнилостными бактериями). Это чрезмерно затрудняет их эксплуатацию, особенно в районах с суровым климатом.

Кроме того, шнековые мойки ИКС-5М и АПК-10, совмещая в себе принципы простого перетирания в ванне с водой и перетирания и одновременного орошения водой, при большей производительности машины не позволяют получать высокую степень очистки из-за непродолжительного пребывания ККП в зоне интенсивной обработки.

Машина ИКМ-5, широко применяемая в кормоцехах животноводческих ферм и комплексов, имеет комбинированную мойку, в которой сочетаются принципы перетирания и одновременного орошения водой и активного трения воды о поверхность продукта. Однако назначение вертикального вихревого потока в мойке машины состоит и в том, чтобы отделять камни и твердые комки почвы, что не позволяет увеличить его скоростной режим. Это в определенной мере снижает эффективность очистки ККП, а небольшие размеры камеры мойки и кратковременность пребывания продукта также не позволяют увеличить степень очистки. При исходной загрязненности ККП 8...10% они снижают ее до 2...5%.

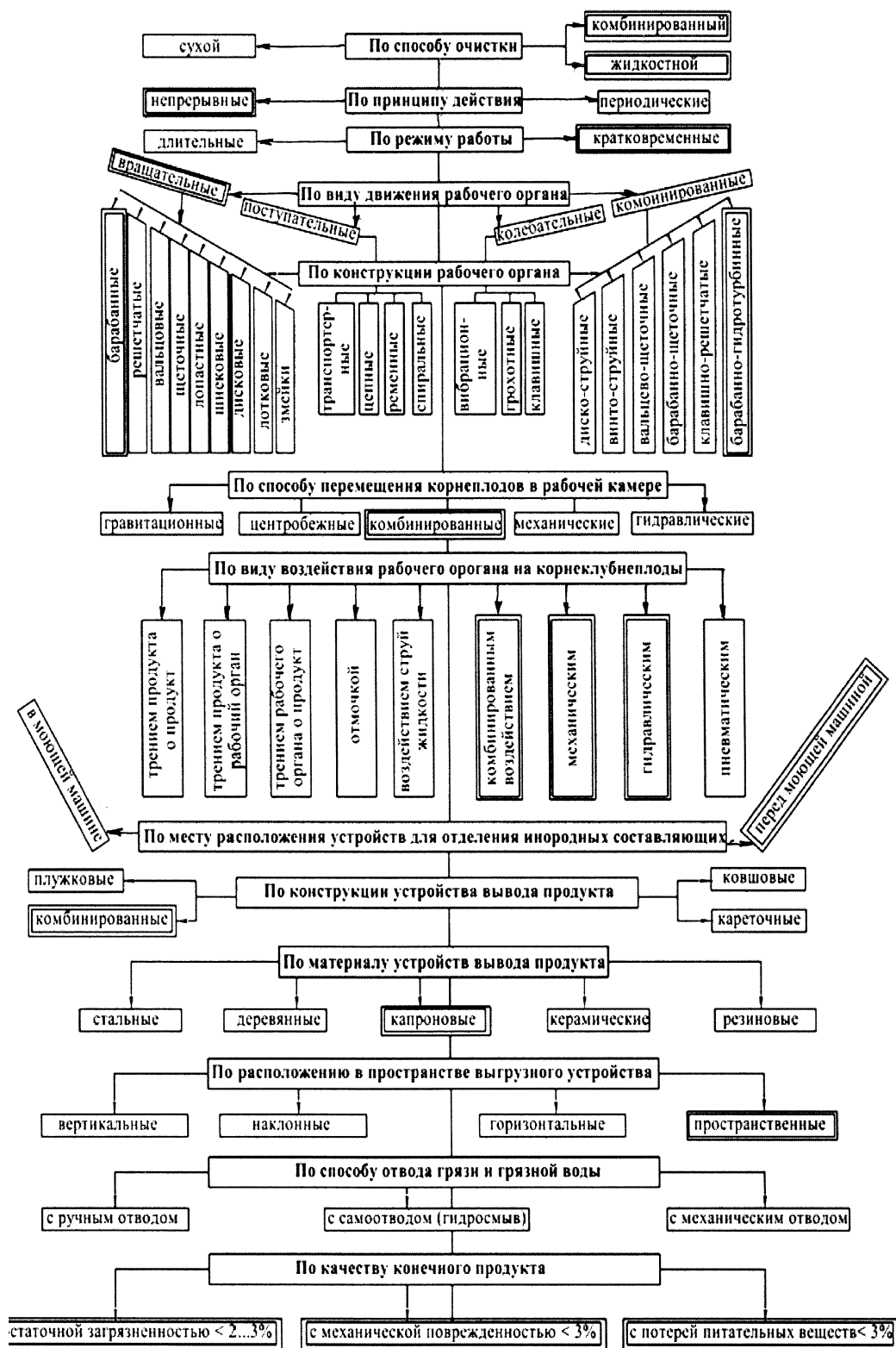


Рис. 27. Классификация способов и технических средств для мойки и очистки ККП

Наиболее высокое качество обеспечивают мойки, в основу которых положен принцип активного трения воды о поверхности движущихся ККП. Поток жидкости можно организовать вентилятором, ротором, струей и другими. ККП в потоке жидкости имеют возможность свободно ориентироваться и хаотически изменять свое пространственное положение. При этом вода воздействует на загрязнения со всех сторон, и они разрушаются интенсивнее.

Вентиляторные и струйные машины, имея достаточную длину рабочей зоны, обеспечивают почти полное отделение загрязнений, но при этом обладают высокой энергоемкостью. В данных типах машин, в отличие от барабанных, центробежных и кулачковых, нет совокупной обработки материала продуктом водой, а преобладает индивидуальное соприкосновение каждого ККП с гидродинамическим потоком жидкости, скорость которого значительно превышает скорость перемещения обрабатываемого продукта. Режим движения жидкости имеет турбулентный характер.

По иному протекает процесс при использовании ультразвуковых колебаний в жидкости. Распространение упругих волн сопровождается рядом эффектов, важнейшие из которых – акустическая кавитация, акустические потоки и давление. Эти явления оказывают основное физическое воздействие на процесс и одновременно усиливают физико-механическое взаимодействие моющей среды с загрязнениями. Главный фактор, разрушающий загрязнения, – кавитация, которая проявляется в разрывах жидкости под действием звуковой волны с образованием мелких пузырьков (диаметром 10...1000 мкм). Часть их после кратковременного существования (10...50 мкс) схлопывается, создавая при этом местные гидравлические удары, достигающие давления в десятки мегапаскалей. Другая часть под действием акустических потоков интенсивно пульсирует и перемещается вместе с гидродинамическими потоками, способствуя интенсификации очистки. При этом на частицы действуют большие динамические нагрузки, изменяющиеся как по направлению, так и по значению, что способствует быстрому отрыву частиц с поверхности ККП и переводу их во взвешенное состояние. Однако данный способ очистки пока не нашел широкого распространения в сельском хозяйстве из-за сложности применяемого оборудования. При длительном перетирании ККП в ванне с водой качество очистки существенно улучшается, однако снижается производительность и повышается энергоемкость процесса. Сочетание механических приемов и одновременного орошения водой позволяет получать продукт требуемого качества при сравнительно невысоких затратах энергии и времени обработки. Гидроразмывные устройства способны обеспечивать 100%-ное отделение загрязнений, однако они мало изучены и требуют значительных энергозатрат.

Наиболее совершенными машинами являются вибромойки, принцип работы которых заключается в следующем. ККП подаются транспортером в заполненную водой ванну, где предварительно отмываются, затем захватываются вращающимся и совершающим осевые колебания шнеком и, транспортируясь вверх, подвергаются активному воздействию вибрирующего в осевом направлении вращающегося шнека и окончательно отмываются водой, подаваемой через гребенку. Благодаря вибрационному возвратно-поступательному движению продукта в трубе моечной машины резко сокращается расход воды и улучшается качество отмыва.

Большое внимание в нашей стране и за рубежом уделяется изысканию высокоэффективных способов и средств для очистки ККП от загрязнений без применения воды, что позволяет проводить очистку непосредственно в хранилищах и кормоцехах. В настоящее время заслуживает внимания и является перспективной сухая очистка ККП от загрязнений на винтовых конвейерах. При этом отпадает необходимость в воде, снимаются проблемы с утилизацией грязной воды в окружающую среду, а сам процесс удешевляется. Хотя сухой способ очистки ККП лишен ряда недостатков, присущих водному, однако при этом высокий процент повреждаемости продукта при сравнительно низком качестве очистки. Кроме того, существующие механические рабочие органы не полностью разделяют ККП и соразмерные с ними твердые включения (камни, металл и др.), что приводит к поломкам измельчающих устройств.

К рабочим органам для сухой очистки ККП предъявляют следующие требования: возможность копирования поверхности продукта (т.е. поверхность рабочих органов должна максимально совпадать с поверхностью очищаемого материала); минимальная повреждаемость ККП в процессе очистки; одновременная очистка ККП разных типоразмеров. Механические безводные способы

позволяют очистить ворох на 60...90%. Механические рабочие органы делятся на: кулачковые, щеточные, шнековые, прутковые, барабанные (щеточные, шнековые, роликовые) транспортно-щеточные и комбинированные.

Кулачковые рабочие органы применяются в корнеклубнемоющих кормоприготовительных цехов, на свекло- и картофелеуборочных комбайнах, в сахарной промышленности и других областях.

Щеточные рабочие органы выполняются по двум схемам: барабанно-щеточные и щеточно-шнековые. Барабанно-щеточные рабочие органы представляют собой вращающийся сетчатый (планчатый, решетчатый) барабан с цилиндрической щеткой, установленной внутри барабана с радиальным смещением. Частота вращения щетки значительно выше скорости барабана, при вращении которого ККП поднимаются и попадают в зазор между барабаном и щеткой. Часть ККП перебрасывается через щетку, а другая возвращается из зазора, и цикл повторяется. Движение продукта вдоль оси барабана осуществляется за счет угла наклона барабана. Преимуществом щеточных рабочих органов является то, что они позволяют посредством ворсин копировать поверхность ККП и очищать на их поверхности налипшие почвенные и механические примеси. Недостатком щеточных рабочих органов, сдерживающим их применение, является их относительная недолговечность, основными причинами которой являются: жесткий способ крепления ворсин на рабочем органе очистителя и наматывание растительных остатков на щетки. Все это препятствует проходу материала и снижает общий эффект от очистки.

В щеточно-шнековых рабочих органах основным является транспортирующий шнек с щетками, расположенными на нем по дуге 180...200°. ККП, транспортируемые шнеком, находятся под воздействием прутков быстро вращающихся щеток. Устройства данного типа позволяют получить наиболее высокий процент очистки (более 80%), но производительность их на сильнозагрязненных ККП сравнительно невысока.

Барабанные и барабанно-роликовые рабочие органы применяют в комбинированных устройствах для предварительной механической (безводной) очистки ККП перед мойкой ИКУ-Ф-10, МП-2,5, ПВ-1500 и др. По мнению ряда исследователей, более эффективными очистительными устройствами являются очистители с комбинированными барабанно-роликовыми рабочими органами в сочетании с корнеклубнемоющей, положительной стороной которых являются большая пропускная способность, сравнительно небольшие габаритные размеры, довольно высокая степень отделения свободных примесей. Однако в этих устройствах при очистке удлиненных ККП часть материала принимает вертикальное положение, в результате чего образуется монолитный слой, который снижает общий эффект очистки и увеличивает количество травмированных ККП.

Прутковые и кулачковые рабочие органы обеспечивают низкий процент очистки 40...48%, отличаются высокой повреждаемостью ККП – 4,7...4,9%, что ограничивает возможности использования их в качестве очистителей для них.

Щеточным рабочим органом, имеющим постоянное количество очищающих элементов, нельзя с одинаковым качеством очистить ККП от примесей. К их недостаткам можно отнести: ненадежность в работе, качество отделения примесей не соответствует зоотехническим требованиям. Применение устройств с наполнителем из эластичных гранул также не позволяет отделять камни от продукта. По мнению ряда исследователей, следует разрабатывать новую технологию подготовки и приготовления ККП и новые машины, основанные на безводном принципе работы, изолирующие отделенные примеси. Анализ результатов ряда ученых показывает, что для сухой очистки ККП наиболее перспективными являются шнековые рабочие органы. Поэтому для качественной очистки ККП необходимо найти оптимальный вариант, при котором остаточная их загрязненность будет соответствовать зоотехническим требованиям, а поверхность не будет повреждаться.

Отечественными учеными разработаны машины для сухой очистки и измельчения ККП МСОК-10 и МСОК-18, а в республике Беларусь выпускают унифицированный измельчитель ККП ИУК-2 для сухой очистки, но данные конструкции машин также не отвечают современным зоотехническим требованиям.



Из зарубежных конструкций очистителей ККП можно выделить машины «Б-160» и немецкой фирмы InnoKAT модели SPE 1000. Рабочий процесс машины «Б-160» заключается в следующем: ККП из бункера транспортирующим органом (шнеком) перемещаются вверх и, проходя по планкам, расположенным по периферии рабочего органа, очищаются. Обладая высокой производительностью, данная машина неработоспособна при высокой влажности налипшей почвы и большом загрязнении ККП. В машине сухой очистки немецкой фирмы InnoKAT рабочий орган представляет собой пластиковые вальцы спиралевидной формы с резиновым покрытием. Ее достоинства – большой срок эксплуатации, высокие производительность и качество очистки, а недостаток – в процессе встряхивания ККП происходит сильное травмирование готового продукта.

### Устройство и принцип работы лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят: установка для исследования коэффициентов трения и сопротивления сдвигу ККП; сменная поверхность с разными материалами (окрашенная сталь, резина), ККП, измерительные приборы (линейка, штангенциркуль), весы электронные с точностью измерения до 0,01 грамма.

Общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 28. Она состоит из корпуса 1, сменной поверхности 2, механизма угла наклона исследуемой поверхности и угловой шкалы 3. Корпус 1 выполнен из оптически прозрачного материала, на боковой поверхности которого закреплена угловая шкала 3 для фиксации угла наклона исследуемой поверхности 2. Сменная исследуемая поверхность 2 представляет собой стальную прямоугольную пластину по размерам, меньшим, чем внутренние размеры корпуса 1, один конец которой шарнирно соединен с механизмом угла наклона, а другой – шарнирно в нижней части корпуса 1. Механизм угла наклона базовой поверхности включает в себя Т-образную вильчатую рамку 4, шарнирно соединяющую между собой верхнюю и нижнюю ее части. Нижняя часть шарнирно соединена со сменной базовой поверхностью 2 с помощью оси и двух пальцев, а верхняя часть состоит из двух направляющих 5 и опоры 6 прямоугольного сечения, имеющей по торцам внутренние проточки. Посередине опоры 6 имеется центральное отверстие, в которое свободно проходит резьбовая часть вильчатой рамки 4, фиксирующейся от опускания рукояткой 7. Трос 8 (капроновая нить) с помощью зажима соединяет ККП 9 с мерной емкостью 13 для сухого песка через ролики 10, 11 и 12, угловая шкала 3 позволяет определять угол наклона исследуемой поверхности с расположенным на ней продуктом. Весы 14 предназначены для взвешивания массы сухого песка в емкости 13.

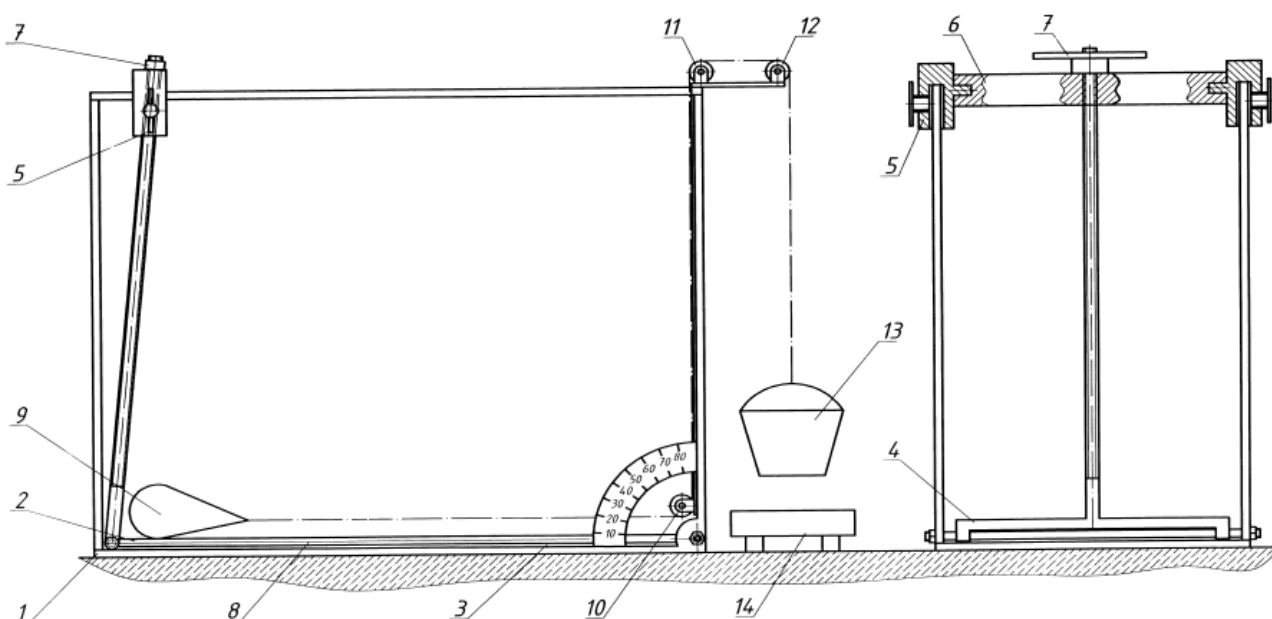


Рис. 28. Конструктивно-технологическая схема устройства для исследования коэффициентов трения и сопротивления сдвигу ККП

## Порядок выполнения работы

Получить задание у преподавателя.

Определить коэффициенты трения ККП о различные поверхности (окрашенная сталь, резина) в воде и без нее при различных углах наклона сменной поверхности.

Предварительно ослабив болты направляющих 5, сменную исследуемую поверхность 2 с помощью рукоятки 7, устанавливаем горизонтально по угловой шкале 3 и затягиваем болты направляющих 5.

У корней сахарной свеклы в наибольшем утолщении измеряем диаметр как среднее арифметическое из максимального и минимального измерений, длину от головки корня до его хвоста толщиной 10 мм, и массу. Загрязненность определяем как отношение массы загрязнений к массе продукта до мойки по формуле

$$\delta_3 = \frac{m_g - m_h}{m_g},$$

где  $\delta_3$  – загрязненность ККП, %;  $m_g$  – масса порции ККП до отмыва, кг;  $m_h$  – масса порции ККП после мойки и просушивания, кг.

Результаты замеров заносим в табл. 12.

Трос 8 с помощью винта с проушиной одним концом закрепляем к ККП 9, а другим – через ролики 10, 11 и 12 – к мерной емкости 13. Мерную емкость 13 устанавливаем на весы 14 и регулируем натяжение троса 8 (без провисания) устройством, с помощью которого он крепится к мерной емкости. При этом уложенный на горизонтальную сменную поверхность ККП не должен перемещаться.

Постепенно засыпаем в емкость 13 сухой песок до начала движения ККП по исследуемой поверхности 2, взвешиваем массу песка в мерной емкости 13. Песок не высыпаем. Результаты заносим в табл. 12.

Выполняем пункт 2.2, но уже с песком в мерной емкости 13, оставшимся после взвешивания. С помощью рукоятки 7 изменяем угол наклона исследуемой поверхности с расположенным на ней ККП до мойки. Момент сдвига ККП фиксируем по угловой шкале 3 и результаты заносим в табл. 12.

Опыты проводим в пятикратной последовательности.

Проводим замену исследуемой поверхности и повторяем.

Аналогично проводим исследования с этим же ККП в воде. Результаты заносим в табл. 12.

Проводим замену сменной поверхности 13 и аналогично проводим исследования с этим же ККП в воде и без нее. Результаты заносим в табл. 12.

Опыты проводим в пятикратной повторности.

## 12. Результаты эксперимента

№ опыта	Вид ККП	Исследуемая поверхность	Размеры ККП, м	Масса ККП, кг		Масса мерной емкости, кг	Масса песка в мерной емкости при перемещении ККП, кг		Угол наклона сменной поверхности в зависимости от внешнего состояния ККП, °	
				загрязненного	отмытого		без песка	с песком	загрязненного	отмытого
1										
2										
3										
4										
5										
Среднее значение										

## Содержание отчета

*Цель работы и задание.* Конструктивно-технологическая схема устройства для исследования коэффициентов трения и сопротивления сдвигу ККП и описать принцип его работы. Заполненная табл. 12. Выводы по результатам работы и расчета.

### Контрольные вопросы

1. Какие физико-механические свойства ККП вы знаете? На что они влияют?
2. Как определить коэффициент внешнего трения?
3. Как определить коэффициент внутреннего трения?
4. Какие машины для мойки ККП вы знаете?
5. Как классифицируются машины для мойки ККП?

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСКОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ**

*Цель работы:* изучение методики теоретического расчета и экспериментального определения технологических показателей дискового измельчителя корнеклубнеплодов (ККП).

*Задание.*

1. Изучить конструкцию устройства и принцип работы дискового измельчителя ККП.
2. Теоретически определить производительность дискового измельчителя ККП и размера частиц измельченного продукта.
3. Рассчитать мощность на привод дискового измельчителя ККП.
4. Экспериментально определить энергетические характеристики, мощность и качественные показатели дискового измельчителя ККП.

*Оборудование рабочего места:* дисковый измельчитель ККП КПИ-4, секундомер, настольные электронные весы с погрешностью измерения 0,01 грамма, мерный ящик, штангенциркуль, линейка, ККП – 50...60 кг.

### **Методические указания**

Перед выполнением работы студент должен, пользуясь литературными источниками [9 – 16], ознакомиться с особенностями измельчения ККП в дисковых измельчителях и влиянием ККП на энергетические и качественные показатели работы кормоизмельчающих машин.

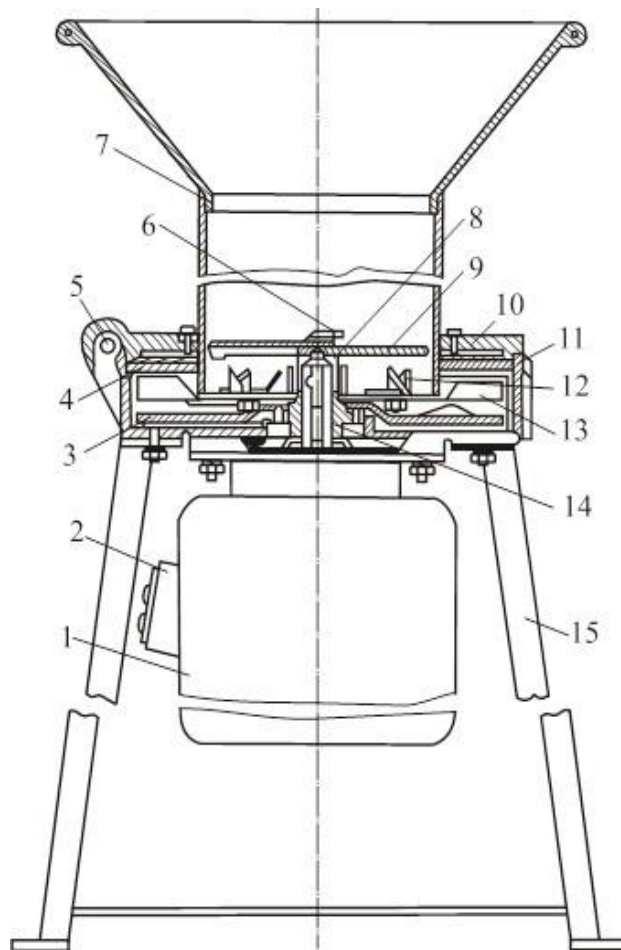
#### **Устройство и принцип работы дискового измельчителя ККП**

Дисковый измельчитель КПИ-4 – стационарного типа, предназначен для измельчения предварительно вымытых ККП в стружку и мелкую мезгу или пасту (рис. 29). Можно использовать в технологических линиях кормоприготовительных отделений или цехов животноводческих ферм, а также в условиях небольших ферм и фермерских хозяйств. Машина выпускается в двух исполнениях: основное исполнение КПИ-4 предназначено для грубого (крупного) измельчения; исполнение КПИ-4-01 предназначено для мелкого измельчения корма. Они имеют два диска со сменными ножами, что позволяет получить более широкий диапазон измельчения кормов в зависимости от вида животных, для которых необходимо измельчать корм.

Дисковый измельчитель из станины 15, бункера 7, измельчающего аппарата и системы электрооборудования. Станина изготовлена из прокатных профилей. На ней закреплены все другие узлы. На внутренней стороне бункера крепится угольник, удерживающий вместе с диском 9 ККП от вращения.

Измельчающий аппарат состоит из корпуса 11, в котором размещены две части: верхняя и нижняя. Верхняя часть состоит из диска 9 с горизонтальным заменяемым ножом. Нижняя часть аппарата состоит из двух дисков, скрепленных между собой болтами. Между дисками расположены четыре лопатки 13 (две внутренние и две внешние) и четыре вертикальных ножа 12, два из которых имеют внутреннюю, а два – внешнюю заточку.

В корпусе измельчающего аппарата устанавливают деку с зубьями или без зубьев. Корпус укреплен на станине болтами. Сбоку к нему присоединен выбросной рукав, снизу – фланцевый электродвигатель 1. Ступица 14 швырялки (выбрасывателя) закреплена шпонкой на валу электродвигателя, на ней посажены нижние диски и ступица верхнего диска. Между дисками установлены шайбы для сохранения зазора 2...3 мм. Для предотвращения попадания влаги в электродвигатель на валу устанавливают резиновый сальник. Сменный горизонтальный нож крепится дужками и болтом 6 в прорези верхнего диска 9. Вертикальные ножи закреплены между нижними дисками. Крышка 10 шарнирно соединена с корпусом и в рабочем положении фиксируется двумя накидными болтами. На крышке жестко закреплен бункер 7. Нижняя цилиндрическая часть деки 4 выполнена в виде зубьев. С машиной также поставляется дека без зубьев (для исполнения КПИ-4) с укороченной цилиндрической частью. Дека прижимается к корпусу крышкой.



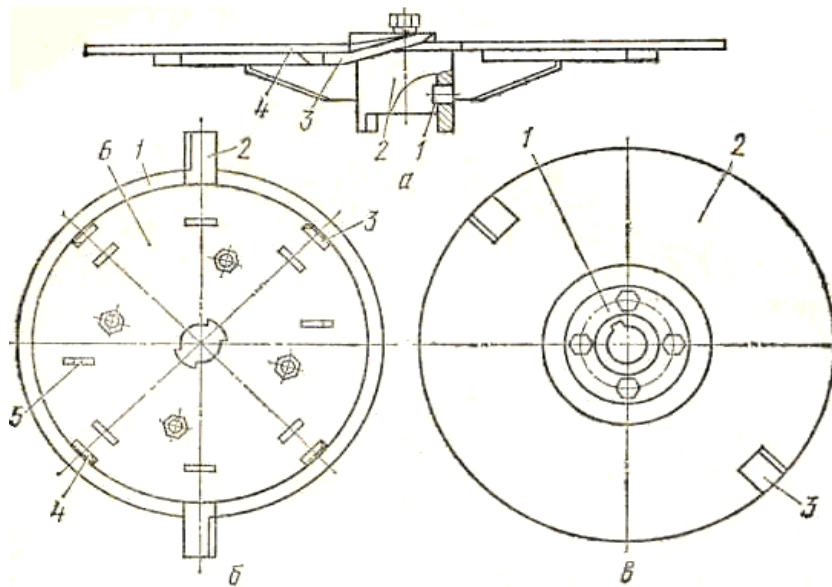
**Рис. 29. Конструктивно-технологическая схема дискового измельчителя КПИ-4:**

- 1 – электродвигатель; 2 – магнитный пускатель; 3 – выбрасыватель; 4 – дека; 5 – палец шарнира;  
 6 – специальный болт; 7 – бункер; 8 – ступица верхнего диска; 9 – верхний диск с ножом;  
 10 – крышка камеры измельчения; 11 – корпус камеры измельчения;  
 12 – вертикальные ножи; 13 – лопасти нижнего диска; 14 – ступица выбрасывателя; 15 – станина

В состав электрооборудования дискового измельчителя входят электродвигатель 4АМ112МВ6СУ1 (для измельчителя КПИ-4) и 4АМ112М4СУ1 (для измельчителя КПИ-4-01) мощностью соответственно 4,0 и 5,5 кВт и автоматический выключатель 2 типа АЕ, который защищает электродвигатель от коротких замыканий в электросети и от длительных перегрузок.

Технологический процесс заключается в следующем. При измельчении ККП в стружку, на валу электродвигателя монтируют швырялку (выбрасыватель) 3 и верхний диск 9. Толщина стружки зависит от номера ножа. Ножи верхнего диска маркированы цифрами № 5 и № 8. При использовании ножа с № 5 основная масса частиц будет толщиной 7...10 мм, с № 8 – больше 0 мм. При этом в корпус измельчающего аппарата устанавливают деку без зубьев. Рабочий процесс в этом случае протекает следующим образом. Загружаемые в бункер ККП попадают на верхний диск и удерживаются от вращения угольником. Нож, прикрепленный к диску, измельчает их. Срезанные частицы попадают на выбрасыватель, лопасти которого выносят их из машины через выбросной рукав в кормораздатчик или другие машины для дальнейшей обработки.

При измельчении ККП в мезгу на ступицу выбрасывателя устанавливают нижний диск с лопастями и вертикальными ножами 12, а в корпусе измельчающего аппарата – деку с зубьями (для исполнения КПИ-4-01). В этом случае измельченная верхним ножом масса падает на нижний диск и отбрасывается к деке. На пути движения масса измельчается ножами с внешней заточкой. Частицы, застрявшие в деке, обрезаются ножами с внутренней заточкой и протираются между зубьями. Переработанная масса выносится из машины внешними лопастями выбрасывателя через выбросной рукав. Степень измельчения – 1...6 мм (мезга).



**Рис. 30. Диск измельчителя КПИ-4:**

- a* – верхний диск, вид сбоку: 1 – штифт фиксации; 2 – ступица; 3 – сменные ножи; 4 – диск;  
*б* – нижний диск с ножами, вид сверху: 1, б – диски;  
 2, 5 – наружные и внутренние лопасти; 3, 4 – ножи внутренней и внешней заточки;  
*в* – диск выбрасывателя, вид сверху: 1 – ступица; 2 – диск; 3 – лопасти

Верхний диск служит для грубого (крупного) измельчения корнеплодов и состоит из диска 4 (рис. 30, *a*), ступицы 2 со штифтом фиксации 1 и сменными ножами 3, которые крепятся к диску 4 болтами.

Нижний диск с ножами предназначен для мелкого измельчения ККП. Он состоит из двух дисков 1 и б (рис. 30, *б*), ножей 3 и 4 внутренней и внешней заточки, наружных и внутренних лопастей 2 и 5. Ножи и лопасти крепятся между зажатыми дисками болтами.

Диск выбрасывателя обеспечивает выталкивание измельченных ККП и состоит из ступицы 1 (рис. 30, *в*), к которой четырьмя болтами крепится диск 2 с лопастями 3.

Теоретическое определение производительности горизонтального дискового измельчителя и размера частиц измельченного продукта

Производительность горизонтального дискового измельчителя ККП определяется по формуле, кг/с

$$Q_T = Vn\gamma,$$

где  $V$  – объем продукта, срезаемого за один оборот диска, м<sup>3</sup>;  $n$  – частота вращения диска, с<sup>-1</sup>, (задается преподавателем);  $\gamma$  – объемная масса продукта,  $\gamma = 580 \dots 650$  кг/м<sup>3</sup>.

Объем продукта, срезаемого за один оборот диска, составляет

$$V = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} b z k_d k_{\Pi},$$

где  $D$  и  $d$  – диаметры диска по наружному и внутреннему концам горизонтального ножа, м;  $b$  – просвет между кромкой ножа и поверхностью диска, м (равен толщине срезаемой стружки – 5...8 мм);  $z$  – число ножей, для расчетов примем  $z = 1 \dots 2$ ;  $k_d$  – коэффициент, характеризующий использование поверхности диска,  $k_d = 0,8 \dots 1,0$ ;  $k_{\Pi}$  – коэффициент, учитывающий наличие пустот между ККП,  $k_{\Pi} = 0,35 \dots 0,40$ .

Так как окончательное измельчение осуществляется на второй ступени измельчителя, то и средний размер частиц измельченного продукта определяется исходя из производительности этой ступени при центробежной передаче:

$$Q_{\Pi} = \pi D_p l_2 b_2 n \gamma k_k k_3 z_2,$$

где  $D_p$  – диаметр камеры резания, м (определяется между наружным концом горизонтального ножа с учетом просвета между кромкой ножа и поверхностью диска);  $l_2$  – длина ножа второй ступени измельчителя, м;  $b_2$  – средний размер частиц измельченного продукта после измельчения, для расчетов примем  $b_2 = 1 \dots 8$  мм;  $n$  – частота вращения ножей,  $c^{-1}$ , (задается преподавателем);  $\gamma$  – объемная масса измельченного продукта,  $\gamma = 650 \dots 750$  кг/м<sup>3</sup>;  $k_k$  – коэффициент, характеризующий использование диска во второй ступени измельчения,  $k_k = 0,7 \dots 0,8$ ;  $k_3$  – коэффициент, учитывающий заполнение продуктом пространства между дисками,  $k_3 = 0,35 \dots 0,45$ ;  $z_2$  – число ножей во второй ступени измельчителя,  $z_2 = 1 \dots 2$ .

Аппарат вторичного резания измельчает весь продукт, прошедший через первую ступень измельчения. Тогда

$$Q_T = Q_{II} = \pi D_p l_2 b_2 n \gamma k_k k_3 z_2.$$

Из этого равенства окончательно определяем:

$$b_2 = \frac{Q_{II}}{\pi D_p l_2 n \gamma k_k k_3 z_2}.$$

Мощность, необходимая для привода измельчителя, составляет, кВт:

$$N = N_1 + N_2,$$

где  $N_1$  – мощность, затрачиваемая при работе первой ступени измельчителя, кВт;  $N_2$  – мощность, затрачиваемая при работе второй ступени измельчителя, кВт.

Определить мощность, затрачиваемую на первой ступени измельчителя, можем по формуле

$$N_1 = \frac{(N_{p1} + N_{тр1})}{\eta},$$

где  $\eta$  – механический КПД,  $\eta = 0,95$ .

Мощность, затрачиваемая на резание ККП, кВт:

$$N_{p1} = P_1 v k_0 k_1,$$

где  $P_1$  – сила резания, кН;  $v$  – скорость резания, м/с;  $k_0$  – конструктивный коэффициент, равный  $k_0 = 0,7 \dots 0,8$ ;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий заполнение бункера,  $k_1 = 0,35 \dots 0,45$ .

Сила резания равна:

$$P_1 = q_0 l_1,$$

где  $q_0$  – удельное давление ножа на измельчаемый материал, равное  $q_0 = 1,5 \dots 2,0$  кН/м;  $l_1$  – длина лезвия ножа, м.

Поскольку точка приложения силы резания ( $P_1$ ) расположена на расстоянии  $2/3$  радиуса ( $R$ ) ножевого диска от его центра, скорость резания определяем по формуле

$$v = 2\pi n \frac{2R}{3}.$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения ККП о диск, равна, кВт:

$$N_{тр1} = 4M_{II} f g R \pi n \beta / 3,$$

где  $M_{II}$  – масса ККП, постоянно находящихся в приемном бункере измельчителя, кг;  $f$  – коэффициент трения ККП о диск,  $f = 0,6 \dots 0,65$ ;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий уменьшение силы нормального давления за счет режущего и отталкивающего действия ножей,  $\beta = 0,3 \dots 0,4$ .

Мощность, затрачиваемую на второй ступени измельчителя, найдем по формуле, кВт

$$N_2 = N_{p2} + N_{тр2} + N'_{тр2},$$

где  $N_{p2}$  – мощность, затрачиваемая на резание предварительно измельченного продукта, кВт;  $N_{тр2}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения продукта о диск второй ступени измельчителя, кВт;  $N'_{тр2}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление силы трения продуктов о стенки корпуса, кВт.

Мощность ( $N_{p2}$ ), затрачиваемая на резание предварительно измельченного продукта, кВт, равна

$$N_{p1} = q_0 l_2 z_2 R 2 \pi n k_0 k_1.$$

Мощность ( $N_{тр2}$ ), затрачиваемая на преодоление сил трения продукта о диск аппарата вторичного измельчения, составляет 10% мощности, расходуемой на резание, кВт, т.е.

$$N_{тр2} = 0,1 N_{p2}.$$

Мощность ( $N'_{тр2}$ ), затрачиваемая на преодоление сил трения продукта о стенки камеры измельчителя на аппарате вторичного резания, кВт, равна:

$$N'_{тр2} = 25,6 R f \beta \pi n k_0 \cdot 10^{-3},$$

где 25,6 – коэффициент, учитывающий характер взаимодействия измельченных ККП, находящихся в аппарате вторичного резания, с декой и стенками камеры измельчения.

*Экспериментальное определение энергетических характеристик, производительности и качественных показателей дискового измельчителя ККП.* Для подтверждения правильности теоретических расчетов проводят опыт, включающий проверку и пуск измельчителя в работу; измельчение навески ККП; определение производительности энергетических показателей и размера частиц измельченного продукта с последующей статистической обработкой результатов.

Определить мощность ( $N_{xx}$ ) привода измельчителя на холостом ходу.

С разрешения преподавателя включают измельчитель и при установившемся режиме записывают показания ваттметра. Данные заносят в табл. 13. Опыт проводят с пятикратной повторностью.

### 13. Характеристика дискового измельчителя КПИ-4

Данные	Мощность привода $N$ , кВт								Продолжительность опыта, с	Производительность, $Q$ , кг/с	Средний размер измельченных частиц, $b$ , м
	Холостой ход				Рабочий ход						
	№ опыта	Показания ваттметра	Среднее значение	$N_{xx} = C_{cp} \cdot K$	№ опыта	Показания ваттметра	Среднее значение, $C_{1cp}$	$N_{рх} = C_{1cp} \cdot K$			
Опытные	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
Расчетные	1										
	2										
	3										
	4										
	5										

$K$  – постоянная прибора (принимается по паспорту)



Определить мощность ( $N_{\text{рх}}$ ) рабочего хода измельчителя.

Отбирают навеску ККП массой  $q_{\text{оп}} = 50$  кг. Пускают в работу измельчитель. После достижения рабочего режима подают ККП в приемный бункер и с помощью секундомера фиксируют продолжительность их полного измельчения ( $t$ ). Одновременно записывают показания ваттметра (3...5 показаний в течение опыта). Данные сводят в табл. 13.

Определить действительную производительность измельчителя, кг/с:

$$Q = \frac{q_{\text{оп}}}{t},$$

где  $q_{\text{оп}}$  – масса опытной навески, кг;  $t$  – длительность опыта, с.

Определить средний размер частиц, измельченных ККП.

Из измельченной массы отбирают три навески массой по 100 г каждая. Навески раскладывают на плотной бумаге и из них отбирают пробы по 25 измельченных частиц. Результаты измерения частиц заносят в табл. 14 и проводят их статистическую обработку.

При этом определяют:

а) среднее арифметическое (выборочное среднее) размера измельченных частиц:

$$b_{\text{ср}} = \bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i,$$

где  $x_i$  – совокупность измеренных значений толщины измельченных частиц;  $m$  – число измерений.

б) выборочную дисперсию ( $S^2$ ) и выборочное отклонение ( $S$ ) среднего размера измельченных частиц:

$$S^2 = \pm \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2,$$

$$S = \pm \sqrt{S^2} = \pm \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{m-1}};$$

в) ошибку выборочной средней ( $S_x$ ):

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{m}}.$$

г) показатель точности опыта ( $P$ ), % – относительную ошибку выборочной средней:

$$P = \left( \frac{S_x}{\bar{x}} \right) \cdot 100.$$

Полученные результаты сводим в табл. 14.

#### 14. Размер частиц, измельченных ККП

№	Проба № 1 $b_1(x_{i1}), \text{м}$	Проба № 2 $b_2(x_{i2}), \text{м}$	Проба № 3 $b_3(x_{i3}), \text{м}$	Средние значения параметров, м
1				$b_{\text{ср}}(\bar{x})$
2				
3				
...				
...				$S$
...				
$m-1$				$S_x$
$m$				$P$

### Анализ результатов исследований

Определить удельную энергоемкость измельчения ККП на дисковом измельчителе, кВт·с/кг:

$$N_{\text{уд}} = \frac{N_{\text{рх}} - N_{\text{хх}}}{Q}.$$

Сравнить основные характеристики дискового измельчителя ККП КПИ-4, полученные расчетным и опытным путем, с паспортными данными. Объяснить различия в данных.

### Содержание отчета

Цель работы и задание. Вычертить конструктивно-технологическую схему дискового измельчителя ККП и описать принцип его работы. Расчеты производительности дискового измельчителя ККП, размера частиц измельченного продукта, мощности на привод измельчителя. Результаты экспериментальных исследований по форме табл. 13 и 14. Выводы по результатам работы.

### Контрольные вопросы

1. Чем отличается процесс резания ККП от резания стебельных кормов?
2. Перечислить рабочие органы дискового измельчителя ККП.
3. Как определить размер частиц измельченного продукта на дисковом измельчителе ККП?
4. Каковы составляющие мощности на привод измельчителя?
5. Какие факторы влияют на величину мощности, затрачиваемой на резание продукта и трение продукта в измельчителе?
6. Как определяется удельная энергоемкость измельчения ККП на дисковом измельчителе?

## ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛОПАСТНОЙ МЕШАЛКИ

*Цель работы:* знакомство с лопастными смесителями, теоретическое и экспериментальное исследование рабочего процесса лопастной мешалки.

*Задание.*

1. Ознакомиться с основными конструктивно-технологическими схемами мешалок.
2. Определить основные параметры лопастной мешалки.

### Методические указания

Перед выполнением лабораторной работы студент, пользуясь [6, 7, 10, 19], должен изучить основные типы мешалок, их конструктивные особенности и режимы работы.

### Устройство и принцип работы лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят: лопастной смеситель, линейки, штангенциркуль, плакаты.

В лопастных смесителях сыпучие пищевые продукты перемешиваются лопастями, закрепленными, как правило, на горизонтальном валу. Эти смесители бывают непрерывного и периодического действия. Лопасти закрепляются на валу по винтовой линии, что обеспечивает одновременное перемешивание и перемещение продукта вдоль вала. Для обеспечения необходимого качества перемешивания сыпучих продуктов в лопастном смесителе непрерывного действия экспериментально устанавливается оптимальное время смешивания, которое должно соответствовать времени перемещения сыпучих продуктов в смесителе от места загрузки к месту выгрузки. Это время можно изменять путем изменения числа оборотов вала с лопастями, а также угла поворота лопастей относительно вала. В лопастных смесителях периодического действия продукт обычно перемешивается радиальными лопастями, несколько повернутыми относительно оси вращения. Такое устройство рабочих органов обеспечивает перемешивание с одновременной циркуляцией продукта в корыте смесителя.

Лопастной смеситель состоит из бункера, в котором размещен вал с расположенными на нем лопастями. Для выгрузки смеси предусмотрено выгрузное окно с шиберной заслонкой. Лопасти установлены под определенным углом, обеспечивающим получение наилучшего качества смеси за наименьшее время.

Рабочий процесс протекает следующим образом. Отвешивают необходимое количество компонентов смеси, включают привод вала смесителя и засыпают компоненты. Засекают время начала смешивания. По истечении необходимого времени открывают выгрузное окно и выгружают готовую смесь.

### Порядок выполнения работы

Пользуясь методикой [6], изучить устройство и работу лопастной мешалки.

Провести измерение основных конструктивных параметров лопастного смесителя и заполнить табл. 15.

### 15. Результаты замеров смесителя

Значения показателей								
$R_{л}$	$S$ , м	$\omega$ , с <sup>-1</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$z_{л}$ , шт.	$\alpha$ , °	$r_{л}$ , м	$a$ , м	$\beta$ , °

Определить подачу лопастного смесителя (рис. 31) по формуле

$$Q = \frac{R_{\text{л}}^2 S \omega \rho \varphi_3}{2}$$

где  $R_{\text{л}}$  – наибольший радиус вращения лопастей, м;  $S$  – шаг расстановки лопастей, м;  $\omega$  – угловая скорость лопастей,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\rho$  – насыпная плотность смешиваемых кормов,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\varphi_3 = V_6/V_{\text{к}}$  – коэффициент заполнения;  $V_6$  – объем бункера,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\text{к}}$  – объем, занимаемый кормом,  $\text{м}^3$ .

Определить критическую угловую скорость:

$$\omega_{\text{кр}} \leq \sqrt{\frac{g}{R_{\text{л}}}}$$

Определить мощность на привод мешалки:

$$N_{\text{л}} = \frac{(P_{\text{п}} v_{\text{п}} + P_0 v_0) z_{\text{л}}}{1000},$$

где  $P_{\text{п}}$  – окружное усилие, действующее на лопасть, Н;  $P_0$  – осевое усилие, Н;  $z_{\text{л}}$  – число одновременно погружаемых лопастей, шт.;  $v_{\text{п}} = \omega r_{\text{ср}}$  – окружная скорость, м/с;  $v_0 = v_{\text{п}} \cos \alpha \sin \alpha$  – осевая скорость, м/с;  $\alpha$  – угол наклона лопасти к оси вращения вала мешалки, град;  $f$  – коэффициент трения,  $f = 0,6$ ;  $r_{\text{ср}} = r_{\text{ср}} = \frac{2R_{\text{л}}}{3}$ , – средний радиус или расстояние от оси вращения до точки приложения равнодействующей сил сопротивления, м.

Окружное и осевое значения усилий определяют соответственно по формулам:

$$P_{\text{п}} = P_n (\cos \alpha + f \sin \alpha);$$

$$P_0 = P_n (\sin \alpha - f \cos \alpha),$$

где  $P_n$  – нормальная составляющая сил сопротивлений, Н.

Нормальную составляющую сил сопротивлений определяют по формуле:

$$P_n = 9,81 p h_{\text{ср}} F_{\text{л}} \text{tg}^2 [45^\circ + (\varphi/2)],$$

где  $h_{\text{ср}} = R_{\text{л}}/2$  – средняя глубина, равная половине наибольшей глубины погружения лопасти, м;  $\varphi = \text{arctg} f$  – угол внутреннего трения материала, град;  $F_{\text{л}}$  – проекция площади лопасти, погруженной в материал, на направление вращения,  $\text{м}^2$ .

Проекция площади лопасти, погруженной в материал, на направление вращения определим по формуле:

$$F_{\text{л}} = F_c \cos \alpha = \frac{\pi \beta}{360} (R_{\text{л}}^2 - r_{\text{л}}^2) \cos \alpha,$$

где  $r_{\text{л}}$  – внутренний радиус лопасти (рис. 32), м;  $F_c$  – площадь лопасти,  $\text{м}^2$ ;  $\beta = 2 \arcsin \frac{a}{2R_{\text{л}}}$  – центральный угол, определяющий длину лопасти, град;  $a$  – хорда, м.

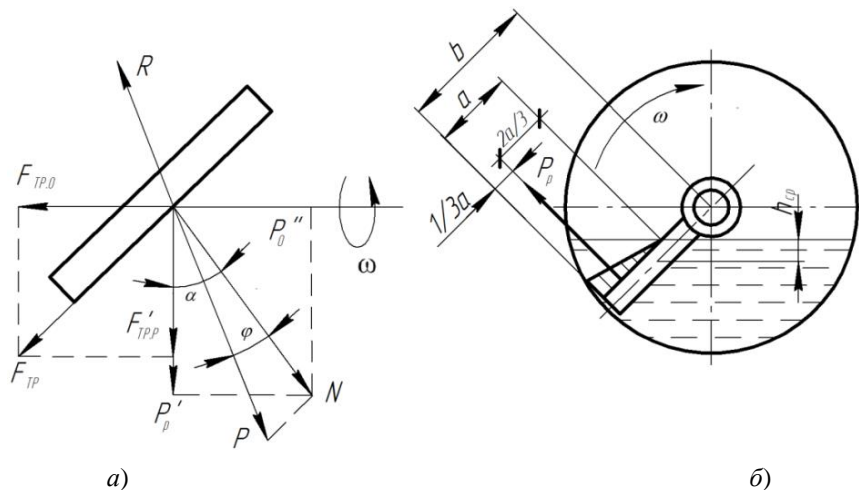


Рис. 31. Расчетная схема лопастного смесителя:

$a$  – схема сил;  $b$  – конструктивные размеры

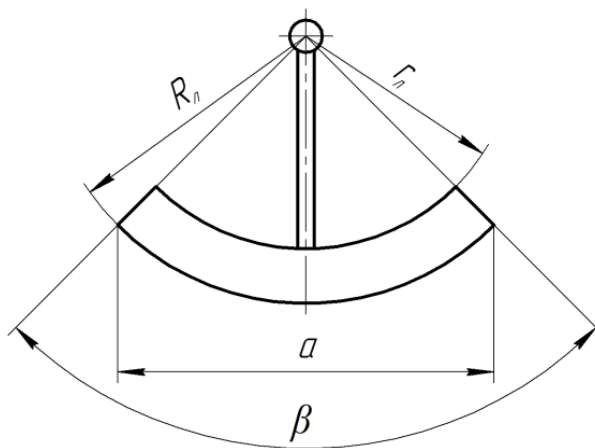


Рис. 32. Схема лопасти

### Содержание отчета

Расчетные схемы лопастного смесителя. Значениями конструктивных размеров смесителя, теоретические значения мощности и подачи лопастного смесителя. Выводы по проделанной работе.

### Контрольные вопросы

1. Как определить мощность и производительность лопастной мешалки?
2. Расскажите об устройстве и работе смесителей С-7, С-12, СКО-Ф-3, ИСК-3, АПС-6.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОЛОПАСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

*Цель работы:* знакомство со смесителями с комбинированными рабочими органами, теоретическое исследование рабочего процесса шнеколопастного смесителя периодического действия.

*Задание.*

1. Ознакомиться с основными конструктивно-технологическими схемами комбинированных мешалок.
2. Определить основные конструктивные параметры шнеколопастного смесителя.
3. Определить теоретические значения производительности шнеколопастного смесителя и мощности необходимой для его привода.

### Методические указания

Перед выполнением лабораторной работы студент, пользуясь [6, 7, 18, 21], должен:

- изучить основные типы комбинированных мешалок, их конструктивные особенности и режимы работы;
- изучить особенности расчета смесителей с комбинированными рабочими органами.

### Устройство и принцип работы лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят: шнеколопастной смеситель, линейка; штангенциркуль, рулетка.

Смеситель кормов содержит снабженный выгрузными патрубками 1 корпус 2 (рис. 33). В нижней части корпуса 2 параллельно размещены два противотранспортирующих перемешивающих рабочих органа, каждый из которых выполнен составным из двух частей 3 и 4, причем части имеют автономные приводы 5 и вращаются в противоположные стороны.

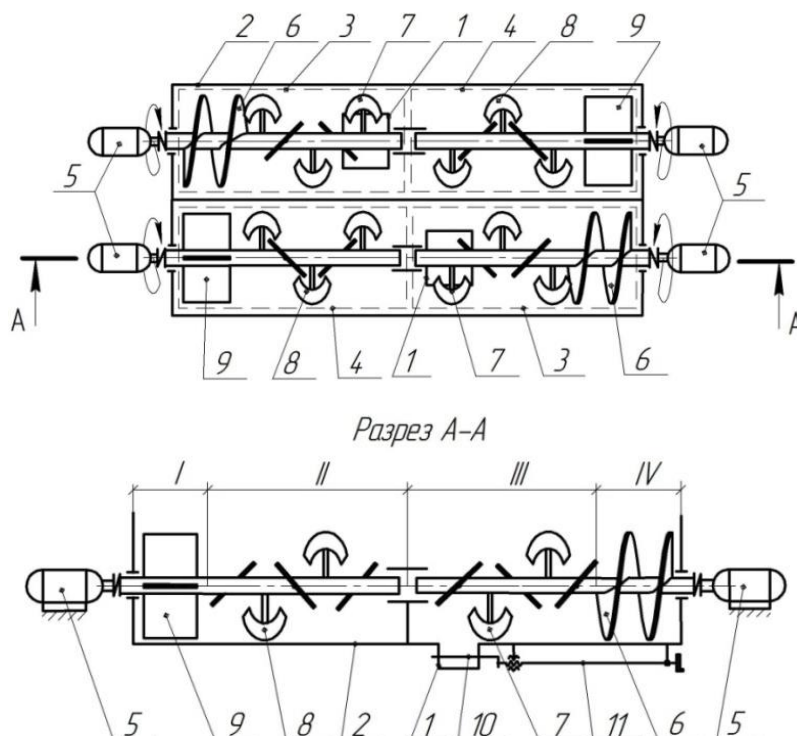


Рис. 33. Схема шнеколопастного смесителя кормов

Часть 3 выполнена в виде винтовой наливки 6 и перемешивающе-транспортирующих лопаток 7. Часть 4 выполнена в виде перемешивающе-транспортирующих лопаток 8 и перебрасывающих лопастей 9. Перемешивающе-транспортирующие лопатки 7 и 8 установлены под противоположными углами друг к другу относительно продольной оси рабочего органа. Выгрузные патрубки 1 снабжены заслонками 10 с механизмами управления 11.

Принцип работы смесителя заключается в следующем. Загружается корм в корпус 2. Включаются приводы 5 частей 3 и 4 рабочих органов. Под действием винтовой наливки 6 и перемешивающе-транспортирующих лопаток 7 корм, перемешиваясь, движется к выгрузному патрубку 1. Вращение части 3 рабочего органа осуществляется в таком направлении, при котором корм смещается к боковой стенке корпуса 2. Так как часть 4 рабочего органа вращается в противоположную сторону относительно части 3, то перемешивающе-транспортирующие лопатки 8 перемешивают и перемещают корм к перебрасывающим лопастям 9, частично перебрасывая его в зону работы второго рабочего органа. Окончательный переброс корма в зону работы второго рабочего органа выполняют перебрасывающие лопасти 9. Аналогично, с тем же эффектом смешивания, но в противоположном направлении перемещает корм второй рабочий орган. По окончании перемешивания открываются заслонки 10 механизмами управления 11 и готовая кормосмесь выгружается через патрубки 1 [3].

### Порядок выполнения работы

Изучить устройство и работу шнеколопастного смесителя.

Измерить геометрические размеры шнеколопастного смесителя и занести их в табл. 16.

По результатам замеров определим объем бункера по формуле (рис. 34)

$$V_{\text{ф.п}} = L_{\text{р.3}} \left( 2 \left( \frac{\pi(r+2\delta)^2}{360} \chi - h_1(r+2\delta) \sin \frac{\chi}{2} \right) + \left( \frac{\pi(r+2\delta)}{360} (180 - \chi) + h_2(r+2\delta) \sin \frac{\chi}{2} \right) \right) + h_3(4r+2\delta+\Delta),$$

где  $\delta$  – радиальный зазор, м;  $\Delta$  – осевой зазор, м;  $\chi$  – центральный угол, ° ( $\chi = 2 \arccos \frac{h_2}{(R_n+\delta)}$ );  $L$  – длина бункера смесителя, м.

### 16. Результаты замеров шнеколопастного смесителя

Количество и ширина перемешивающе-транспортирующих лопаток на первом и втором участках		Количество и ширина лопастей		Шаг шнека, м	Максимальный диаметр	Минимальный диаметр	Зазор	Высота, м	Длина участка, м				Межосевое расстояние, а, м.
$z_{\text{п.1}}$ , шт.	$z_{\text{п.2}}$ , шт.	$z_{\text{л.1}}$ , шт.	$z_{\text{л.2}}$ , шт.	$S$ , м	шнека, $D$ , м	шнека, $d$ , м	радиальный, $\delta$ , м	$h_1$	шнекового, $L_{\text{ш}}$	перем.-тр. лопаток первого, $L_{\text{п.1}}$	перем.-тр. лопаток второго, $L_{\text{п.2}}$	перебрасывающих лопастей, $L_{\text{л}}$	
$b_{\text{п.1}}$ , м	$b_{\text{п.2}}$ , м	$b_{\text{л.1}}$ , м	$b_{\text{л.2}}$ , м		лопаток, $2R_{\text{п.1}} = 2R_{\text{п.2}}$ , м	лопаток, $2r_{\text{п.1}} = 2r_{\text{п.2}}$ , м	осевой, $\Delta$ , м	$h_2$					
					лопастей, $2R_{\text{л}}$ , м	лопастей, $2r_{\text{л}}$ , м		$h_3$					

Производительность смесителя периодического действия за цикл определяется в общем случае по формуле [21]

$$Q = \frac{V_{п.б} \varphi_n}{\tau_{см} + \tau_{всп}},$$

где  $\varphi_n$  – коэффициент заполнения смесительной камеры;  $V_{п.б}$  – полезный объем камеры смешивания,  $\text{м}^3$ ;  $\tau_{см}$  – время смешивания, с;  $\tau_{всп}$  – время вспомогательных операций, с.

Время вспомогательных операций определяется на основе опыта аналогичного оборудования эксплуатации. Оно состоит из времени загрузки, выгрузки, технического обслуживания и т.д. Время смешивания  $\tau_{см}$  зависит от времени цикла, которое равно времени прохождения компонентов смеси по всем участкам I – IV каждого рабочего органа (рис. 33). В таком случае можно записать:

$$\tau_{см} = n_{ц} \tau_{ц},$$

где  $n_{ц}$  – количество циклов (при угле установки перемешивающе-транспортирующих лопаток  $\alpha > 45^\circ$  принять равным 0,5; при  $\alpha < 45^\circ$  принять равным – 1);  $\tau_{ц}$  – время цикла, с.

Теоретическое значение времени цикла:

$$\tau_{ц} = 2 \left( \frac{Q_{пт.2}}{Q_{пт.2} + Q_{пер}} \left( \frac{m}{Q_{ш}} + \frac{m}{Q_{л}} \right) + \frac{m}{Q_{пт.1}} + \tau_{п} + \frac{m}{Q_{пт.2} + Q_{пер}} \right),$$

где  $m$  – масса загруженного корма, кг;  $Q_{ш}$ ,  $Q_{пт.1}$ ,  $Q_{пт.2}$  – соответственно осевая подача шнекового участка, первого и второго участков перемешивающе-транспортирующих лопаток, кг/с;  $Q_{п}$  – величина подпора, кг/с;  $Q_{л}$ ,  $Q_{пер}$  – величина поперечной подачи соответственно на участке перебрасывающих лопастей и втором участке перемешивающе-транспортирующих лопаток, кг/с.

Осевую подачу шнека рекомендуется определять по формуле [5]

$$Q_{ш} = 0,25\pi(D_{ш}^2 - d_{ш}^2)\omega_{ш}r_c \sin\alpha_c (\cos\alpha_c - f \sin\alpha_c)\rho\varphi_{ш}^{III},$$

где  $D_{ш}$  и  $d_{ш}$  – диаметры соответственно шнека и его вала, м;  $\omega_{ш}$  – угловая скорость шнековой навивки,  $\text{с}^{-1}$ ;  $r_c$  – средний радиус шнековой навивки, м,  $r_c = 0,35\sqrt{D_{ш}^2 - d_{ш}^2}$ ;  $\alpha_c$  – средний угол развертки шнековой навивки,  $^\circ$ ,  $\alpha_c = \arctg\left(\frac{S}{2\pi r_c}\right)$ ;  $f$  – коэффициент трения;  $\rho$  – объемная масса корма,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\varphi_{ш}^{III}$  – коэффициент заполнения сечения шнека;  $S$  – шаг шнека, м.

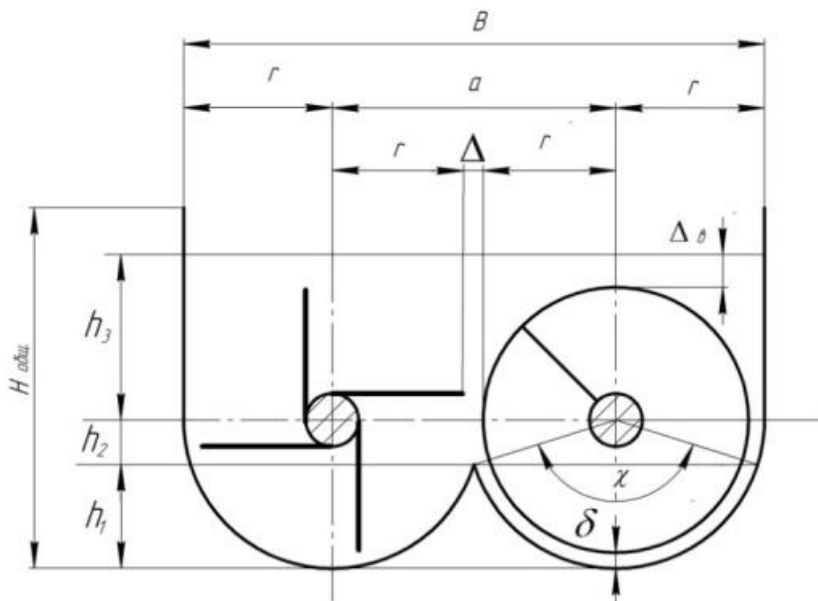


Рис. 34. Определение объема бункера смесителя



Осевая подача участка перемешивающе-транспортирующих лопаток соответственно на первом и втором участках определится выражениями [10]:

$$Q_{пт.1} = \pi(R_{пт.1}^2 - r_{пт.1}^2)\varphi_{н}^{пт.1}b_{пт.1}(\cos\alpha_{пт.1})n_{пт.1}z_{пт.1}^{\pi}\rho k_{л}^{пт.1},$$

$$Q_{пт.2} = \pi(R_{пт.2}^2 - r_{пт.2}^2)\varphi_{н}^{пт.2}b_{пт.2}(\cos\alpha_{пт.2})n_{пт.2}z_{пт.2}^{\pi}\rho k_{л}^{пт.2},$$

где  $R_{пт.1}$ ,  $R_{пт.2}$ ,  $r_{пт.1}$ ,  $r_{пт.2}$  – максимальный и минимальный радиус перемешивающе-транспортирующей лопатки соответственно на первом и втором участках, м;  $\varphi_{н}^{пт.1}$ ,  $\varphi_{н}^{пт.2}$  – коэффициент наполнения смесителя соответственно на первом и втором участках перемешивающе-транспортирующих лопаток;  $\alpha_{пт.1}$ ,  $\alpha_{пт.2}$  – угол установки перемешивающе-транспортирующих лопаток к продольной оси смесителя соответственно на первом и втором участках, град;  $b_{пт.1}$ ,  $b_{пт.2}$  – ширина перемешивающе-транспортирующих лопаток соответственно на первом и втором участках, м;  $n_{пт.1}$ ,  $n_{пт.2}$  – частота вращения вала смесителя соответственно на первом и втором участках,  $c^{-1}$ ;  $z_{пт.1}^{\pi}$ ,  $z_{пт.2}^{\pi}$  – число перемешивающе-транспортирующих лопаток, расположенных в одном поперечном сечении соответственно на первом и втором участках, шт.;  $k_{л}^{пт.1}$ ,  $k_{л}^{пт.2}$  – коэффициент, учитывающий обтекание лопасти смешиваемой массой соответственно на первом и втором участках перемешивающе-транспортирующих лопаток.

Поперечная подача на втором участке перемешивающе-транспортирующих определится выражением

$$Q_{пер} = \pi(R_{пт.2}^2 - r_{пт.2}^2)\varphi_{н}^{пт.2}b_{пт.2}(\sin\alpha_{пт.2})n_{пт.2}z_{пт.2}^{\pi}\rho k_{л}^{пт.2}.$$

Поперечная подача перебрасывающих лопастей:

$$Q_{л} = 0,25b_{л}\pi\varphi_{н}^{\pi}n_{л}z_{л}^{\pi}(D_{л}^2 - d_{л}^2)\rho k_{л}^{\pi},$$

где  $b_{л}$  – ширина лопасти, м;  $\varphi_{н}^{\pi}$  – коэффициент наполнения на участке перебрасывающих лопастей;  $n_{л}$  – частота вращения вала смесителя на лопастном участке,  $c^{-1}$ ;  $z_{л}^{\pi}$  – число перебрасывающих лопастей, шт.;  $D_{л}$ ,  $d_{л}$  – максимальный и минимальный диаметр лопастей соответственно, м.

Определить теоретическое значение мощности смесителя на привод рабочих органов без учета КПД кинематических элементов при разных значениях частоты вращения рабочих органов по выражению

$$N_{общ} = 2(9,81kLQ_{ш.мин} + P_{пт.1}v_{пт.1}\rho(1 + f \sin \alpha_{пт.1} \cos \alpha_{пт.1})z_{пт.1}^{\circ} +$$

$$+ P_{пт.2}v_{пт.2}\rho(1 + f \sin \alpha_{пт.2} \cos \alpha_{пт.2})z_{пт.2}^{\circ} + P_{л}v_{л}\rho z_{л}^{\circ}),$$

где  $P_{пт.1}$ ,  $P_{пт.2}$ ,  $P_{л}$  – суммарное окружное усилие соответственно на первом и втором участках перемешивающе-транспортирующих лопаток и участке перебрасывающих лопастей;  $k$  – приведенный коэффициент сопротивления движению корма по кожуху шнека,  $k = 125\rho/1350$ , [8];  $v_{пт.1}$ ,  $v_{пт.2}$ ,  $v_{л}$  – окружная скорость соответственно перемешивающе-транспортирующих лопаток на первом и втором участках и лопастей по среднему радиусу, м/с;  $z_{пт.1}^{\circ}$ ,  $z_{пт.2}^{\circ}$ ,  $z_{л}^{\circ}$  – число одновременно погруженных соответственно перемешивающе-транспортирующих лопаток на первом и втором участках и участке перебрасывающих лопастей, шт. Результаты расчета занести в табл. 17.

### 17. Расчетные значения мощности

$n$ , $\text{мин}^{-1}$	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$N_{общ}$ , Вт									

Суммарное окружное усилие соответственно на первом и втором участках перемешивающе-транспортирующих лопаток и участке перебрасывающих лопастей определится по формулам:

$$P_{пт.1} = k_c \rho \frac{v_{пт.1}^2}{2} F_{пт.1} \cos \alpha_{пт.1},$$

$$P_{пт.2} = k_c \rho \frac{v_{пт.2}^2}{2} F_{пт.2} \cos \alpha_{пт.2},$$

$$P_{л} = k_c \rho \frac{v_{л}^2}{2} F_{л},$$

где  $k_c$  – коэффициент лобового сопротивления;  $F_{пт.1}$ ,  $F_{пт.2}$ ,  $F_{л}$  – соответственно площади перемешивающе-транспортирующих лопаток на первом и втором участках и перебрасывающих лопастей, м<sup>2</sup> ( $F_{пт.1} = 0,0452$  м<sup>2</sup>,  $F_{пт.2} = 0,0452$  м<sup>2</sup>,  $F_{л} = 0,045$  м<sup>2</sup>).

Число одновременно погруженных перемешивающе-транспортирующих лопаток на первом и втором участках и участке перебрасывающих лопастей соответственно определяется по формулам:

$$z_{пт.1}^o = \left( 2z_{пт.1} \arccos \left( \frac{R_{пт.1} - h_c^{пт.1}}{R_{пт.1}} \right) \right) / 360,$$

$$z_{пт.2}^o = \left( 2z_{пт.2} \arccos \left( \frac{R_{пт.2} - h_c^{пт.2}}{R_{пт.2}} \right) \right) / 360,$$

$$z_{л}^o = \left( 2z_{л} \arccos \left( \frac{R_{л} - h_c^{л}}{R_{л}} \right) \right) / 360,$$

где  $h_c^{пт.1}$ ,  $h_c^{пт.2}$ ,  $h_c^{л}$  – высота смеси соответственно на первом и втором участках перемешивающе-транспортирующих лопаток и участке перебрасывающих лопастей, которая соответственно определится из выражений:

$$h_c^{пт.1} = -6,664(\varphi_H^{пт.1})^4 + 7,649(\varphi_H^{пт.1})^3 - 3,192(\varphi_H^{пт.1})^2 + 1,045\varphi_H^{пт.1} + 0,007,$$

$$h_c^{пт.2} = -6,664(\varphi_H^{пт.2})^4 + 7,649(\varphi_H^{пт.2})^3 - 3,192(\varphi_H^{пт.2})^2 + 1,045\varphi_H^{пт.2} + 0,007,$$

$$h_c^{л} = -6,664(\varphi_H^{л})^4 + 7,649(\varphi_H^{л})^3 - 3,192(\varphi_H^{л})^2 + 1,045\varphi_H^{л} + 0,007.$$

По результатам расчета построить зависимость  $N_{общ} = f(n)$ .

### Содержание отчета

Таблицы экспериментальных и расчетных данных. Теоретическая зависимость изменения мощности на привод рабочих органов от частоты их вращения  $N_{общ} = f(n)$ . Теоретическое значение производительности смесителя при заданном угле установке перемешивающе-транспортирующих лопаток и частоте вращения рабочих органов. Выводы по проделанной работе.

### Контрольные вопросы

1. Как определить мощность и производительность лопастной мешалки?
2. Какие параметры смесителя влияют на производительность и мощность привода смесителя?

Почему?

3. Рассказать устройство и основные регулировки шнеколопастного смесителя.

## **ИЗУЧЕНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ИСК-3 И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ-СМЕСИТЕЛЯ**

*Цель работы:* изучение рабочего процесса измельчителя-смесителя ИСК-3 и определение основных параметров дискового измельчителя-смесителя корнеплодов.

*Задание.*

1. Изучить устройство и работу измельчителя-смесителя ИСК-3.
2. Определить основные конструктивные и энергетические параметры дискового измельчителя корнеклубнеплодов.

### **Методические указания**

Перед выполнением лабораторной работы студент, пользуясь [5, 7, 10], должен:

- ознакомиться с зоотехническими требованиями, предъявляемыми к машинам для измельчения и смешивания кормов;
- изучить основные типы измельчителей-смесителей, их конструктивные особенности и режимы работы.

### **Устройство и принцип работы лабораторной установки**

В состав лабораторной установки входят: измельчитель-смеситель ИСК-3, линейка, плакаты, дисковый измельчитель кормов.

Измельчитель-смеситель ИСК-3 служит для смешивания грубых кормов любой влажности и доизмельчения других компонентов и их смешивания для приготовления полноценных смесей в кормоцехах и кормоприготовительных отделениях.

Машина состоит из рамы 1 (рис. 35), ножевого ротора 7, приемной I, рабочей II и выгрузной III камер, расположенных одна над другой, пакетов противорезов, зубчатых дек 3, электродвигателя 9 и клиноременной передачи 13, снабженной натяжным устройством 14. Для введения в обрабатываемую массу жидких добавок предусмотрено две форсунки 4 и 6 на приемной и на выгрузной камерах. Приемная и рабочая камеры соединены откидными креплениями. В стенках рабочей камеры имеется шесть окон, в которых устанавливаются пакеты ножей-противорезов 8 и зубчатые деки 3. Окна закрывают с наружной стороны кожухами 5.

На рабочем органе-роторе размещены ярусами ножи-измельчители, выполняющие также роль смесителей и молотки. В нижней части ротора, расположенной в выгрузной камере, находится двухлопастная швырялка 2. Ножи и молотки размещены в пазах между фланцами, установленными на шлицах головки ротора при помощи специальных болтов и пальцев. Пакет ножей-противорезов собран на валу 11, установленном шарнирно на основании 10, прикрепленном болтами к корпусу рабочей камеры. Основание и кронштейн-вал соединены пружиной, под воздействием которой ножи-противорезы входят в рабочую камеру через прорезы в пластине и удерживаются ею в рабочем положении. При попадании в камеру посторонних включений шарнирно-пружинное крепление противорезов позволяет им отклоняться без поломки и пропускать твердые предметы.

Измельчитель работает следующим образом. Исходное сырье по загрузочному транспортеру равномерно поступает в головку, с перегородкой внутри (условно не показано), где посторонние предметы отделяются от корма. Скорость транспортера подобрана так, что куски снега, льда, дерева перебрасываются через загрузочную горловину измельчителя-смесителя ИСК-3. Затем корм подается в рабочую камеру измельчающего устройства. Здесь корм измельчается ножами верхнего яруса ротора 7 и противорезами 8, смешивается и по спирали опускается вниз, попадая под действие ножей и противорезов нижних ярусов. Компоненты корма под действием рабочих органов ротора и зубчатых дек интенсивно перемешиваются, доизмельчаются и превращаются в однородную кормовую смесь. Готовая кормовая смесь швырялкой 2 направляется к выгрузному транспортеру непосредственно для скармливания скоту или в технологическую линию для дальнейшей обработки.

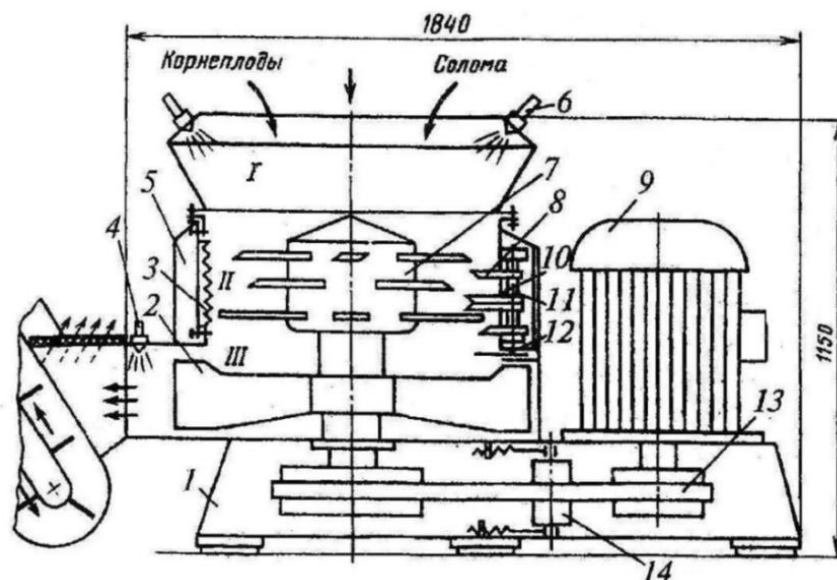


Рис. 35. Измельчитель-смеситель кормов ИСК-3

Для работы в режиме измельчения в машине устанавливают шесть пакетов противорезов. На роторе размещают четыре укороченных ножа: в первом ряду, два или четыре длинных – во втором и по два или четыре зубчатых ножа – в третьем и четвертом рядах.

В режиме смешивания измельчитель-смеситель комплектуют шестью деками. На роторе устанавливают четыре укороченных ножа в первом ряду, два длинных – в третьем и два зубчатых ножа – в четвертом ряду.

В режиме смешивания и доизмельчения кормосмесей в рабочей камере машины размещают три противореза и три деки, четыре укороченных ножа в первом ряду, два длинных – в третьем и два зубчатых ножа – в четвертом ряду.

При смешивании кормов через форсунки 4, 6 можно одновременно вносить мелассу, водный раствор карбамида и различные микродобавки.

Степень измельчения регулируют, изменяя число ножей на роторе, число противорезов и время нахождения продукта в рабочей камере (при помощи кольцевого шибера 12, установленного над швырлякой).

Для предотвращения несчастных случаев измельчающее устройство снабжено механизмом автоматического включения, основанного на воздействии регулировочного болта на кнопку путевого выключателя при плотно надетой на корпус измельчителя-смесителя приемной камеры I.

Машина обеспечивает смешивание силоса, соломы, корнеплодов и комбикорма со степенью равномерности 80...90%; установленная мощность двигателя 39,2 кВт; частота вращения ротора  $17 \text{ с}^{-1}$ ; производительность, при смешивании – до 25 т/ч, на смешивании с доизмельчением до 15 т/ч, на измельчении – до 8 т/ч.

### Порядок выполнения работы

Пользуясь методикой [5, 7], изучить устройство и работу измельчителя-смесителя ИСК-3, основные его регулировки.

Заполнить табл. 18.

Определить производительность корнерезки:

$$Q_i = 60V_i\gamma n,$$

где  $\gamma$  – объемная масса резки,  $\text{кг/м}^3$ ,  $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$ ;  $n$  – частота вращения режущего аппарата,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $V_i = F_i h_i z_i k_1 k_2$  – объем продукта, отрезаемого ножами за один оборот,  $\text{м}^3$ ;  $h_i$  – толщина резки, м;  $z_i$  – количество ножей на  $i$ -й ступени резания, шт.;  $k_1$  – коэффициент использования длины лезвия,  $k_1 = (0,75...0,85)$ ;  $k_2$  – конструктивный коэффициент использования ножей,  $k_2 = (0,80...0,90)$ ;  $F_i$  – площадь, очерчиваемая ножом за один оборот вала для  $i$ -й ступени,  $\text{м}^2$ .

## 18. Результаты замеров корнерезки

Значения параметров					
$z_1$ , шт.	$z_2$ , шт.	$R$ , м	$R_1$ , м	$R_2$ , м	$l$ , м

Для первой и второй ступеней измельчения:

$$F_1 = \pi(R_2^2 - R_1^2), \quad F_2 = 2\pi Rl,$$

где  $R_2, R_1$  – радиусы до начальной и конечной кромок ножа (рис. 36), м;  $R$  – радиус ножевой камеры, м;  $l$  – длина вертикального ножа, м.

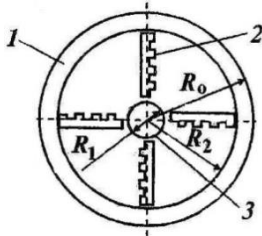


Рис. 36. Схема диска:  
1 – диск; 2 – нож; 3 – вал

Определить мощность  $N$  на привод измельчителя:

$$N = N_{1i} + N_2,$$

где  $N_{1i}$  – мощность, расходуемая на резание, деформацию и отбрасывание резки на  $i$ -й ступени, кВт;  $N_2$  – мощность, расходуемая на преодоление силы трения корнеплодов о диск и на потери в передаточном механизме, кВт.

Мощность  $N_{1i}$  определим по выражению:

$$N_{1i} = \frac{M\omega}{102} = \frac{P_i R_i \pi n}{102 \cdot 30'}$$

где  $R_i$  – расстояние от центра вала до точки приложения усилия  $P_i$ , см (для первой ступени резания  $R_i = \frac{R_1 + R_2}{2}$ ; для второй ступени  $R_i = R$ );  $P_i$  – общее усилие, затрачиваемое на преодоление сопротивлений резанию, кг,

$$P_i = (p_0 + p_d + p_{vi}) L_i z_i K,$$

где  $p_0$  – удельное сопротивление резанию, кг/см;  $p_d$  – удельное сопротивление деформации ломтика в процессе резания, кг/см;  $p_{vi}$  – удельное усилие на отбрасывание резки на  $i$ -й ступени резаний, кг/см;  $L_i$  – длина лезвия, участвующая в резании, см;  $z_i$  – количество ножей, шт.

Согласно опытным данным  $(p_0 + p_d) = 1,0$  кг/см, а удельное усилие  $p_{vi}$  на отбрасывание резки зависит от окружной скорости (при  $v = 0,81$  м/с –  $p_{vi} = 0,05$  кг/см, при  $v = 1,51$  м/с –  $p_{vi} = 0,17$  кг/см, при  $v = 1,93$  м/с –  $p_{vi} = 0,39$  кг/см, при  $v = 2,54$  м/с –  $p_{vi} = 0,48$  кг/см, при  $v = 3,00$  м/с –  $p_{vi} = 0,63$  кг/см).

Мощность  $N_2$ , кВт расходуется на преодоление силы трения корнеплодов о диск и на потери в передаточном механизме:

$$N_2 = \frac{2GfR\omega}{100\eta_m}$$

где  $f$  – коэффициент трения корнеплодов о поверхность диска ( $f = 0,8$ );  $G$  – сила, с которой корнеплоды, находящиеся в бункере машины, оказывают усилие на диск, кг,  $G = V'_6 \gamma$ ;  $V'_6$  – объем бункера над диском, м<sup>3</sup>;  $\eta_m$  – потери в передаточном механизме,  $\eta_m = (0,7 \dots 0,95)$ .

### Содержание отчета

*Цель работы и задание.* Схема измельчителя-смесителя ИСК-3 и краткое описание его работы. Таблица экспериментальных данных и результаты расчета дискового измельчителя корнеплодов. Выводы по проделанной работе.

### Контрольные вопросы

1. Назначение, общее устройство и работа измельчителя-смесителя ИСК-3.
2. Как настраивается измельчитель-смеситель ИСК-3 на различные технологические режимы работы?
3. Расскажите назначение, устройство и работу агрегата АПК-10.
4. Как определить производительность дискового измельчителя корнеплодов. От чего она зависит?
5. Как определить мощность на привод дискового измельчителя корнеплодов. От чего она зависит?

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРИОДИЧЕСКОГО СМЕШИВАНИЯ

*Цель работы:* изучение процесса смешивания и определения факторов, влияющих на качество смешивания.

*Задание.*

1. Изучить зоотехнические требования, предъявляемые к качеству смеси.
2. Определить влияние времени смешивания на качество смеси.
3. Построить экспериментальную зависимость мощности, потребляемой смесителем, от частоты вращения рабочих органов при заданном угле установки перемешивающе-транспортирующих лопаток.

### Методические указания

Перед выполнением лабораторной работы студент, пользуясь [6, 7, 10], должен:

- ознакомиться с зоотехническими требованиями, предъявляемыми к машинам для смешивания кормов и качеству смеси;
- изучить основные факторы, влияющие на работу смесителей.

### Устройство и принцип работы лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят: шнеколопастной смеситель, частотные преобразователи, комплект амперметров и вольтметров, пульта управления, весы, тахометр, пробоотборник, ситовой классификатор, секундомер, приспособление для установки угла перемешивающе-транспортирующих лопаток.

Сельскохозяйственных животных, в том числе и птиц, откармливают кормовыми смесями. Смешивание позволяет использовать отдельные корма более эффективно, получая полнорационные, корма, которые, в конечном итоге, увеличивает эффективность кормления.

По степени распределения контрольного компонента в массе судят о качестве смеси. Количественной характеристикой завершенности процесса смешивания является степень однородности:

$$\theta = \frac{\sigma_T}{S},$$

где  $\sigma_T$  – теоретическое среднеквадратичное отклонение;  $S$  – эмпирическое среднеквадратичное отклонение.

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_i - p)^2}{(m - 1)}},$$

где  $x_i$  – содержание контрольного компонента в  $i$ -й пробе;  $p$  – заданное расчетом содержание контрольного компонента.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2}{(m - 1)}},$$

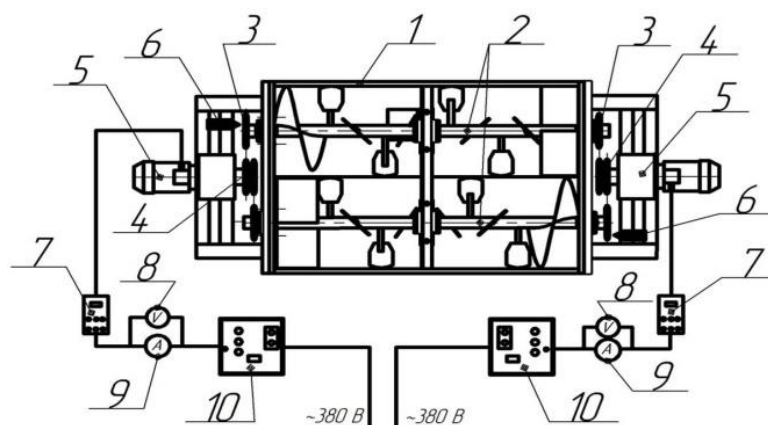
где  $\bar{x}$  – среднеарифметическое значение контрольного компонента во всех пробах;  $m$  – общее число проб.

Степень однородности изменяется от 0 до 1 и чем значение больше к единице, тем качественнее смесь.

В качестве критерия оценки процесса смешивания используют также коэффициент неоднородности (вариации):

$$v = \frac{S \cdot 100}{\bar{x}}.$$

Значение  $v = 20\%$  для большинства смесителей кормов оказывается достаточным.



**Рис. 37. Схема экспериментальной установки:**

1 – бункер смесителя; 2 – рабочие органы; 3 – ведомая шестерня; 4 – ведущая шестерня; 5 – мотор-редуктор; 6 – тахометр; 7 – частотный преобразователь; 8 – вольтметр; 9 – амперметр; 10 – пульт управления

Основным факторами, влияющими на показатели смесителя, являются: частота вращения рабочих органов, угол установки перемешивающе-транспортирующих лопаток и время смешивания. Для выявления степени значимости этих параметров на лабораторной установке предусмотрена возможность изменения угла установки перемешивающе-транспортирующих лопаток от 30 до 70°, бесступенчатой регулировки частоты вращения рабочих органов от 0 до 65 мин<sup>-1</sup>. Контроль частоты вращения проводится при помощи тахометра.

В качестве наполнителя используется смесь ячменной и пшеничной дерти, а контрольным компонентом являются подкрашенные семена донника. Масса контрольного компонента берется равной 1% от массы наполнителя [19].

### Порядок выполнения работы

Изучить устройство лабораторной установки и собрать ее согласно схеме (рис. 37).

Отвесить необходимые порции основного и контрольного компонентов при помощи весов.

Установить угол перемешивающе-транспортирующих лопаток (30...70°) при помощи приспособления, подключить установку к сети с разрешения преподавателя, подать питание на частотные преобразователи, выставить необходимую частоту тока на частотных преобразователях, соответствующую необходимой частоте вращения рабочих органов, включить привод. Расчет частоты тока производится по эмпирическим формулам:

– для частотного преобразователя «Тошиба»:

$$n_t = 1,577n - 0,431;$$

– для частотного преобразователя «Веспер»:

$$n_b = 0,755n - 0,168,$$

где  $n$  – частота вращения рабочих органов, мин<sup>-1</sup>;  $n_t$  и  $n_b$  – частота тока, соответственно выдаваемая частотным преобразователем «Тошиба» и «Веспер», Гц.

С разрешения преподавателя высыпать основной компонент и навеску контрольного компонента в бункер смесителя. Время смешивания фиксировать по секундомеру, смешивать 6 минут, пробы забирать через каждую минуту из восьми точек при помощи пробоотборника при остановленном приводе. Объем пробы, соответствующий примерно 5 граммам, выставить на пробоотборнике.

В пробах подсчитать количество контрольного компонента и взвесить их. Данные занести в табл. 19.

По формуле определить приведенное число контрольного компонента в пробе:

$$k' = \frac{5k}{m_k},$$

где  $k$  – число частиц контрольного компонента в пробе, шт.;  $m_k$  – масса пробы, г.

## 19. Результаты измерений для определения неоднородности смеси

Время смешивания, мин	Номер пробы															
	1		2		3		4		5		6		7		8	
	<i>k</i> , шт.	<i>m<sub>k</sub></i> , г	<i>k</i> , шт.	<i>m<sub>k</sub></i> , г	<i>k</i> , шт.	<i>m<sub>k</sub></i> , г	<i>k</i> , шт.	<i>m<sub>k</sub></i> , г	<i>k</i> , шт.	<i>m<sub>k</sub></i> , г	<i>k</i> , шт.	<i>m<sub>k</sub></i> , г	<i>k</i> , шт.	<i>m<sub>k</sub></i> , г	<i>k</i> , шт.	<i>m<sub>k</sub></i> , г
1																
2																
3																
4																
5																
6																

## 20. Результаты расчетов для определения неравномерности смеси

Время смешивания, мин	Номер пробы								$\bar{k}'$ , шт.	<i>k<sub>т</sub></i> , шт.	v, %
	1	2	3	4	5	6	7	8			
	<i>k'</i> , шт.	<i>k'</i> , шт.	<i>k'</i> , шт.	<i>k'</i> , шт.	<i>k'</i> , шт.	<i>k'</i> , шт.	<i>k'</i> , шт.	<i>k'</i> , шт.			
1											
2											
3											
4											
5											
6											

По формуле определить требуемое число контрольного компонента в идеальной пробе:

$$k^T = \frac{1000m^T}{m_{1000}},$$

где  $m_T = 5$  – требуемая масса пробы, г;  $m_{1000}$  – масса тысячи семян контрольного компонента, г (для семян донника  $m_{1000} = 1,87$  г).

Результаты расчета занести в табл. 20.

Определить среднеарифметическое значение числа частиц контрольного компонента по формуле

$$\bar{k}' = \frac{k'_1 + \dots + k'_8}{8}.$$

Определить неоднородность смеси:

$$v = \frac{100}{\bar{k}'} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (k'_i - \bar{k}')^2}{8}}.$$

Построить зависимость; изменения неравномерности смешивания  $v$  от времени работы мешалки  $v = f(t)$ .

При заданном угле перемешивающе-транспортирующих лопаток построить зависимость мощности на привод рабочих органов смесителя от частоты вращения рабочих органов. Для этого определить значения частоты тока для частотных преобразователей по формулам для необходимых значений частоты вращения рабочих органов. Установить требуемую частоту на соответствующих частотных преобразователях и включить привод, снять показания напряжения и тока по фазам. Значения занести в табл. 21.



## 21. Экспериментальное значение мощности на привод одного рабочего органа

Частота вращения рабочих органов, мин <sup>-1</sup>	Расчетная частота тока для «Тошиба», Гц	Расчетная частота тока для «Веспера», Гц	U1, В	U2, В	U3, В	I1, В	I2, В	I3, В	N <sub>х.х</sub>	N <sub>общ</sub>
20										
25										
30										
35										
40										
45										
50										
55										
60										

По полученным данным рассчитать мощность, требуемую на привод смесителя, по формуле

$$N_{\text{общ}} = (U_1 I_1 + U_2 I_2 + U_3 I_3) \cos \varphi - N_{\text{х.х}},$$

где  $N_{\text{х.х}}$  – мощность холостого хода, Вт.;  $\cos \varphi$  – характеристика двигателя, принять равным  $\cos \varphi = 0,87$ .

Результаты расчетов занести в табл. 21 и построить экспериментальную зависимость мощности на привод смесителя от частоты вращения рабочих органов при заданном угле перемешивающе-транспортирующих лопаток.

### Содержание отчета

Схема лабораторной установки. Таблицы экспериментальных и расчетных данных. Зависимость изменения качества смеси от времени смешивания  $v = f(t)$ . Экспериментальная зависимость мощности на привод смесителя от частоты вращения рабочих органов. Выводы по проделанной работе.

### Контрольные вопросы

1. Какими показателями оценивают качество смеси? Как их определить?
2. Какие параметры смесителя влияют на качество смешивания? Почему?
3. Как определить мощность и производительность шнеколопастного смесителя?

## **ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО СМЕШИВАНИЯ**

*Цель работы:* изучение процесса смешивания и определения факторов, влияющих на качество смешивания в процессе непрерывного смешивания.

*Задание.*

1. Изучить зоотехнические требования, предъявляемые к качеству смеси.
2. Изучить устройство и принцип работы смесителей непрерывного действия.

### **Методические указания**

Перед выполнением лабораторной работы студент, пользуясь [11, 12, 18, 19, 23], должен:

- ознакомиться с зоотехническими требованиями, предъявляемыми к машинам для смешивания кормов и качеству смеси;
- изучить основные факторы, влияющие на работу смесителей.

### **Устройство и принцип работы лабораторной установки**

Основными факторами, влияющими на показатели смесителя, являются: частота вращения рабочих органов, угол установки перемешивающе-транспортирующих лопаток и время смешивания. Для выявления степени значимости этих параметров на лабораторной установке предусмотрена возможность изменения угла установки перемешивающе-транспортирующих лопаток от 30 до 70°, бесступенчатой регулировки частоты вращения рабочих органов от 0 до 65 мин<sup>-1</sup>. Контроль частоты вращения проводится при помощи тахометра.

Смеситель кормов содержит снабженный выгрузным патрубком 1 корпус 2. В нижней части корпуса 2 параллельно размещены два рабочих органа – перемешивающе-дозировочный и перемешивающе-выгрузной.

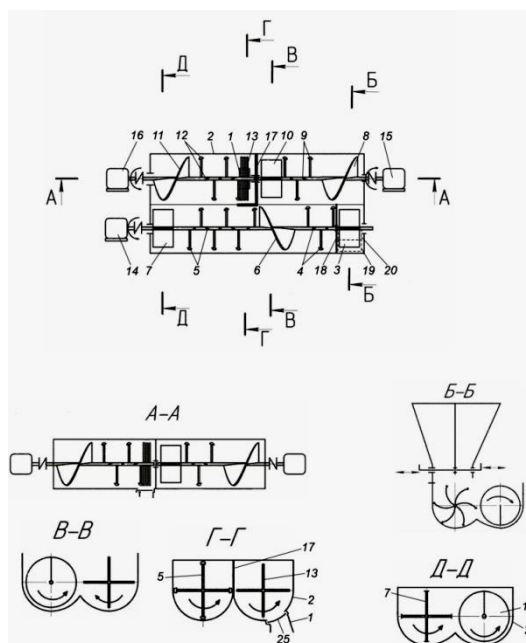
Перемешивающе-дозировочный рабочий орган состоит из участков дозирующих лопастей 3, перемешивающе-транспортирующих лопаток 4 и 5, винтовой навивки 6, перебрасывающих лопастей 7.

Перемешивающе-выгрузной рабочий орган выполнен из двух соосных частей, вращающихся в противоположные стороны. Первая часть рабочего органа состоит из участков винтовой навивки 8, перемешивающе-транспортирующих лопаток 9, перебрасывающих лопастей 10. Вторая часть состоит из участков винтовой навивки 11, перемешивающе-транспортирующих лопаток 12 и битера в виде гребенки 13. Конец битера размещен над выгрузным патрубком 1. Гребенка 13 битерного участка перемешивающе-выгрузного рабочего органа отделена от перебрасывающих лопастей 10 и перемешивающе-транспортирующих лопаток 5 перемешивающе-дозировочного рабочего органа Г-образной перегородкой 17. Дозирующие лопасти 3 выполнены изогнутыми навстречу движения и отделены от перемешивающе-транспортирующих лопаток 4 перемешивающе-дозировочного рабочего органа перегородкой 18. Перемешивающе-дозировочный рабочий орган и части перемешивающе-выгрузного рабочего органа имеют автономные приводы 14, 15 и 16 соответственно.

Смеситель кормов работает следующим образом. Смешиваемые компоненты из бункеров 19 и 20 через загрузочные патрубки 21 и 22 по внешней части изогнутых дозирующих лопастей 3 попадают в ячейки, образованные дозирующими лопастями 3, перегородкой 18 и корпусом 2 смесителя, и затем дозирующими лопастями 3 выталкиваются на винтовую навивку 8 перемешивающе-выгрузного рабочего органа. Изгиб лопастей навстречу вращения позволяет лучше очищаться ячейкам от кормовой смеси и исключает захватывание и циркулирование корма.

Для исключения пересыпания кормовой смеси на винтовую навивку 8 загрузочные патрубки 21 и 22 смещены от центра вращения дозирующих лопастей 3 к боковой стенке корпуса 2 смесителя. Соотношение компонентов кормовой смеси устанавливается положением дозирующих заслонок 23 и 24.

Далее кормовая смесь захватывается шнековой навивкой 8 и подается к перемешивающе-транспортирующим лопаткам 9. Вращение лопаток 9 осуществляется в таком направлении, при котором корм частично перебрасывается на лопатки 4, а частично транспортируется вдоль рабочего органа к перебрасывающим лопастям 10.



**Рис. 38. Схема экспериментальной установки**

Перемешивающе-дозировочный рабочий орган вращается в таком направлении, при котором перемешивающе-транспортирующие лопатки 4 частично перебрасывают кормовую смесь на лопатки 9, а частично перемещают его к винтовой навивке 6.

Окончательное перебрасывание кормовой смеси с первой части перемешивающе-выгрузного рабочего органа осуществляется перебрасывающими лопастями 10 на винтовую навивку 6, перемещающую кормовую смесь к перемешивающе-транспортирующим лопаткам 5, которые частично перебрасывают корм на перемешивающе-транспортирующие лопатки 12 второй части перемешивающе-выгрузного рабочего органа, а частично-транспортируют вдоль перемешивающе-дозировочного рабочего органа к перебрасывающим лопастям 7, где происходит окончательное перебрасывание корма на винтовую навивку 11. Вторая часть перемешивающе-выгрузного рабочего органа вращается в направлении, обеспечивающем смещение кормовой смеси к боковой стенке корпуса 2. Перемешивающе-транспортирующие лопатки 12 установлены так, что кормовая смесь сдвигается к боковой стенке корпуса 2 смесителя и перемещается вдоль оси рабочего органа к битерам 13, расположенными над выгрузным патрубком 1, закрываемым заслонкой 25.

Таким образом, в смесителе происходит комбинированный процесс смешивания путем частичного возврата кормов на повторное перемешивание и многократное разделение их потока на мелкие порции: витками шнека, перемешивающе-транспортирующими лопатками, перебрасывающими лопастями и битерами в виде гребенок.

В качестве наполнителя используется смесь ячменной и пшеничной дерти, а контрольным компонентом являются подкрашенные семена донника. Масса контрольного компонента берется равной 1% от массы наполнителя [7].

### Содержание отчета

Схемы смесителей непрерывного действия. Описание устройства, принципа работы и основных характеристик изучаемых смесителей кормов.

### Контрольные вопросы

1. Какими показателями оценивают качество смеси? Как их определить?
2. Какие параметры смесителя влияют на качество смешивания? Почему?
3. Как определить мощность и производительность шнеколопастного смесителя?

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ТИХОХОДНОГО СМЕСИТЕЛЯ

*Цель работы:* изучение процесса смешивания и определения факторов, влияющих на качество смешивания в процессе непрерывного смешивания.

*Задание.*

1. Изучить зоотехнические требования, предъявляемые к качеству смеси.
2. Определить влияние частоты вращения рабочих органов смесителя на качество смеси.

### Методические указания

Перед выполнением лабораторной работы студент, пользуясь [11, 12, 18, 19, 23 – 26], должен:

- ознакомиться с зоотехническими требованиями, предъявляемыми к машинам для смешивания кормов и качеству смеси;
- изучить основные факторы, влияющие на работу смесителей.

### Устройство и принцип работы тихоходного смесителя

Смеситель с активным каналом обратного хода [24 – 26]. Схема этого смесителя приведена на рис. 39.

Смеситель включает корпус 1, загрузочный бункер 19, бункер добавок 8 и выгрузной патрубком 11, перекрываемый заслонкой 12, шнек 4, загрузочная 15 и выгрузная 10 части которого соединены каналом 5 обратного хода, расположенного внутри шнека 4 (рис. 39, а, б, в). Внутри канала 5 обратного хода установлен дополнительный шнек 6 с валом 18, имеющий диффузионные участки 2 с плоскими лопатками 3 вдоль вала 18.

Напротив лопаток 3 в канале 5 обратного хода имеются диффузионные окна 13 в виде щелей шириной, превышающей размер характерных частиц корма. Напротив диффузионных окон 13 на валу шнека 4 установлены плоские лопатки 20.

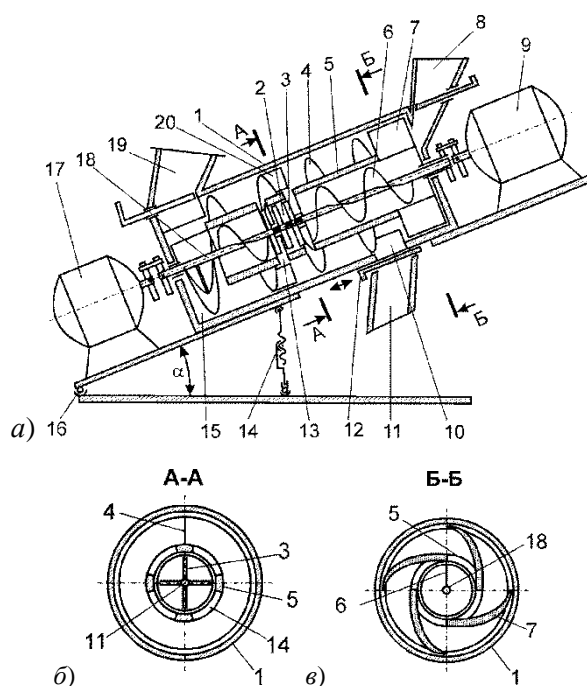
В конце шнека 4 закреплены тангенциальные лопасти 7 с наклоном навстречу движения корма. Механизм изменения угла  $\alpha$  наклона корпуса 1 к горизонту включает установленный на оси 16 корпус 1 и винтовым механизмом 14.

Для выгрузки корма имеется патрубок 11, перекрываемый заслонкой 12. Шнек 4 и дополнительный шнек 6 имеют приводы 9 и 17 соответственно.

Технологический процесс работы смесителя осуществляется таким образом. Смешиваемые компоненты из многосекционного загрузочного бункера 19 поступают в загрузочную часть 15 корпуса 1. Одновременно добавки из бункера 8 подаются в канал 5 и затем дополнительным шнеком 6 в загрузочную часть 15 корпуса 1. Шнек 4 перемещает смешиваемые компоненты из загрузочной части 15 по наклонному корпусу 1 вверх к диффузионному участку, на котором часть корма захватывается плоскими лопатками 20 и через диффузионные окна 13 частично пересыпается в канал 5 обратного хода на дополнительный шнек 6, а часть корма по наклонному корпусу шнеком 4 перемещается вверх к выгрузной части 10. При этом под действием шнековой навивки происходит перемешивание компонентов смеси.

В выгрузной части 10 шнека 4 кормовая смесь поднимается тангенциальными лопастями 7 и пересыпается в канал 5 обратного хода. Для исключения сегрегации при самопроизвольном пересыпании корма величина угла  $\alpha$  наклона корпуса 1 устанавливается винтовым механизмом 14 меньше угла трения корма. Перемещение компонентов корма внутри канала 5 обратного хода от выгрузной части 10 к загрузочной части 15 происходит под действием дополнительного шнека 6 и вращения канала 5 обратного хода.

На участке 2 диффузионного смешивания под действием вращающихся лопаток 3 корм перемешивается с поступающим через диффузионные окна 13 кормом из шнека 4 и по каналу 5 обратного хода перемещается в загрузочную часть 15 шнека 4.



**Рис. 39. Схема тихоходного смесителя кормов (патент РФ № 2705334):**

*а* – схема; *б* – разрез А-А; *в* – разрез Б-Б

1 – корпус; 2 – участок диффузионного смешивания; 3 – лопатки; 4 – шнек; 5 – канал обратного хода; 6 – дополнительный шнек; 7 – тангенциальные лопатки; 8 – бункер добавок; 9, 17 – привод; 10 – выгрузная часть шнека; 11 – выгрузной патрубок; 12 – заслонка; 13 – диффузионные окна; 14 – винтовой механизм; 15 – загрузочная часть шнека; 16 – ось; 18 – вал; 19 – загрузочный бункер; 20 – плоские лопатки

Таким образом образуются два циркулирующих и взаимопересекающихся кормовых потока: первый поток – от загрузочной части шнека 4 до диффузионных окон 13, через которые на диффузионный участок 2 дополнительного шнека 6 и затем дополнительным шнеком к загрузочной части шнека 4; второй поток – от загрузочной части шнека 4 до тангенциальных лопаток 7, под действием которых корм пересыпается в дополнительный шнек 6 и затем дополнительным шнеком к загрузочной части шнека 4.

По окончании перемешивания открывается заслонка 12, и готовая смесь выгружается через патрубок 11.

В результате принятой схемы смесителя снижается время смешивания за счет разделения и соединения потоков кормовой смеси на участке диффузионного смешивания при движении по каналу обратного хода под действием лопаток в дополнительном шнеке и диффузионных окон в канале обратного хода, а также взаимопроникновению потоков материала при движении кормосмеси под действием шнека от участка загрузки к участку выгрузки.

### Методика выполнения работы

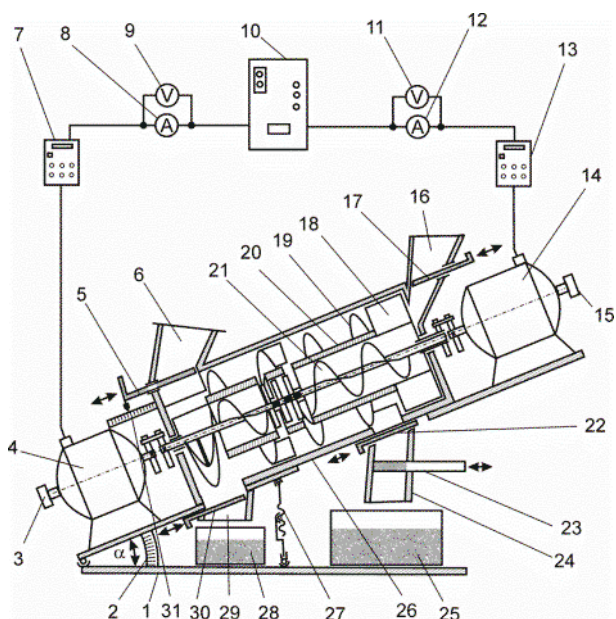
Установка тихоходного смесителя. Позволяет изменять исследуемые параметры и режимы работы смесителя в необходимых пределах.

Схема и общий вид экспериментальной установки и отдельных ее частей представлены на рис. 40 – 42.

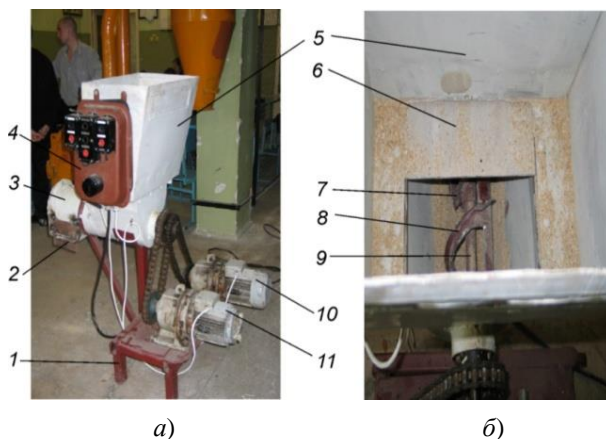
На удельные энергозатраты процесса смешивания и качество получаемой смеси оказывают влияние частота вращения шнека, угол наклона корпуса смесителя к горизонту и продолжительность смешивания.

В порционных шнековых смесителях при горизонтальном расположении шнека коэффициент заполнения находится в пределах 0,3...0,4, а при вертикальном – 0,7...0,8 [5].

Время смешивания определяется по показаниям секундомера СОСпр-26-6-000, контроль частоты вращения рабочих органов выполнялся оптическим тахометром ДТ6236В, частота вращения шнека устанавливалась частотным преобразователем «Веспер Е2-8300».

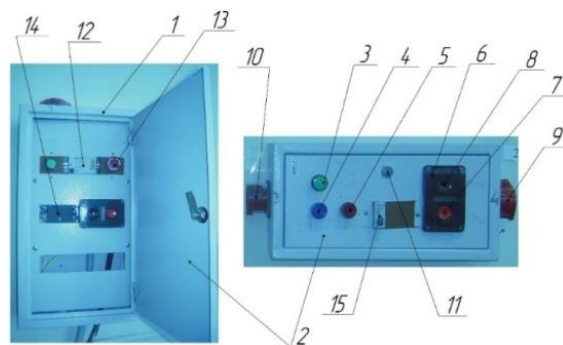


**Рис. 40. Схема экспериментальной установки шнекового смесителя с активным каналом обратного хода:**  
 1 – рама; 2 – угломер; 3, 15 – тахометр; 4 – привод шнека; 5, 17, 22, 30 – заслонка; 6 – бункер наполнителя;  
 7, 13 – частотный преобразователь; 8, 12 – амперметр; 9, 11 – вольтметр; 10 – пульт управления; 14 – привод  
 дополнительного шнека; 16 – бункер контрольного компонента; 18 – тангенциальные лопатки; 19 – шнек;  
 20 – канал обратного хода; 21 – дополнительный шнек; 23 – пробоотборник; 24, 29 – выгрузной патрубок;  
 25, 28 – емкость; 26 – корпус смесителя; 27 – винтовой механизм; 31 – шкала



**Рис. 41. Общий вид экспериментальной установки шнекового смесителя с активным каналом обратного хода:**

*а* – общий вид смесителя; *б* – загрузочная часть шнека;  
 1 – рама; 2 – выгрузной патрубок; 3 – корпус; 4 – пульт; 5 – бункер; 6 – заслонка; 7 – дополнительный шнек;  
 8 – шнек; 9 – вал; 10 – привод дополнительного шнека; 11 – привод шнека



**Рис. 42. Пульты управления:**

1 – ящик; 2 – дверка; 3, 4, 5 – лампочки индикации: зеленая, синяя, красная; 6 – блок кнопок;  
 7 – кнопка «Пуск»; 8 – кнопка «Стоп»; 9 – розетка; 10 – вилка; 11 – замок; 12 – устройство защитного  
 отключения; 13 – «стоп-грибок»; 14 – магнитный пускатель; 15 – автомат отключения

Для исследования подачи и мощности на привод шнека 19 (рис. 41, 42):

- загрузить в бункер 6 заранее измеренную порцию наполнителя (ячменная или пшеничная дерть) или контрольного компонента (окрашенные семена донника);
- винтовым механизмом 27 устанавливается на заданный угол корпус 26 смесителя (угол установки корпуса смесителя контролируется по угломеру 2);
- включить привод 14 шнека 19;
- частным преобразователем 13 устанавливается необходимая частота вращения шнека 19, которая контролируется тахометром 15;
- открыть заслонку 5;
- зафиксировать время начала процесса подачи компонента из бункера 6 в загрузочную часть шнека 19. (Продолжительность выгрузки порции корма из бункера 6 фиксируется секундомером);
- рассчитать теоретическую подачу шнека по формуле;
- определить мощность, необходимую для привода шнека по показаниям амперметров и вольтметров.

Общие затраты мощности рассчитывались по выражению [26]

$$N_{\text{общ}}^{\text{ш}} = N_{\text{рх}}^{\text{ш}} + N_{\text{хх}}^{\text{ш}}, \text{ Вт},$$

где  $N_{\text{рх}}^{\text{ш}}$  – мощность на рабочий ход шнека, Вт;  $N_{\text{хх}}^{\text{ш}}$  – мощность холостого хода шнека, Вт.

Повторность опытов составляет не менее пяти измерений при каждом угле наклона корпуса смесителя к горизонту и частоте вращения шнека 19.

Полученные данные заносились в табл. 22.

## 22. Факторы, уровни их варьирования, критерии оценки, шнека

Номер	$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 20^\circ$	
	$n = 1 \text{ с}^{-1}$		$n = 2 \text{ с}^{-1}$		$n = 3 \text{ с}^{-1}$		$n = 1 \text{ с}^{-1}$		$n = 1 \text{ с}^{-1}$		$n = 1 \text{ с}^{-1}$	
	Q, кг/с	N, Вт	Q, кг/с	N, Вт	Q, кг/с	N, Вт	Q, кг/с	N, Вт	Q, кг/с	N, Вт	Q, кг/с	N, Вт
1												
2												
3												
4												
5												
Средн.												

### Содержание отчета

Схема экспериментального смесителя. Описание устройства, принципа работы и основных характеристик изучаемых смесителей кормов. Результаты проведенных измерений. Графики зависимости изменения производительности и мощности привода смесителя от угла наклона шнека и частоты вращения рабочего органа

### Контрольные вопросы

1. Какими показателями оценивают качество смеси? Как их определить?
2. Какие параметры смесителя влияют на качество смешивания? Почему?
3. Как определить мощность и производительность шнеколопастного смесителя?
4. Как зависит производительность и мощность смесителя от угла наклона шнека и частоты вращения рабочего органа?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Рассмотрены основные вопросы по изучению физико-механических свойств сухих рассыпных кормов и машин. Изложены сведения из теории машин и оборудования, а также методика расчета основных параметров и показателей работы машин и оборудования для приготовления и дозирования кормов.

Приведены семнадцать работ, направленных на изучение основных типов оборудования, применяемых на животноводческих предприятиях. Представлены методики исследования основных параметров работы оборудования.



## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Леонтьев, Л. И.** Технологическое оборудование кормоцехов / Л. И. Леонтьев, В. И. Земков, В. М. Потемкин. – М., 1964. – 157 с.
2. **Вагин, Б. И.** Практикум по механизации животноводческих ферм / Б. И. Вагин, З. М. Побединский. – Л., 1963. – 239 с.
3. **Механизация** приготовления кормов : справочник / под ред. В. И. Сыроватка. – М., 1985. – 368 с.
4. **Мельников, С. В.** Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С. В. Мельников. – Л., 1978. – 560 с.
5. **Мельников, С. В.** Механизация животноводческих ферм / С. В. Мельников. – Л., 1972. – 560 с.
6. **Алешин, В. Р.** Механизация животноводства / В. Р. Алешин, П. М. Рошин. – М., 1985. – 336 с.
7. **Белянчиков, Н. Н.** Механизация животноводства / Н. Н. Белянчиков, А. И. Смирнов. – М., 1983. – 360 с.
8. **Мельников, С. В.** Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов / С. В. Мельников. – Л., 1985. – 640 с.
9. **Кукта, Г. М.** Машины и оборудование для приготовления кормов / Г. М. Кукта. – М. : Агропромиздат, 1987. – 303 с.
10. **Механизация** и технология производства продукции животноводства / В. Г. Коба, Н. В. Брагинец, Д. Н. Мурусидзе, В. Ф. Некрашевич. – М. : Колос, 2000. – 528 с.
11. **Коваленко, В. П.** Технологические комплексы машин для приготовления кормов : учебное пособие / В. П. Коваленко, И. М. Петренко. – Краснодар : Изд-во КГАУ, 2000. – 170 с.
12. **Боярский, Л. Г.** Технология кормов и полноценное кормление сельскохозяйственных животных / Л. Г. Боярский. – Ростов н/Д : Феникс, 2001. – 416 с.
13. **Доценко, С. М.** Машины и оборудование для подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию / С. М. Доценко, И. В. Злыгостев. – Новосибирск, 2001. – 55 с.
14. **Ведищев, С. М.** Изучение измельчителей корнеклубнеплодов : лабораторные работы / С. М. Ведищев, А. В. Прохоров, А. В. Брусенков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 31 с.
15. **Брусенков, А. В.** Обоснование способов и средств для измельчения корнеклубнеплодов : моно-графия / А. В. Брусенков. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – 128 с.
16. **Брусенков, А. В.** Технологии и средства приготовления корнеклубнеплодов для скармливания крупному рогатому скоту: монография / А. В. Брусенков, В. П. Капустин. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – 140 с.
17. **Обоснование** конструкции смесителя кормов / С. М. Ведищев, М. М. Свиридов, А. В. Прохоров, Н. В. Хольшев // Наука на рубеже тысячелетий : сб. материалов 5-й Междунар. науч.-практ. конф. 26–27 октября 2008. – Тамбов, 2008. – С. 181 – 183.
18. **Завражнов, А. И.** Механизация приготовления и хранения кормов : учебное пособие / А. И. Завражнов, Д. И. Николаев. – М. : Агропромиздат, 1990. – 335 с.
19. **М 29.055-87.** Типовая методика определения качества смешивания кормов. Введ. 30.09.1987. – Дослиничское : Ротапринт ВНИИМОЖ, 1987. – 36 с.
20. **Макаров, Ю. И.** Аппараты для смешивания сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М. : Машиностроение, 1973. – 215 с.
21. **Щедрин, В. Т.** Механизация приготовления кормов : учебное пособие / В. Т. Щедрин, С. М. Ведищев. – Тамбов : Тамб. гос. техн. у-т, 1998. – 140 с.
22. **Пат. № 2756742 С1** Российская Федерация, МПК А23N 17/00, В01F 7/00. Смеситель кормов. № 2020122691 ; заявл. 09.07.2020 ; опубл. 05.10.2021 / С. М. Ведищев, А. И. Завражнов, А. В. Прохоров и др. ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет».
23. **Техническое** обеспечение животноводства [Электронный ресурс] : учебник для вузов / А. И. Завражнов, С. М. Ведищев, М. К. Бралиев и др. ; под ред. академика РАН А. И. Завражнова. – 2-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2022. – 516 с. – URL : <https://e.lanbook.com/book/201596> (дата обращения: 27.02.2022).
24. **Дозатор-смеситель** сухих рассыпных кормосмесей / А. А. Кажияхметова, С. М. Ведищев, М. К. Бралиев и др. // Современная наука: теория, методология, практика : материалы III Всерос. (национальной) науч.-практ. конф., Тамбов, 13–14 апреля 2021 года. – Тамбов : Издательство ИП Чеснокова А. В., 2021. – С. 307 – 311.
25. **Смеситель** сухих рассыпных кормосмесей с активным каналом обратного хода / А. А. Кажияхметова, С. М. Ведищев, М. К. Бралиев, А. С. Иванов // Современная наука: теория, методология, практика : материалы III Всерос. (национальной) науч.-практ. конф., Тамбов, 13–14 апреля 2021 года. – Тамбов : Издательство ИП Чеснокова А. В., 2021. – С. 301 – 303.
26. **Затраты** мощности шнекового дозатора / В. О. Котовская, С. М. Ведищев, А. И. Завражнов и др. // Современная наука: теория, методология, практика : материалы 2-й Всерос. (национальной) науч.-практ. конф., Тамбов, 28–29 мая 2020 года. – Тамбов : Издательство ИП Чеснокова А. В., 2020. – С. 241 – 245.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ .....	4
Лабораторная работа № 1. Экспериментальное определение физико-механических свойств кормов .....	6
Лабораторная работа № 2. Исследование рабочего процесса тарельчатого дозатора кормов .....	13
Лабораторная работа № 3. Экспериментально-аналитическое исследование процесса дробления .....	16
Лабораторная работа № 4. Изучение технологического процесса и определение основных параметров молотковой дробилки	20
Лабораторная работа № 5. Изучение и исследование измельчителя кормов «ВОЛГАРЬ-5» .....	24
Лабораторная работа № 6. Изучение и анализ работы пресс-гранулятора .....	28
Лабораторная работа № 7. Изучение устройства и определение основных параметров мобильного кормораздатчика .....	32
Лабораторная работа № 8. Изучение стригальных машинок и определение их основных параметров .....	36
Лабораторная работа № 9. Исследование технологического процесса и определение основных параметров цепного скрепера	39
Лабораторная работа № 10. Исследование коэффициентов трения и сопротивления сдвигу корнеклубнеплодов .....	43
Лабораторная работа № 11. Экспериментально-теоретическое исследование дискового измельчителя корнеклубнеплодов .....	51
Лабораторная работа № 12. Изучение технологического процесса и определение основных параметров лопастной мешалки ...	58
Лабораторная работа № 13. Теоретическое изучение технологического процесса и определение основных параметров шнеколопастного смесителя периодического действия .....	61
Лабораторная работа № 14. Изучение рабочего процесса ИСК-3 и определение параметров дискового измельчителя- смесителя .....	66
Лабораторная работа № 15. Изучение процесса периодического смешивания .....	69
Лабораторная работа № 16. Изучение процесса непрерывного смешивания .....	73
Лабораторная работа № 17. Изучение процесса работы тихоходного смесителя .....	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	79
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	80

Учебное электронное издание

БРУСЕНКОВ Алексей Владимирович  
ВЕДИЩЕВ Сергей Михайлович  
ПРОХОРОВ Алексей Владимирович  
ГЛАЗКОВ Андрей Юрьевич  
ХОЛЬШЕВ Николай Васильевич

# МЕХАНИЗАЦИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА

Лабораторный практикум

Редактирование И. В. Калистратовой  
Графический и мультимедийный дизайнер Т. Ю. Зотова  
Обложка, упаковка, тиражирование И. В. Калистратовой

ISBN 978-5-8265-2574-6



Подписано к использованию 19.05.2023.  
Тираж 50 шт. Заказ № 40

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14  
Тел./факс (4752) 63-81-08.  
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru