

636

Ф 33

Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов

И.Я. Федоренко





И.Я. Федоренко

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
вузов по агроинженерному образованию
в качестве учебного пособия для студентов вузов,
обучающихся по специальности 110301
«Механизация сельского хозяйства»*

**Электронная
Библиотечная
Система
znanium.com**



Москва

2020

ИНФРА-М

УДК 636(075.8)

ББК 45.45я73

Ф33

Ф3
№ 436-Ф3

Издание не подлежит маркировке
в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11

Рецензенты:

Земсков В.И. — доктор технических наук, профессор Алтайского ГАУ, заслуженный деятель науки и техники РФ;

Злочевский В.Л. — доктор технических наук, профессор Алтайского ГТУ, заслуженный изобретатель

Федоренко И.Я.

Ф33 Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов : учеб. пособие / И.Я. Федоренко. — М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. — 176 с. — (Высшее образование: Бакалавриат).

ISBN 978-5-91134-173-2 (ФОРУМ)

ISBN 978-5-16-015514-2 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-107950-8 (ИНФРА-М, online)

Изложены технологические и технические основы создания и эксплуатации оборудования, предназначенного для подготовки кормов к скармливанию. Рассмотрены способы измельчения, сушки и прессования кормов, а также дозирования и смешивания.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности 110301 — «Механизация сельского хозяйства». Будет полезно инженерно-техническим работникам, занимающимся разработкой и эксплуатацией машин и оборудования для кормоприготовления.

УДК 636(075.8)

ББК 45.45я73

ISBN 978-5-91134-173-2 (ФОРУМ)

ISBN 978-5-16-015514-2 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-107950-8 (ИНФРА-М, online)

© Федоренко И.Я., 2007

© ФОРУМ, 2007

ООО «Издательство Форум»

127214, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1

E-mail: forum-book@yandex.ru

Тел.: (495) 280-15-96

ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»

127214, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1

Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29

E-mail: books@infra-m.ru <http://www.infra-m.ru>

Подписано в печать 27.06.2019.

Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 11,0. ПТ20.

РК-85990-1016431-260407

Печатано в типографии ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»
Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29

Экономические показатели отрасли животноводства в последние 10–15 лет резко ухудшились, при этом оборудование для подготовки кормов практически не обновлялось. Все это привело к тому, что компоненты рациона скормливают не в смеси, как этого требует зоотехническая наука, а поочередно и практически в неподготовленном виде. Специалисты указывают: недополучение продукции и перерасход кормов достигают 15...20 %.

Справедливости ради нужно отметить, что ряд технологий и машин, разработанных еще в годы советской власти, в рыночных условиях оказались неконкурентоспособными, приводящими к большим издержкам на приготовление кормов. В связи с этим остро встает задача разработки технологических, технических и экономических основ создания высокоэффективных средств механизации для подготовки кормов, обеспечивающих минимальные трудовые, энергетические и материальные затраты.

Обоснованность расчетов при создании кормоприготовительной техники, правильность ее выбора и эксплуатации во многом зависят от информации о техническом уровне машин, принципах их работы, свойствах кормовых материалов.

Предлагаемое учебное пособие является обобщением и критическим переосмыслением трудов многих ученых, работавших и работающих в области механизации кормоприготовления. В него включены теоретические и практические разработки самого автора, выполненные в Алтайском ГАУ, а также результаты совместных работ с коллегами по университету, аспирантами и докторантами — С.Н. Васильевым, М.Г. Желтуновым, В.И. Лобановым, С.В. Золотаревым, А.А. Смышляевым.

Автор надеется, что книга будет способствовать формированию у студентов отчетливого понимания тех физических процессов и явлений, которыми сопровождается переработка и приготовление кормов. В связи с такой постановкой задачи в пособии почти нет методик расчетов конкретных конструкций машин, а упор сделан на изложение механико-технологических основ ра-

бочих процессов. Этим, видимо, оно отличается от существующих пособий и справочников подобной тематики. Книга будет полезна преподавателям, ведущим курс механизации и технологии животноводства, а также аспирантам, научным сотрудникам и практическим работникам сельского хозяйства.

Автор отдает себе отчет в том, что изложение в данном пособии многих теоретических вопросов по-иному, нежели в классических книгах Н.Г. Соминича и С.В. Мельникова, вызовет, по крайней мере на первых порах, критику со стороны коллег по «профессиональному цеху». В связи с этим любые замечания и пожелания по материалам книги будут приняты с должным вниманием.

Во втором издании (1-е — 2004 г.) переработаны и дополнены некоторые разделы.

Адрес для сообщений: 656049, г. Барнаул, пр-т Красноармейский, 98, Алтайский ГАУ, кафедра «Механизация животноводства».

1. ТРЕБОВАНИЯ К КОРМАМ, СПОСОБЫ И СХЕМЫ ИХ ПРИГОТОВЛЕНИЯ

■ 1.1. Общие сведения о кормах и способах их приготовления

По энергетической ценности корма подразделяют на объемистые (в 1 кг массы 0,6 кормовых единиц (к. ед.) и менее) и концентрированные (в 1 кг более 0,6 к. ед.). По происхождению различают корма растительные, животные, микробиологического и химического синтеза, комбинированные.

В практике кормоприготовления принято следующее деление кормов:

- зеленые (трава пастбищ и зеленых подкормок);
- грубые (сено, солома, мякина, веточный и древесный корм);
- сочные (силос, сенаж, корнеплоды, клубнеплоды, бахчевые и другие сочные плоды);
- концентрированные (зерно и семена, жмых, шроты и др.);
- корма животного происхождения (молоко, молочные продукты, отходы молочной и мясной промышленности);
- отходы технических производств (спиртовой, сахарной, консервной, пищевой, масложировой);
- пищевые отходы;
- корма микробиологического синтеза (дрожжи, микробный белок);
- синтетические азотистые добавки;
- минеральные и витаминные кормовые добавки;
- комбикорма.

Корма подготавливают для повышения их поедаемости, переваримости и использования питательных веществ, улучшения технологических свойств, обеззараживания. Кроме того, корма должны быть очищены от примесей и веществ, вредных для здоровья животных или неблагоприятно влияющих на качество про-

дукции. Наряду с этим подготовка кормов значительно расширяет возможности использования различных отбросов и отходов как сельскохозяйственного, так и других производств.

Зоотехнической наукой и практикой доказано, что наиболее эффективно корма скармливать в виде смеси, состоящей из разных компонентов. В этом случае продуктивность животных значительно повышается (до 20 %), а расход кормов сокращается.

В настоящее время для переработки и смешивания кормов строят специальные предприятия — кормоцехи животноводческих ферм и комплексов.

Различают следующие способы приготовления кормов: механические, химические, тепловые, биологические.

К механическим способам относятся измельчение, плющение, дозирование, смешивание, уплотнение и т. д. Некоторые механические способы, кроме всего прочего, обеспечивают лучшие условия и для других операций приготовления и раздачи кормов. Например, измельчение компонентов создает условия для их хорошего смешивания, а уплотнение кормов позволяет облегчить их транспортировку, хранение и раздачу.

Химические способы заключаются в воздействии на некоторые виды кормов химическими веществами (соляной кислотой, известковым молоком, щелочью, аммиаком и т. д.). Чаще всего этим способом обрабатывают солому с целью расщепления клетчатки и увеличения ее переваримости.

Тепловые способы сводятся к воздействию на корм тепла (запаривание, поджаривание, сушка, заваривание (горячей водой)). При этом убивается плесень, если она есть на корме.

Биологические способы основаны на воздействии на корм различных микроорганизмов (дрожжевание, ослаживание и т. д.).

Корма подвергаются различным способам подготовки.

Сено для повышения поедаемости и улучшения его технологических свойств, особенно в условиях крупных ферм, в основном измельчают. Термические и химические способы нецелесообразны, поскольку они могут даже снижать кормовые достоинства сена. Эти способы могут быть полезны для обработки сена, приготовленного из перестоявших трав, с высоким содержанием клетчатки, а также сена из низко питательных трав — осоки и др. Измельченное сено можно использовать для приготовления полнорационных кормовых смесей.

Солому чаще всего обрабатывают механическими и термическими способами (измельчение, запаривание, сдобривание, гранулирование и т. д.), что повышает ее поедаемость и частично переваримость.

Химические способы обработки соломы позволяют изменить ее химический состав и тем самым обеспечить значительное повышение переваримости ее питательных веществ и прежде всего углеводов — основного источника энергии.

Корнеплоды перед скармливанием моют и измельчают, но не до кашеобразного состояния, так как в этом случае теряется много сока, а масса быстро темнеет и закисает. Для свиней и птицы целесообразно готовить пасту из смеси сочных кормов (силоса, зеленых кормов, корнеплодов и картофеля).

Фуражное зерно обязательно измельчают, что повышает его переваримость.

Кроме того, для фуражного зерна применяют следующие методы обработки:

- *осолаживание* (добавление в прогретый водой корм солода в количестве 1...2 %), применяется для кормов, содержащих большое количество крахмала (ячмень, пшеничная и ржаная мука, отруби). В результате осолаживания часть крахмала переходит в легкоусвояемый сахар — мальтозу, и корм приобретает сладковатый вкус;

- *дрожжеванию* подвергают малоценные зерновые корма, богатые углеводами, но с низким содержанием белка. Этот вид обработки повышает питательные и диетические свойства кормов;

- *микронизация* — зерно подвергается действию микроволн, в результате чего оно разогревается, разбухает и растрескивается. Иногда зерно дополнительно дробится на вальцовой плющилке. Микронизированное зерно имеет пониженную влажность, хорошо сохраняется и легко смешивается с другими компонентами.

При обработке зерна полезна желатинизация крахмала, происходящая вследствие разрыва оболочек крахмальных зерен. Питательные вещества зерна становятся более доступными для животных, что увеличивает эффект переваримости. В небольшой степени желатинизация крахмала зерна происходит при гранулировании комбикормов и при плющении сухого зерна, но наибольший эффект достигается при сочетании влаготепловой обработки и плющения зерна, а также при экструдировании зерна (сухого и пропаренного);

• **экструдирование** заключается в воздействии на зерно высокой температуры (120...200 °С) и большого давления (3...5 МПа).

Среди всех способов приготовления кормов первостепенное значение имеют механические. При механизированном ведении животноводства они просто необходимы. Даже в трудные для России годы на рубеже веков механические процессы переработки кормов применялись повсеместно.

■ 1.2. Технологические схемы подготовки кормов к скармливанию

Технологические процессы приготовления кормов отличаются большим разнообразием, что обусловлено природно-климатическими зонами содержания животных, особенностями местности, наличием вблизи ферм предприятий по переработке сельскохозяйственной продукции, структурой посевных площадей, технологией содержания животных и другими факторами.

Различают следующие типы рационов кормления крупного рогатого скота: сеной, силосный, концентратный, силосно-сеной, силосно-корнеплодный, силосно-жомовый, силосно-сенажный, силосно-сенажно-концентратный с долей концентрированных кормов до 30...35 % питательности рациона.

Для свиней применяют следующие типы кормления: концентратно-корнеплодный и концентратно-картофельный с содержанием концентрированных кормов в рационах до 60...75 % питательности, концентратный.

Для овец применяют сено-силосно-концентратный тип кормления с содержанием концентратов до 25...35 % по питательности. Для этих животных сено-концентратную часть желательно скармливать в виде гранул.

Главным критерием экономической эффективности рационов являются наименьшая трудоёмкость и себестоимость производства кормов, наибольший выход с 1 га кормовых угодий питательных веществ, высокая полноценность кормов.

В связи с большим разнообразием рационов существует много схем обработки кормов:

грубые корма (солома и грубостебельное сено):

1) измельчение — дозирование — смешивание с другими компонентами,

2) измельчение — дозирование — запаривание — смешивание,

3) измельчение — дозирование — биологическая или химическая обработка — смешивание;

корнеклубнеплоды:

1) мойка — измельчение — дозирование — смешивание,

2) мойка — запаривание — разминание — дозирование — смешивание,

3) мойка — измельчение — дозирование — дрожжевание — смешивание.

Первую схему применяют на фермах крупного рогатого скота (КРС), вторую — на свинофермах, третью — на фермах всех видов;

зерновые корма:

1) очистка — измельчение — дозирование — смешивание,

2) очистка — измельчение — ослаживание (дрожжевание) — дозирование — смешивание,

3) очистка — измельчение — дозирование — смешивание — прессование,

4) очистка — проращивание,

5) очистка — измельчение — смешивание с мочевиной — экструдирование,

6) очистка — микронизация.

Приведенные схемы используют при выборе технологии и оборудования кормоцехов.

■ 1.3. Физико-механические свойства кормов

Корма и кормовые средства для сельскохозяйственных животных бывают растительного, животного и минерального происхождения. В качестве сырья для переработки они предоставляют огромное количество материалов различной химической природы и состава, специфики подготовки к скармливанию. При хранении, транспортировке и переработке корма подвергаются разнообразным воздействиям. Реальные показатели работы технологических и транспортных машин в кормоприготовлении

можно рассматривать лишь вкупе с определенными видами кормов, их структурой и физико-механическими характеристиками. Именно последние являются основанием для расчета кормоприготовительного оборудования.

Большинство видов кормов представляет собой *дисперсные системы*, состоящие из двух или более фаз (так называемые дисперсные смеси). Твердые частицы, капли, пузырьки в дисперсной смеси называют дисперсными частицами, или *дисперсной фазой*, а окружающую несущую фазу (воздух, жидкость) — *дисперсионной фазой*. Все эти дисперсные смеси можно моделировать в виде сыпучего тела, ньютоновских и неньютоновских жидкостей, а также рядом специальных моделей.

Различают следующие виды двухфазных дисперсных смесей:

- сыпучие тела — совокупность отдельных частиц, окруженных воздухом (фуражное зерно, дерть, комбикорм, микродобавки и т. д.);
- суспензии — смеси жидкости с твердыми частицами (жидкие и полужидкие корма в свиноводстве);
- эмульсии — смеси одной жидкости с каплями другой (например, заменитель цельного молока).

В особую группу — группу плохо сыпучих (связных) тел — можно выделить сено-соломистые материалы до их измельчения.

Иногда приходится учитывать наличие трех фаз в дисперсной смеси. В частности, измельченные корнеклубнеплоды, в связи с их большой влажностью, приходится рассматривать как смесь, состоящую из жидкой, твердой и газовой фаз.

Процессы переработки кормов, как уже указывалось, являются часто не только механическими или гидродинамическими, но и тепловыми, сопровождаются сложными физико-химическими или микробиологическими явлениями. Тем не менее главная задача приготовления кормов заключается в управлении механическими процессами образования, деформации и разрушения дисперсных систем различного типа и получении на этой основе кормовых средств с заданными технологическими и питательными свойствами.

Очевидно, что без изучения физико-механических и других свойств исходного кормового сырья решить эту задачу нельзя. Знание свойств является основанием к расчету рабочих органов, снижению энерго- и металлоемкости кормоприготовительных ма-

шин, повышению качества кормов в процессе подготовки к скормливанию.

К физическим свойствам кормов обычно относят влажность, гранулометрический состав (размеры частиц и их соотношение), объемную массу, плотность, пористость, водопоглощаемость, водоотдачу, гигроскопичность, теплємкость, теплопроводность, вязкость и т. д. Среди перечисленных свойств важнейшее значение имеет влажность корма, существенно влияющая на другие свойства. Многие технологические процессы протекают только при определенной влажности: измельчение зерна ударом, гранулирование и брикетирование, подбор проявленной травы на сенаж и т. д.

Механические свойства кормов включают коэффициенты внешнего и внутреннего трения, бокового распора, угол естественного откоса, характеристики сопротивляемости сжатию, резанию, разрушению ударом. Наиболее существенными свойствами кормов для того или иного технологического процесса являются те, которые определяют реакцию системы на внешние механические воздействия. Такие свойства называют технологическими, они могут быть из ряда физических или механических. Например, для процессов очистки ингредиентов комбикормов важны форма и плотность частиц, при прессовании кормов — деформационные свойства, при измельчении фуражного зерна — его прочностные свойства.

Физические, механические и технологические свойства любого корма взаимосвязаны. Часто это детерминированная связь, в других случаях более слабая — коррелированная.

Численные значения физических и механических характеристик кормов даны в справочной и технической литературе, а также в специальных методиках.

В табл. 1.1 даны некоторые основные физико-механические свойства наиболее распространенных видов кормов.

Подробнее технологические свойства тех или иных кормов будут рассмотрены при описании конкретных процессов переработки кормов.

Таблица 1.1. Основные физико-механические свойства кормов

Вид корма	Влажность, %	Объемная масса, т/м ³	Угол естественного откоса, град.
Соломенная резка	14–16	0,03–0,05	50–60
Травяная резка	12–14	0,10–0,12	—
Травяная мука	12–14	0,18–0,20	34–65
Кормовая свекла измельченная	86–88	0,67–0,74	35–40
Дерть:			32–36
ячменная	14–15	0,46–0,65	33–36
кукурузная	14–15	0,68–0,78	45
овсяная	14–15	0,30–0,36	
Комбикорм рассыпной	14–15	0,50–0,55	32–35
Комбикорм гранулированный	12–14	0,60–0,70	17–22
Мел дробленый	2–12	0,98–1,40	40–50
Кормосмесь для КРС:			
солома + силос	60–64	0,15–0,17	54–58
солома + силос + концентрированные корма + раствор	65–67	0,20–0,35	55–60
Кормовые смеси для свиней:			
концентрированные корма + сахарная свекла + мука + вода	69–72	0,62–0,89	55–60
концентрированные корма + кормовая свекла + жидкие компоненты	62–63	0,70	53

2. ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЗЕРНОВЫХ КОРМОВ

■ 2.1. Зоотехнические требования

Измельчение зерновых кормов обусловлено физиологией сельскохозяйственных животных. Дело в том, что скорость обработки частиц корма желудочным соком прямо пропорциональна площади их поверхности. В результате измельчения кормов образуется множество частиц с большей общей поверхностью, что способствует ускорению пищеварения и повышению усвояемости питательных веществ. Поэтому содержание целых зерен в измельченном продукте не должно превышать 0,3...0,5 %. Как свидетельствует отечественный и зарубежный опыт, превышение этих значений ведет к перерасходу кормов. Однако чрезмерное измельчение зерна до состояния пыли также снижает эффективность его использования. Так, среднесуточные привесы молодняка свиней оказались на 18 % ниже при скармливании кукурузной дерти с размером частиц 0,2 мм, чем при скармливании дерти с рекомендуемым размером частиц. К тому же при переизмельчении увеличиваются затраты энергии дробилкой.

На практике в качестве критерия крупности продукта используют *модуль помола* M — средневзвешенный диаметр частиц, установленный для каждого вида животных:

- свиней — 0,2...1,0 мм (тонкий помол);
- КРС — 1,0...1,8 мм (средний помол);
- птиц — 1,8...2,6 мм (грубый помол).

Модуль помола определяется ситовым анализом, т. е. рассевом навески измельченного корма на фракции с целью определения его гранулометрического состава. Для этого навеска дерти (100 г) просеивается на лабораторном расसेве вибрационного типа через набор сит с круглыми отверстиями диаметром 5, 3, 2 и 1 мм при грубом и среднем измельчении или диаметром 4, 3, 2, 1 и 0,2 мм — при тонком измельчении. Верхние сита с отверстиями диаметром 5 и 4 мм являются контрольными для учета целых

зерен. Зерна на этих ситах присоединяются к остаткам на сите с ячейками 3 мм.

Исчисление средневзвешенного диаметра (т. е. модуля помола) производят по формуле

$$M = \frac{d_1 P_1 + d_2 P_2 + \dots + d_n P_n}{100} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i P_i}{100}, \quad (2.1)$$

где d_i — средний размер отверстий двух смежных сит, мм; P_i — массовый выход фракции, т. е. остаток на каждом сите, выраженный в процентах от массы всей навески; n — количество фракций, на которое разделилась навеска.

Часто определение модуля помола недостаточно для всесторонней оценки качества измельчения и выравнинности измельченного продукта по гранулометрическому составу. В этом случае выполняют построение гистограмм, дифференциальных или интегральных кривых распределения полученного продукта по размерам (рис. 2.1).

Продукт измельчения представляет собой смесь, состоящую из частиц со случайными размерами в диапазоне от $d_{\min}$ до $d_{\max}$. Однако при теоретических расчетах законов распределения размеров частиц (вероятности получения того или иного размера) принимают, что $d_{\min} = 0$, а размер максимальной частицы принимают равным размеру ячейки сита, на котором не остается материала.

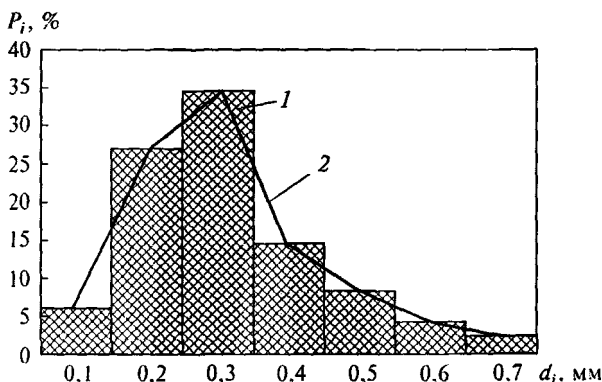


Рис. 2.1. Примерный вид гистограммы (1) и полигона распределения (2) частиц в измельченном продукте

Теоретические кривые распределения размеров частиц могут быть с определенной точностью описаны различными уравнениями. Чаще всего для функции распределения применяется выражение, предложенное Розиным и Раммлером:

$$F(d) = [1 - \exp(-bd^m)] \cdot 100 \%,$$

где $F(d)$ — интегральное содержание фракций с диаметром частиц меньше d , %; b, m — константы, зависящие от свойств материала, дробильной машины и характера рассеяния материала по крупности.

Отсюда для плотности распределения частиц по размерам имеем

$$f(d) = F'(d) = bmd^{m-1} \exp(-bd^m) \cdot 100 \, \text{‰}.$$

Распределение Розина-Раммлера является асимметричным: математическое ожидание сдвинуто в сторону меньших значений диаметров частиц.

Функция и плотность распределения служат для анализа выравнинности гранулометрического состава полученного продукта и принятия решений по устранению больших разбросов этих размеров.

■ 2.2. Технологические свойства фуражного зерна

Зерна злаковых относятся к коллоидным капиллярно-пористым телам, отдельные части которых (оболочки, зародыши) имеют различную структуру, разные физические и химические характеристики. Составляющий основную массу зерновых крахмал, так же как и клетчатка, является веществом кристаллической структуры. Белковые вещества имеют аморфную структуру.

Зерновым, в отличие от идеально твердых тел, свойственна пространственная анизотропия, т. е. их механические свойства в различных направлениях неодинаковы. Наконец, зерна злаковых относятся к органическим телам и отличаются сложной конфигурацией. Указанные особенности структуры зерна значительно влияют на механические свойства и на его поведение в процессе деформирования и измельчения.

В зависимости от характера и величины приложенных к зерну внешних сил его линейные размеры и форма изменяются, т. е. в зерне возникают деформации. Они могут быть *упругими* (обратимыми) и *пластическими* (необратимыми). Если внешние силы не превышают некоторого предела, то смещение частиц из равновесных положений и возникающие деформации будут обратимыми. При упругой деформации после снятия внешних сил зерно под действием сил межатомного взаимодействия возвращается в первоначальное состояние.

Пластические деформации проявляются при нагрузках, превышающих предел упругости. Пластическая деформация сопровождается «течением» вещества без нарушения его сплошности. Пластические деформации в отличие от других видов деформации являются деформациями большого масштаба и развиваются с очень низкой скоростью.

Развитие упругих, а затем пластических деформаций в зерне при воздействии на него внешних сил заканчивается разрушением. Оно наступает при возникновении в нем напряжений, превышающих некоторый предел, называемый *пределом прочности* или *критическим напряжением*.

В механике разрушения доказана особая роль микротрещин, которые имеются в любом теле, в том числе в зерне. На кончиках трещин происходит концентрация напряжений, что обуславливает разрушение зерновок при более низких напряжениях. В теории разрушения доказывается, что имеется некоторое критическое напряжение σ_* для данной длины трещины ℓ , при превышении которого она растет:

$$\sigma_* = \sqrt{\frac{2E\lambda}{\pi\ell}},$$

где E — модуль упругости материала; λ — удельная работа разрушения на единицу приращения поверхности продукта (константа материала).

На рис. 2.2 в качестве примера даны кривые, характеризующие процесс разрушения пшеницы при влажности $W = 12,5\%$ и скорости нагружения 4,37 и 2,23 Н/с. На рисунке ясно видна первая стадия деформации (участок OA), на которой величина деформации прямо пропорциональна времени и нагрузке. За упру-

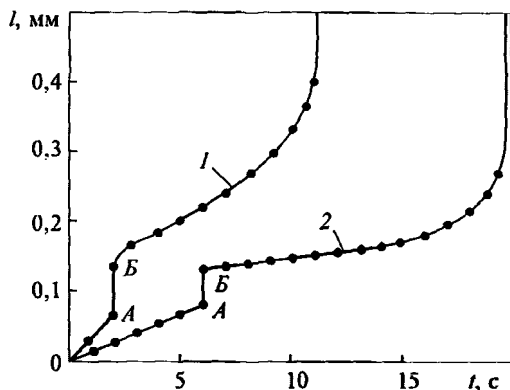


Рис. 2.2. Кривые деформации зерна пшеницы во времени при скорости нагружения:

1 — 4,37 Н/с; 2 — 2,23 Н/с (по И.А. Наумову)

гой стадией следует скачкообразное увеличение деформации (участок AB) вследствие хрупкого разрушения оболочек и верхних слоев эндосперма. Третья стадия характеризуется постепенным увеличением пластической деформации, которая перед разрушением резко возрастает. При медленном нагружении зерновки проявляют в большей степени пластические свойства: прочность такого зерна ниже, а деформируемость выше. Существенно также то, что влияние скорости нагружения на изменение механических характеристик зерна в большей степени проявляется на влажном зерне, чем на сухом.

На рис. 2.3 изображены примерные диаграммы разрушения зерна пшеницы влажностью 13,5 % в координатах напряжение — деформация в зависимости от продолжительности нагружения. Видно, что при мгновенном и быстром (до 5 с) нагружении (кривые 1 и 2) зерно хорошо подчиняется закону Гука. При медленном нагружении зерно пшеницы показывает значительные отклонения от закона прямой пропорциональности.

Таким образом, увеличение пластической деформации зависит не только от влажности, температуры и величины приложенного напряжения (нагрузки), но и скорости и продолжительности нагружения. Следовательно, если задача состоит в хрупком измельчении зерна, то усилие следует прилагать быстро, прежде чем успеют развиваться в зерне редакционные процессы (расса-

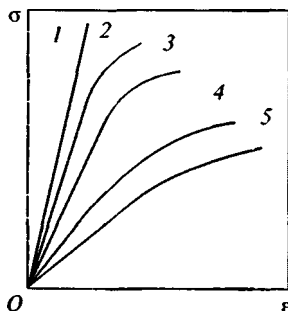


Рис. 2.3. Зависимость между напряжением и деформацией при различной продолжительности нагружения (по И.А. Наумову):

1 — мгновенное; 2 — 5 с; 3 — 15 с; 4 — 30 с; 5 — 60 с

сывание напряжений). При этом зерно претерпевает небольшую деформацию. И наоборот, если требуется вязкое разрушение, то усилие нужно прилагать медленно. В этом случае будет преобладать не хрупкое разрушение, а расплющивание зерна.

Таким образом, одно и то же зерно в зависимости от характера приложения действующей силы может проявлять себя как хрупкое или пластичное. При ударном измельчении с достаточным основанием зерно следует считать хрупким телом (при влажности до 16...17 %).

Эти положения подтверждают также эксперименты, проведенные профессором С.В. Мельниковым с сотрудниками. При оценке прочности единичных зерен величиной разрушающего напряжения, было установлено, что для ячменя оно составляет в среднем $(7,03 \pm 1,02)$ МПа в статических испытаниях против $(12,73 \pm 0,4)$ МПа, полученных в динамическом режиме. На основании этих данных С.В. Мельников заключил, что свойство большинства материалов повышать свою прочность с увеличением скорости нагружения присуще и зерну.

Из зерновых культур наибольшей прочностью обладает ячмень, который, будучи основной фуражной культурой, может быть принят за эталон для сравнительной оценки. О соотношении показателей прочности зерна различных культур можно судить по следующим данным С.В. Мельникова (прочность зерна ячменя принята за 100 %): ячмень — 100, пшеница — 91, рожь — 83, горох — 65, овес (без пленок) — 54 %.

Интересны данные, полученные Л.А. Глебовым по скоростям разрушения зерна (табл. 2.1) свободным ударом.

Таблица 2.1. Скорости разрушения зернового сырья, м/с

Стадии разрушения	Зерновая культура				
	Яч-мень	Овес	Пше-ница	Рожь	Куку-руза
Начало разрушения зерна	70	56	43	45	20
Полного разрушения зерна	130	105	115	92	60

Из данных табл. 2.1 следует, что динамические прочностные характеристики зерновых одной и той же культуры имеют большой разброс. Гарантированное разрушение всех без исключения зерен ячменя наблюдается при скорости удара 130 м/с и выше, пшеницы — 115 м/с и выше, овса 105 м/с и выше. Это весьма большие скорости, обуславливающие напряженный динамический режим измельчителей, работающих по принципу удара.

■ 2.3. Способы измельчения

Из известных способов механического воздействия на зерно с целью его разрушения, таких как удар, сжатие, сдвиг, резание, истирание и др., наиболее широкое применение в практике кормоприготовления нашли удар и сжатие. Однако при переработке в большей части оборудования этим видам деформации сопутствуют другие. Например, в молотковой дробилке наряду с измельчением ударом присутствует истирание, в вальцовом рифленом станке к сжатию присоединяется сдвиг и т. д. В одних случаях это явление желательно, в других — нет, поскольку способствует переизмельчению.

Выбор способа измельчения определяется рядом факторов, в числе которых — вид корма, физико-механические свойства измельчаемого зерна, требования технологии подготовки кормов, зоотехнические требования к корму для различных видов животных.

Свойства измельчаемого материала, определяющие эффективность его измельчения, зависят от температуры и влажности. При сухих методах измельчения влажность оказывает отрица-

тельное влияние, в том числе из-за налипания измельченного продукта на рабочие поверхности.

Дробление свободным ударом используется в *молотковых дробилках* (рис. 2.4).

Кроме разрушения от ударов по зерну молотками, продукт дополнительно измельчается при ударах о рифленные стенки камеры. Измельченные частицы просеиваются через сменное решето, размер отверстий в котором определяет модуль помола. Молотковые дробилки позволяют измельчать фуражное зерно влажностью до 18...20 %. Однако при использовании их для приготовления сеной или травяной муки влажность исходной резки не должна превышать 10...12 %.

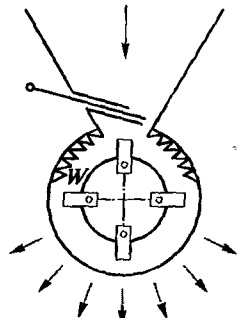
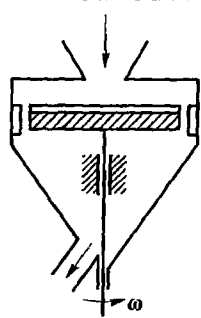
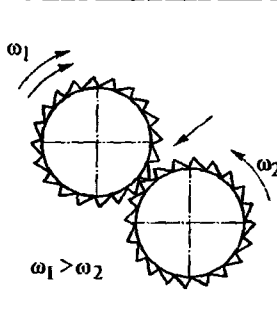
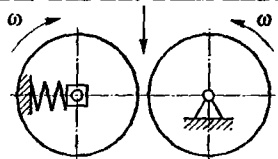
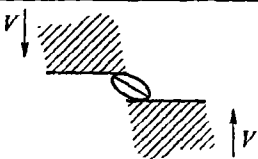
Молотковая дробилка	Ударно-центробежный измельчитель	Вальцовый станок
		
Вид воздействия рабочих органов на зерно		
Удар и истирание	Удар	Сжатие, сдвиг и срез
Плющилка	Измельчитель ИЛС-5	
		
Вид воздействия рабочих органов на зерно		
Сжатие	Резание	

Рис. 2.4. Рабочие органы, применяемые для измельчения зерна

В основе принципа действия *ударно-центробежных измельчителей* лежит разгон зерна под действием центробежных сил с последующим ударом о движущуюся или неподвижную преграду. Указанные измельчители отличаются малая энергo- и металлоемкость. Однако они весьма чувствительны к попаданию в полость измельчения посторонних предметов, а также к повышению влажности исходного зерна.

Работа *вальцовых станков* основана на сжатии, сдвиге и срезе материала. При вращении пары вальцов их рифленые поверхности затягивают материал в рабочий зазор между собой и разрушают его. Вальцы в паре вращаются с различной частотой, что позволяет разрушать материал деформацией сдвига и препятствует залипанию рифлей. Качество измельчения регулируют, изменяя зазор в вальцовой паре и соотношение окружных скоростей вальцов.

Вальцовые станки работают при влажности зерна 15...16 %. При более сухом зерне увеличивается выход мучнистой фракции. На более влажном зерне показатели вальцовых станков резко снижаются: залипают вальцы, уменьшается производительность, возрастают энергозатраты.

Плющение зерна производят на *плющилках* в рабочем зазоре между двумя гладкими вальцами, вращающимися с одинаковой рабочей скоростью. В некоторых конструкциях плющилок привод от двигателя устроен на один валец, а второй вращается свободно. Регулируют процесс плющения, изменяя расстояние между вальцами.

Плющению подвергается зерно в фазе восковой спелости или прошедшее влаготепловую обработку, при этом его влажность существенно превышает равновесную. Полученные хлопья или должны быть сразу скормлены, или, если необходимо хранение, обработаны консервантами.

Измельчение зерна по способу резания реализовано в измельчителе Челябинского ГАУ (П.И. Леонтьев и Н.С. Сергеев). Конструктивно измельчитель выполнен в виде концентрически вращающихся навстречу друг другу дисков с режущими элементами. Такой измельчитель отличается малой энергоемкостью, нечувствительностью к влажности материала, однако требует высокой культуры проектирования и изготовления.

Практически все рабочие органы имеют существенный недостаток, выражающийся в неоднородности гранулометриче-

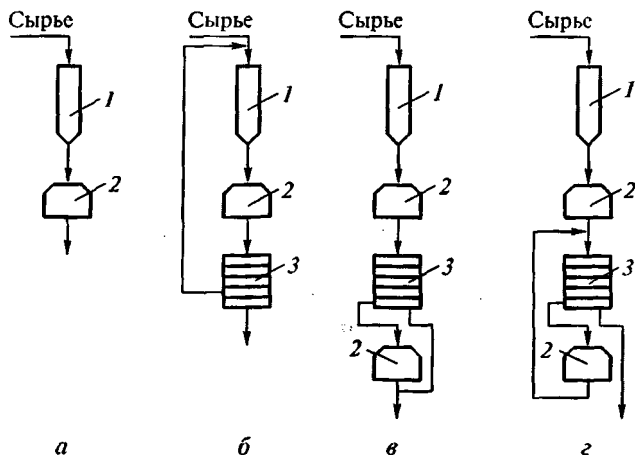


Рис. 2.5. Технологические схемы измельчения с промежуточной сепарацией продукта:

а — одностадийный способ; *б* — двухстадийный циклический; *в* — двухстадийный ступенчатый; *г* — двухстадийный ступенчато-циклический; 1 — бункер; 2 — дробилка; 3 — рассев (сепаратор)

ского состава готового продукта. Если недоизмельченные частицы после просева можно вернуть на повторное измельчение, то с переизмельченными ничего сделать нельзя. Они являются мерой несовершенства процесса, вызывают излишние энергозатраты, вредят животным. Этот недостаток можно устранить введением в технологическую схему измельчения контрольной операции просеивания, т. е. путем применения многоэтапного измельчения с промежуточной сепарацией. Технически это можно осуществить вынесением операции сепарирования (просеивания) за пределы дробильной камеры (или даже дробилки). При этом исходный материал сначала измельчается в дробильной камере, затем поступает на рассев, после чего крупная фракция возвращается в дробилку на повторное измельчение. Организовать данный технологический процесс можно тремя способами: циклическим (рис. 2.5, *б*), ступенчатым (рис. 2.5, *в*) и ступенчато-циклическим (рис. 2.5, *г*).

По расчетам В.А. Афанасьева и П.А. Плаксиной, наилучшие технико-экономические показатели имеет ступенчато-циклический способ.

■ 2.4. Основные закономерности измельчения зерна ударом

Общая удельная работа, затрачиваемая на рабочий процесс измельчителя ударного действия, может быть выражена в виде следующего энергетического баланса:

$$A_{\text{общ}} = A_V + A_S + A_0, \quad (2.2)$$

где A_V — энергия, рассеиваемая в объеме частиц при их деформировании (т. е. расходуемая на внутреннее трение и нагрев измельчаемого материала); A_S — энергозатраты на образование новых трещин и поверхностей в измельчаемом материале; A_0 — энергия, затрачиваемая на износ и нагрев рабочих органов, их деформирование, трение частиц в слое друг о друга (т. е. их дополнительный нагрев), генерирование рабочими органами воздушного потока (здесь не имеется в виду специально организованный воздушный поток для транспортирования измельченного продукта) и т. д.

Энергозатраты A_0 являются значительными. Как будет показано далее, они имеют такой же порядок, как и энергозатраты $A = A_V + A_S$, необходимые непосредственно для измельчения. Их снижение является основной целью при разработке новых и модернизации существующих измельчителей.

Вопрос о полезности энергозатрат A_V дискуссионный. С одной стороны, они полезны и неизбежны, поскольку без предварительного деформирования частицы не могут быть разрушены. С другой стороны, эти затраты непроизводительны, поскольку напрямую не идут на образование новых поверхностей. Можно представить измельчитель, в котором скорости удара снизились по какой-то причине, например, в 4 раза. При этом затраты A_V останутся, а A_S — нет, поскольку материал не будет разрушаться.

Далее будет показано, что энергозатратами A_V на деформирование частиц можно управлять с помощью, например, числа ударов, необходимых для разрушения зерна. В связи с этим условно отнесем их к непроизводительным затратам.

Поскольку полезны лишь энергозатраты на образование новых поверхностей, коэффициент полезного действия (КПД) рабочего процесса измельчителя определяется выражением

$$\eta = \frac{A_S}{A_V + A_S + A_0} \quad (2.3)$$

Измельчение зерна ударом можно определить как процесс образования новых поверхностей, суммарная площадь которых у измельченного продукта существенно выше. Поэтому в научных исследованиях широко используется понятие *степени измельчения* λ , определяемое как отношение суммарной поверхности частиц продукта после измельчения S_k к суммарной поверхности S_n частиц исходного продукта

$$\lambda = \frac{S_k}{S_n}. \quad (2.4)$$

При измельчении зернопродуктов, в зависимости от назначения помола, λ составляет до 20 (комбикормовое производство) и даже до 50 (мукомольное производство).

Дополнительно образованная в результате измельчения поверхность составляет

$$\Delta S = S_k - S_n = S_n(\lambda - 1). \quad (2.5)$$

Практическое определение площадей поверхности частиц производится методом ситового анализа при помощи лабораторного рассева. В результате просеивания отобранного образца продукта получают классы частиц, отличающихся крупностью. Суммарную поверхность частиц (приближенно считая их форму кубической) всего образца рассчитывают по следующей формуле:

$$S = 6 \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{\rho d_i},$$

где M_i — масса i -го класса частиц; ρ — плотность материала частиц.

Поскольку измельчение является очень энергоемким процессом, ученые давно пытаются выявить закономерности и связи затрат энергии со степенью измельчения, конструктивными параметрами измельчающей машины и технологическими свойствами зерна. Исходной в таких исследованиях обычно берется гипотеза академика П.А. Ребиндера (1928 г.), согласно которой затраты энергии A непосредственно на измельчение составляют

$$A = A_V + A_S = K'_V \Delta V + K_S \Delta S.$$

Здесь K'_V , K_S — коэффициенты пропорциональности; ΔV — объем деформированной части тела.

Рис. 2.6 поясняет некоторые моменты гипотезы Ребиндера. Поскольку деформированный объем ΔV пропорционален всему объему V тела, т. е. $\Delta V = K'_V V$, окончательно имеем

$$A = A_V + A_S = K_V V + K_S \Delta S, \quad (2.6)$$

где $K_V = K'_V K''_V$.

Хотя профессор С.В. Мельников назвал выражение (2.6) основным законом измельчения, оно долго существовало в виде гипотезы, которую трудно было проверить, а также невозможно было использовать в виде рабочей формулы. Дело в том, что раздельно и напрямую измерить составляющие A_V и A_S и подтвердить зависимость (2.6) не представляется возможным. Ниже приводятся теория и результаты экспериментов по косвенному измерению этих составляющих.

Рассмотрим с классических позиций схему взаимодействия зерна при ударе с отражаемой поверхностью (рис. 2.7). Такая схема соударения характерна для ударно-центробежных измельчителей, а также при ударе зерна о деку в молотковых дробилках. В последних удар молотка по зерновке также можно моделировать подобной расчетной схемой (обращенный удар), учитывая, что масса молотка намного больше массы зерновки.

Этот анализ, с одной стороны, позволит дать математическое описание рабочего процесса ударных измельчителей, а с другой стороны — выработать лабораторную методику раздельного определения составляющих A_V и A_S .

Итак, пусть тело определенной массы m , двигаясь с начальной скоростью v , ударяется о неподвижную гладкую поверхность под некоторым углом α к нормали n . Далее возможны два варианта развития явлений.

1. В ходе удара тело (в нашем случае — зерновка) не разрушается и отражается от поверхности с определенной скоростью v_* ,

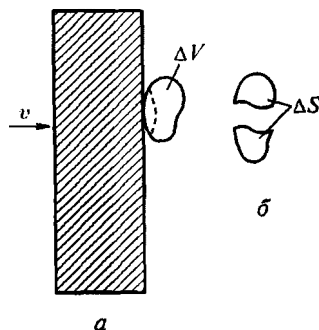


Рис. 2.6. Стадии разрушения единичной зерновки:

a — деформирование; *б* — собственно разрушение

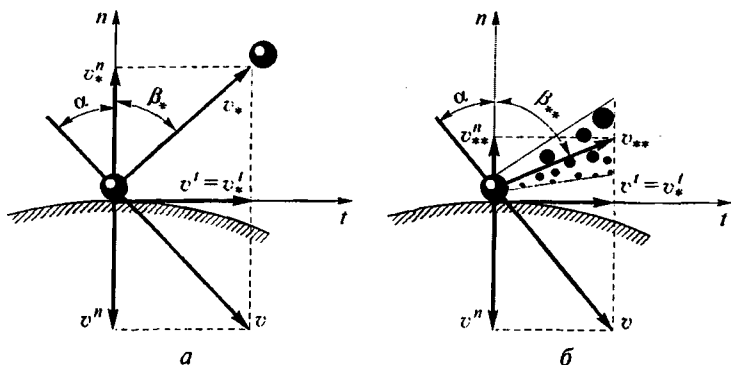


Рис. 2.7. Векторная диаграмма скоростей тела при ударе:

a — без разрушения тела; b — с разрушением тела

направление которой определяется углом β_* (рис. 2.7, a). Это происходит при условии, что скорость прямого удара v'' меньше критической скорости $v_{кр}$, при которой происходит разрушение.

2. При ударе происходит разрушение тела, и полученные частицы со скоростью v^{**} отражаются от поверхности под углом β_{**} к нормали (рис. 2.7, b).

Рассмотрим эти случаи подробнее.

Удар без разрушения тела. Удар без разрушения тела рассматривался еще И. Ньютоном, и в настоящее время он хорошо изучен. Используя обозначения, приведенные на рис. 2.7, a , представим основные результаты данного случая:

$$v''_* = R_* v'';$$

$$v'_t = v'_t;$$

$$\operatorname{tg} \beta_* = \frac{1}{R_*} \operatorname{tg} \alpha,$$

где v'_t , v'_t — проекции скоростей тела на касательную к месту контакта — t до и после удара; v'' , v''_* — проекции скоростей тела на нормаль n до и после удара; R_* — коэффициент восстановления скорости при ударе.

Составим энергетические соотношения при ударе без разрушения. Поскольку в этом случае нет образования новых поверх-

ностей, потеря кинетической энергии обусловлена деформированием тела. Поэтому энергетический баланс ударного процесса применительно к единичной зерновке можно представить в следующем виде:

$$\frac{mv^2}{2} = A_V + \frac{mv_*^2}{2}. \quad (2.7)$$

Учитывая, что $v_* = R_* v$, из этого выражения найдем:

$$A_V = \frac{mv}{2} (1 - R_*^2). \quad (2.8)$$

И, учитывая, что $A_V = K_V V$, определим K_V :

$$K_V = \frac{1}{V} \cdot \frac{mv^2}{2} (1 - R_*^2) = \frac{\rho v^2}{2} (1 - R_*^2), \quad (2.9)$$

где $\rho = m/V$ — плотность зерновки.

Таким образом, проведя специально поставленные лабораторные опыты с отдельными зерновками по определению R_* , по полученным данным можно подсчитать значения A_V и K_V .

Удар с разрушением ударяющегося тела. Энергетический баланс удара в этом случае может быть записан в следующем виде:

$$\frac{mv^2}{2} = A_V + A_S + \frac{mv_{**}^2}{2}, \quad (2.10)$$

где v_{**} — скорость отлета образовавшихся при ударе частиц.

Если ввести понятие R_{**} — коэффициента восстановления скорости образовавшихся при ударе частиц, — то, учитывая выражения (2.6) и (2.7), получим следующие формулы:

$$A_S = \frac{mv^2}{2} (R_*^2 - R_{**}^2); \quad (2.11)$$

$$K_S = \frac{1}{\Delta S} \cdot \frac{mv^2}{2} (R_*^2 - R_{**}^2). \quad (2.12)$$

Учитывая, что вновь образовавшаяся поверхность связана со степенью измельчения зависимостью (2.5), выражение (2.12) можно переписать в другом виде:

$$K_S = \frac{1}{S_n(\lambda - 1)} \cdot \frac{mv^2}{2} (R_*^2 - R_{**}^2). \quad (2.13)$$

Объединяя выражения (2.8) и (2.11), получим формулу для прогнозирования работы на измельчение зерна единичным ударом:

$$A = \frac{mv^2}{2} (1 - R_{**}^2). \quad (2.14)$$

Подсчитаем по этой формуле затраты энергии на измельчение 1 кг ячменя (средний размол). Для ячменя $v_{\text{разр}} = 130$ м/с, при этой скорости $R_{**} = 0,1$, тогда

$$A = \frac{1 \cdot 130^2}{2} (1 - 0,1^2) = 8,37 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}},$$

что составляет примерно 2,3 (кВт · ч)/т. Однако в настоящее время лучшие образцы измельчителей зерна ударного действия имеют удельную энергоемкость не менее 5,0...5,5 (кВт · ч)/т. Это значит, что около половины энергозатрат имеют непроизводительный характер и связаны с генерированием сопутствующего воздушного потока, трением частиц материала друг о друга и рабочие органы (что повышает нагрев тех и других), неоптимальным числом ударов для разрушения и т. д. (составляющая A_0 и часть составляющей A_V в формуле (2.2)).

КПД процесса измельчения можно оценить по формуле

$$\eta = \frac{A_S}{A} = \frac{R_*^2 - R_{**}^2}{1 - R_{**}^2}. \quad (2.15)$$

Проанализируем полученные результаты. Поскольку работа на образование новых поверхностей, или полезная работа A_S , является величиной положительной, из формулы (2.11) следует, что $R_* > R_{**}$, т. е. скорость отражения образовавшихся в результате удара частиц всегда меньше, а угол отражения больше, чем у неразрушенного тела. Эти явления нужно учитывать при создании измельчающих машин ударного действия.

В выражениях (2.9) и (2.13) характеристиками измельчаемого материала являются коэффициенты восстановления скорости целыми зернами R_* и образовавшимися при ударе частицами R_{**} .

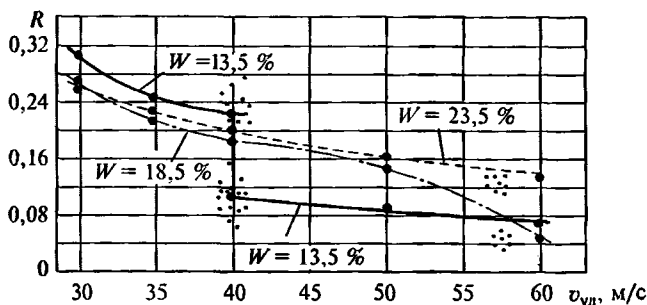


Рис. 2.8. Зависимость коэффициента восстановления R от скорости удара $v_{уд}$ и влажности зерна W для пшеницы

Следовательно, проводя испытания с такими скоростями удара, при которых часть зерновок разрушается, а другая — нет, и определив коэффициенты восстановления скорости R_* и R_{**} , можно достаточно точно подсчитать значения работ A_Y и A_S , а также значения коэффициентов пропорциональности K_Y и K_S , входящих в основной закон измельчения (2.6).

Такие эксперименты в Алтайском ГАУ на специально сконструированном динамическом нагружателе зерна провел А.А. Смышляев. На рис. 2.8 в качестве примера даны полученные зависимости $K = f(v)$ для пшеницы при ее влажности $W = 13,5; 18,5$ и $23,5\%$.

Проведенный анализ показал следующее. С увеличением скорости удара значения коэффициентов восстановления R_* и R_{**} снижаются. Разрыв зависимости $R = f(v)$ — на графике это изображается ступенькой — в физическом смысле является порогом, после которого наступает разрушение зерна. Это подтверждает правомерность введения R_* и R_{**} , различающихся своими значениями. Для зерна пшеницы влажностью $W = 13,5\%$ о коэффициенте R_* есть смысл говорить при скоростях удара до 40 м/с. При больших скоростях оправдано введение R_{**} .

В то же время для пшеницы влажностью 18,5 и 23,5 % отмеченной разрывной характеристики не получено. Это говорит о доминировании при таких влажностях пластических свойств и неэффективности разрушения зерна ударом.

Значения коэффициентов пропорциональности, входящих в состав уравнения П.А. Ребиндера (2.6), при варьировании скоро-

сти ударного нагружения для ячменя в интервале $v = 45 \dots 95$ м/с составляют $K_V = (990 \dots 5200) \cdot 10^3$ Дж/м³, $K_S = 230 \dots 340$ Дж/м²; для пшеницы — при $v = 30 \dots 60$ м/с в пределах: $K_V = (480 \dots 1580) \cdot 10^3$ Дж/м³, $K_S = 50 \dots 75$ Дж/м² при равновесной влажности 12...14 %.

■ 2.5. Влияние числа ударов, необходимых для разрушения зерна, на энергетику процесса измельчения

Проведенный ранее анализ исходил из разрушения каждой зерновки за один удар. В реальной измельчающей машине разрушение достигается за несколько ударов, а в молотковых дробилках — даже за 30–50 ударов. В связи с этим актуальна задача выбора оптимального числа ударных воздействий на зерно исходя из минимума энергозатрат.

Рассмотрим энергетический баланс измельчения одной зерновки по тому же закону Ребиндера (2.6):

$$A = A_V + A_S.$$

Работу A_V представим как часть максимальной потенциальной энергии $U_{\max}$ упругой деформации зерновки, запасенной во время удара:

$$A_V = \chi U_{\max},$$

где χ — коэффициент рассеяния энергии зерновкой.

Максимальная потенциальная энергия упругой деформации, запасенная в теле объемом V , как известно из теории упругости, равна

$$U_{\max} = \frac{\sigma^2 V}{2E},$$

где σ — напряжение в зерновке; E — модуль упругости.

Таким образом, при единичном ударе, достаточном для разрушения зерновки, выражение Ребиндера можно записать в следующем виде:

$$A = \chi \frac{\sigma^2 V}{2E} + A_S, \quad (2.16)$$

где σ_* — критическое (достаточное для разрушения) напряжение при одиночном ударе.

Применяя пониженные напряжения, зерновку тоже можно измельчить, но для этого приходится применять несколько ударов. Встает вопрос оптимизации числа ударов исходя из энергетического критерия, т. е.:

$$A = n\chi \frac{\sigma_n^2 V}{2E} + A_S \rightarrow \min,$$

где n — число ударов; σ_n — напряжение, необходимое для разрушения зерновки за n ударов.

При измельчении зерновки несколькими ударами механизм разрушения подобен малоцикловой усталости, когда при относительно небольшом числе циклов (в нашем случае — ударов) нагружения образуются и растут трещины, обуславливающие разделение тела на части.

Очевидно, что в случае разрушения несколькими ударами допустимо применять пониженные напряжения, т. е. $\sigma_n < \sigma_*$. Можно заметить, что σ_n зависит от числа ударов n , т. е. $\sigma_n = f(n)$. Данную функцию можно представить в виде кривой Вёлера (рис. 2.9).

Математическая запись кривой Вёлера для нашего случая имеет вид:

$$\sigma_n = \sigma_f + (\sigma_* - \sigma_f) e^{-\frac{n-1}{n_*-1}},$$

где σ_f — предельное напряжение, при действии которого разрушения не происходит при любом числе ударов (предел выносливости); n_* — характерное число ударов, при котором снижающая часть напряжений $\sigma_* - \sigma_f$ уменьшается в e раз.

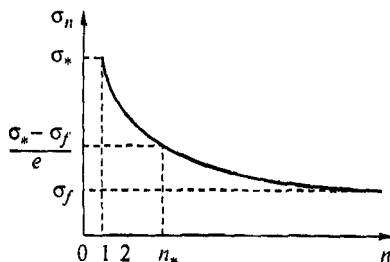


Рис. 2.9. Зависимость $\sigma_n = f(n)$ в виде кривой Вёлера

Подставляя это выражение в формулу (2.16), получим окончательное выражение работы, затрачиваемой на разрушение зерновки n ударами:

$$A = \frac{\chi V}{2E} n \left[\sigma_f + (\sigma_* - \sigma_f) e^{-\frac{n-1}{n_*-1}} \right]^2 + A_S. \quad (2.17)$$

Величины A_S и $\chi V/(2E)$ являются независимыми от числа ударов n и поэтому не влияют на характер изменения общих затрат энергии A . Это изменение будет полностью определяться функцией:

$$F(n) = n \left[\sigma_f + (\sigma - \sigma_f) e^{-\frac{n-1}{n_*-1}} \right]^2. \quad (2.18)$$

Функция $F(n)$ имеет сложный характер (рис. 2.10). В зависимости от значений σ_* и n_* она может иметь один или два локальных экстремума (в точках $F'(n) = 0$) или не иметь их вообще.

Для реальных условий ($\sigma_f = 1-2$) имеем экстремумы — минимумы при $n \approx 30-50$ ударов и наименьшее значение функции $A(n)$ на левой границе при $n = 1$. Это означает, что измельчители зерна нужно проектировать таким образом, чтобы процесс раз-

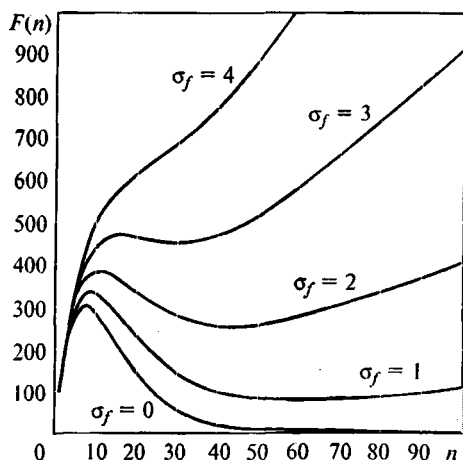


Рис. 2.10. Расчетный график функции $F(n)$ при $\sigma_* = 10$ МПа; $\sigma_f = 0-4$ МПа; $n_* = 15$

рушения происходил за 1–2 удара или 30–50 ударов. Игнорирование этих диапазонов ведет к увеличению энергоемкости процесса измельчения. Отсюда следует, что необходимо разрабатывать новый класс измельчителей, разрушающих зерно за 1–2 удара. Машины с 30–50 ударами давно известны — это молотковые дробилки.

■ 2.6. Конструктивные особенности измельчителей ударного действия

Молотковые дробилки выпускаются различными сериями с производительностью от 0,1 до 5,0 т/ч. Рассмотрим конструкции наиболее известных и проверенных практикой молотковых дробилок.

Универсальная дробилка КДУ-2 «Украинка» (рис. 2.11) состоит из дробильного и режущего аппаратов с питающим 13 и

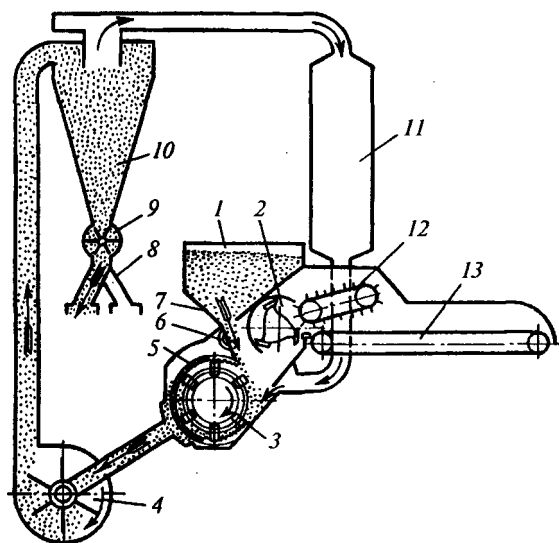


Рис. 2.11. Технологическая схема дробилки КДУ-2:

1 — загрузочный бункер; 2 — ножевой барабан; 3 — молотки, 4 — вентилятор; 5 — решетка, 6 — магнитный сепаратор; 7 — заслонка; 8 — раструб мешкодержателя; 9 — шлюзовый затвор; 10 — циклон; 11 — фильтрующий рукав; 12, 13 — прессующий и питающий транспортеры

прессующим 12 транспортерами, загрузочного бункера 1, вентилятора 4, циклона 10 со шлюзовым затвором 9 и пневмопроводами, рамы, электродвигателя и системы управления.

В состав дробильного аппарата входит камера, включающая решета, деку и молотковый барабан. Над дробильной камерой установлен приемный бункер для зерна, оборудованный магнитным сепаратором и поворотной заслонкой с рукояткой для регулировки загрузки дробилки.

Измельчающий аппарат состоит из режущего барабана 2, который имеет три спиральных ножа, укрепленных болтами на двух фигурных дисках, противорежущей пластины и двух транспортеров.

Рабочий процесс дробилки КДУ-2 может быть организован по трем схемам настройки: измельчение сыпучих зерновых кормов; измельчение кукурузных початков и грубых кормов (сено, солома); измельчение сочных кормов (трава, силос, корнеплоды).

Для измельчения зерна в камеру дробилки вставляют решето и отключают режущий барабан, снимая с его шкива клиновые ремни. При измельчении грубых кормов шкив режущего барабана соединяют клиноременной передачей со шкивом электродвигателя. При измельчении сочных кормов из дробильной камеры вынимают решето, колено всасывающего трубопровода, соединяющего патрубок дробильной камеры с вентилятором, снимают и устанавливают вместо решет выбросную горловину и дефлектор. В этом случае пневмосистема разомкнута, и воздушный поток из дробильной камеры вместе с измельченным продуктом под большим давлением выходит через выбросную горловину.

Безрешетная дробилка ДБ-5 выпускается в двух исполнениях: ДБ-5-1 — самостоятельная машина, состоящая из дробилки, загрузочного и выгрузного шнеков и шкафа управления и ДБ-5-2, предназначенная для работы в поточных линиях комбикормовых предприятий; укомплектована только укороченным загрузочным шнеком.

Дробилка ДБ-5 состоит (рис. 2.12) из дробильной камеры 2, корпуса, бункера 13, разделительной камеры 10, рамы. На раме дробилки установлены основной электродвигатель привода и корпус с ротором, соединенным с двигателем втулочно-пальцевой муфтой. Основные сборочные единицы дробилки крепятся к корпусу.

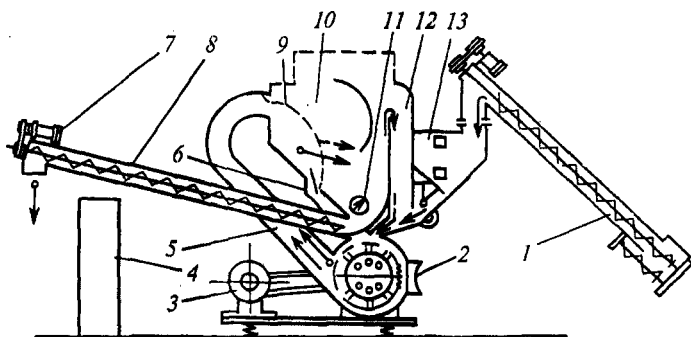


Рис. 2.12. Схема дробилки ДБ-5:

1 — загрузочный шнек; 2 — дробильная камера; 3 — электродвигатель; 4 — электрошкаф и пульт управления; 5 — трубопровод; 6 — возвратный пневмопровод; 7 — двигатель выгрузного шнека; 8 — выгрузной шнек; 9 — сепарирующее решето; 10 — разделительная камера; 11 — шнек дробилки, 12 — обратный канал; 13 — зерновой бункер

Ротор установлен в корпусе на подшипниках и состоит из вала с набором дисков и шарнирно качающихся на осях молотков. Диски и распорные втулки на валу удерживаются гайкой. Расстояние между молотками на осях устанавливают с помощью распорных втулок.

В горловинах корпуса расположены разделительная камера и кормопроводы. Для обслуживания камеры предусмотрена откидная крышка.

Деки установлены на внутренней цилиндрической поверхности корпуса, опираются на секторы и прижимаются к ним болтами. Положение дек относительно дисков ротора регулируют изменением положения секторов с помощью эксцентриков.

Для предотвращения случайного включения дробилки при открытой крышке на корпусе установлен конечный выключатель. В бункере предусмотрены загрузочная и смотровая горловины; в нижней его части установлен привод заслонки, а на наклонной стенке — батарея магнитов для улавливания металлических примесей. По вертикали в бункере расположены датчики нижнего и верхнего уровня зерна, посредством которых включается и отключается загрузочный шнек.

Степень загрузки дробилки регулируют поворотом заслонки как от привода, так и вручную рычагом. При ручном управлении контроль за загрузкой ведут по показаниям амперметра. При установленном режиме рычаги фиксируют.

Разделительная камера служит емкостью, в которой измельченный продукт разделяется на крупную и мелкую фракции. Перегородки в камере образуют каналы: один для возврата воздуха в дробильную камеру и другой для возврата крупной фракции на доизмельчение.

Крупность помола регулируют поворотом заслонки разделительной камеры и сменой сепаратора. Сепаратор устанавливают в зависимости от вида измельченного зерна: для овса — с отверстиями диаметром 16 мм, для других культур — диаметром 8 мм.

На верхней части камеры крепится тканевый фильтр, предназначенный для частичного сброса циркулирующего в дробилке воздуха. В нижней части камеры установлен шнек для выгрузки из нее готового продукта.

Шкаф управления комплектуется амперметром контроля загрузки основного двигателя, аппаратурой управления приводами и автоматическим регулятором загрузки дробилки.

Электрическая схема дробилки предусматривает два режима работы: наладочный (с независимым включением и отключением приборов) и рабочий (с включением и управлением приборов в соответствии с технологическим процессом).

В АГАУ разработана **молотковая дробилка с вертикально расположенной осью барабана** консольного типа. Она предназначена для измельчения зерновых культур и выполнена в виде устройства, представляющего собой круглый конус 1 с рифлями 2 на внутренней поверхности (рис. 2.13). Внутри конуса располагается ротор 3 с вертикальной осью вращения 4. Стандартные молотки 5 шарнирно закреплены на осях подвеса 6. Ротор приводится во вращение электродвигателем 7 через гибкую муфту 8. Дробилка имеет загрузочное 9 и выгрузное 10 окна. Все узлы дробилки закреплены на раме 11. Решет дробилка не имеет.

При забивании зерном дробилка легко освобождается от него («отряхивается») без какой-либо разборки. Дробилка практически не пылит, не боится попадания вместе с зерном камней и других металлических и неметаллических предметов, которые выводятся

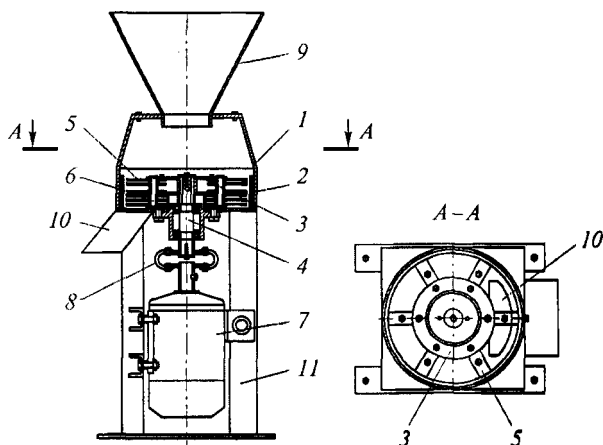


Рис. 2.13. Дробилка с вертикально расположенной осью барабана:

1 — конус; *2* — рифли; *3* — ротор; *4* — ось вращения; *5* — молотки; *6* — ось; *7* — электродвигатель; *8* — муфта; *9* — загрузочное окно; *10* — выгрузочное окно; *11* — рама

через выгрузное окно *10*. Дробилка реверсивная, что позволяет использовать обе рабочие стороны молотка без его переустановки путем смены фаз напряжения, питающего электродвигатель. Для использования двух других рабочих сторон молотки необходимо установить на другое отверстие. Для этого предусмотрен легкий и удобный демонтаж и монтаж ротора.

Степень измельчения регулируется подачей исходного материала. Обеспечивается более равномерное дробление зерна при меньшем выходе мучнистой фракции, чем в обычных дробилках. По сравнению с обычными молотковыми дробилками характеризуется в 1,5 раза меньшей металлоемкостью и энергоемкостью, повышенной надежностью. Производительность этой дробилки составляет 1,5...2,0 т/ч, что удовлетворяет потребности подавляющего числа коллективных и фермерских хозяйств.

Ударно-центробежная дробилка с двумя встречно-вращающимися коаксиально расположенными роторами разработана также в АГАУ. Дробилка состоит из рамы *1* в виде двух цельнометаллических стоек и опорной плиты, рабочих органов — встречно вращающихся роторов *2* и *3* с тремя рядами плоских измельчающих элементов *10*, *11*, *12* и цилиндрического кожуха

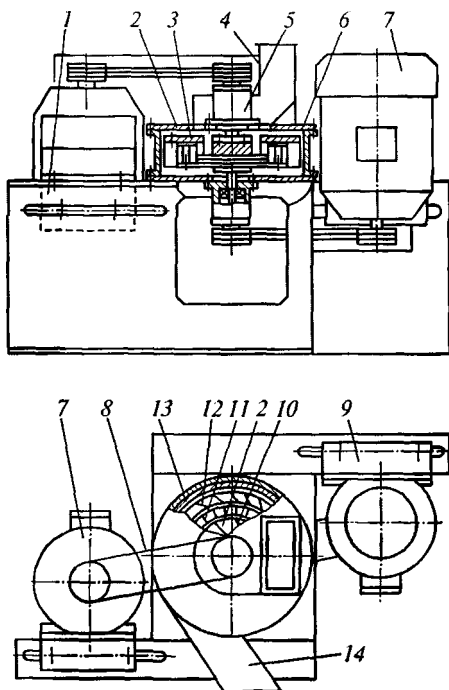


Рис. 2.14. Ударно-центробежная дробилка:

1 — рама; 2, 3 — роторы; 4 — приемный бункер; 5 — опора; 6 — крышка дробильной камеры; 7 — электродвигатель; 8 — клиноременная передача; 9 — опорная плита; 10, 11, 12 — измельчающие элементы; 13 — дробильная камера; 14 — выгрузный патрубок

дробильной камеры 13 с тангенциально установленным выгрузным патрубком 14 (рис. 2.14). Крышка 6 дробильной камеры крепится к корпусу камеры болтами и является основанием для приемного бункера 4. В основании приемного бункера на крышке выполнено окно в виде четырех сегментных пазов для подачи зерна в камеру дробления.

Концентрично установленные ряды измельчающих элементов 11 и 12 ротора 2 расположены таким образом, что в кольцевое пространство между ними входит ряд измельчающих элементов 11 ротора 3, образуя при этом две ступени ударного измельчения. Измельчающие элементы выполнены из износостойкой стали 65Г. Роторы 2 и 3 крепятся, соответственно, на ступицах

валов верхней и нижней опор 5. Одна из опор установлена на крышке камеры дробления, другая — на опорной плите рамы 1. Измельчающие элементы 11 и 12 установлены в пазы, выполненные на роторах, и крепятся при помощи резьбового соединения, а элементы 10 первого ряда выполнены совместно с диском, который присоединен к ротору 2 болтовым соединением.

Привод дробилки осуществляется от двух асинхронных электродвигателей 7 через клиноременную передачу 8. Электродвигатели установлены на опорных плитах 9, которые крепятся в пазах рамы и позволяют осуществлять механическое натяжение ремней.

Рабочий процесс дробилки протекает следующим образом. Предварительно подготовленный к измельчению материал подается в приемный бункер 4, самотеком через сегментные пазы попадает в камеру дробления (центр ротора 2), захватывается измельчающими элементами 10 первого ряда и под действием центробежных сил разгоняется. Вылетевший с первого ряда элементов материал соударяется с плоскостью измельчающих элементов 11 встречновращающегося ротора 3. Соударение частиц материала с плоскими измельчающими элементами ротора вызывает в них значительные нормальные и касательные напряжения, что приводит к разрушению материала. Далее предварительно измельченный материал разгоняется вдоль элементов 11 и выбрасывается в направлении поверхностей измельчающих элементов 12 встречно-вращающегося ротора 2, повторно подвергается ударной нагрузке, после чего за счет центробежных сил и воздушного потока выводится через выгрузной патрубок в герметичный бункер или циклон. Дробилка может работать в режиме использования воздушного потока для транспортировки материала с применением в схеме измельчения циклона, а также возможно запираение воздушного потока и использование только центробежных сил при выгрузке готового продукта в герметичный бункер со шлюзовым затвором.

Модуль помола регулируется за счет изменения угловой частоты вращения роторов посредством сменных шкивов.

Данная дробилка разработана двух размеров с производительностью 1,5...1,8 и 4...5 т/ч. Мощность приводного двигателя составляет соответственно 10 и 26 кВт. Максимальная частота вращения роторов достигает 2 940 мин⁻¹.

При разработке, испытаниях и сравнительной оценке измельчителей фуражного зерна в числе приоритетных используются два показателя:

- удельная энергоемкость $\mathcal{E}$ рабочего процесса измельчителя с учетом степени измельчения λ :

$$\mathcal{E} = \frac{N}{Q\lambda},$$

где N — мощность, потребная при работе измельчителя; Q — производительность, т/ч.

- удельная энергоемкость процесса измельчения:

$$\mathcal{E}_{\text{изм}} = \frac{N_{\text{изм}}}{Q\lambda}.$$

Здесь $N_{\text{изм}}$ — мощность, расходуемая на измельчение (при этом мощность холостого хода не учитывается).

■ 2.7. Области применения и основные параметры вальцовых станков и плющилок

Рабочие органы вальцовых станков и плющилок во многом схожи, однако подготовка материала к измельчению и полученные продукты имеют существенные отличия.

Вальцовые станки предназначены для сухого измельчения зерна и получения круп и муки. Оптимальная влажность исходного материала — 15...16 %. Вальцовые станки могут заменять молотковые дробилки, однако дают часто переизмельченный продукт.

Вальцовые станки применяют в хозяйствах юга России (Краснодарский, Ставропольские края и т. д.), но возможно использование в других зонах страны.

Рабочие органы вальцового станка представляют собой два горизонтально расположенных цилиндрических вальца с рифленной или микрошероховатой поверхностью, вращающихся с разными скоростями навстречу друг другу (см. рис. 2.4). Продукт при этом затягивается в зазор между вальцами, испытывая сжатие, сдвиг и срез. Это в конечном счете и ведет к разрушению.

Величина зазора между вальцами изменяется от 0,03 до 1,5 мм, благодаря чему можно регулировать параметр измельчения. Даже малое изменение зазора приводит к существенному изменению выходных характеристик процесса измельчения.

В процессе эксплуатации станка зазор приходится регулировать, поскольку сам валец изнашивается, а физико-механические свойства зерна изменяются от партии к партии.

Окружные скорости валцов неодинаковы. Быстровращающийся валец обгоняет частицу в зоне измельчения и обрабатывает ее своими рифлями, а частица, обгоняя медленно вращающийся валец, измельчается о его рифли. Установлено, что оптимальной, с точки зрения качества измельчения и энергетики процесса, является скорость быстро вращающегося вальца 5...6 м/с.

Отношение окружных скоростей валцов — соотношение между сдвигающими и сжимающими усилиями в вальцовой паре:

$$K = v_b / v_m,$$

где v_b , v_m — скорости быстро- и медленно вращающихся валцов.

Установлено, что для рифленых валцов оптимальным соотношением является $K = 2,5$; для микрошероховатых — $K = 1,25$.

Характер рабочей поверхности определяется назначением системы. В системах крупного помола применяются рифленые валцы, на размольных системах рекомендуется применять микрошероховатые поверхности.

Основными параметрами рабочей поверхности рифленых валцов являются (рис. 2.15): форма поперечного сечения рифлей, взаимное расположение граней рифлей, величина уклона рифлей к образующей вальца, число рифлей на единицу длины окружности вальца (на 1 см).

Каждая рифля имеет две грани. Грань меньшей площади принято называть гранью острия, большей — гранью спинки. Грани образуют между собой *угол заострения* γ . Если из вершины рифли опустить перпендикуляр на ось вальца, то угол γ разделится на два неравных угла: α — угол острия (30...40°) и β — угол спинки (60...70°).

Расстояние h между окружностью впадин и окружностью выступов, замеренное по радиусу вальца, называют *высотой рифли*, а расстояние t по окружности между двумя вершинами рифлей — *шагом*.

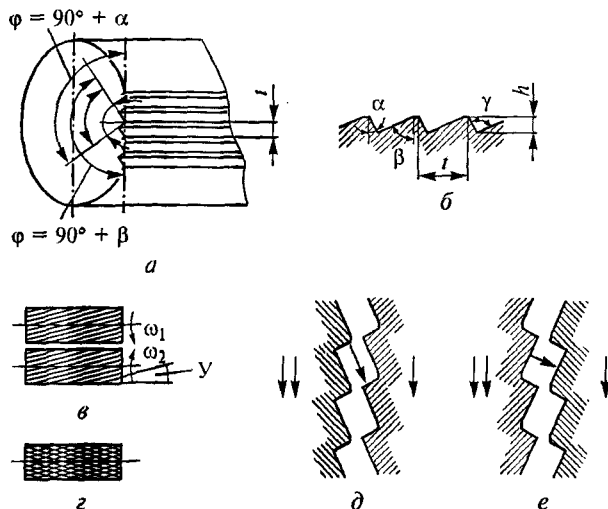


Рис. 2.15. Профиль и расположение рифлей вальцов:

а, б — поперечное сечение рифлей вальцов; *в* — уклон рифлей; *г* — пересечение рифлей парноработающих вальцов; *д, е* — взаиморасположение рифлей

Рифли располагают под углом γ к образующей цилиндра, что смягчает работу вальцов. В противном случае ощущались бы микроудары при набегании на материал каждой рифли. При вращении вальцов навстречу друг другу рифли пересекаются по образующей в постоянном количестве точек и под углом, равным двойному углу наклона рифлей.

Величину отклонения линии рифли от образующей цилиндра (уклон) принято измерять в процентах. Для кормовых помолов зерновых культур рекомендуется угол наклона $\gamma = 6 \dots 10\%$.

Рифли на парноработающих вальцах располагают обычно двумя способами: острие по острию и тупое по тупому. При расположении рифлей острием по острию измельчаемая частица продукта поддерживается режущей гранью медленно вращающегося вальца и измельчается режущей гранью быстро вращающегося вальца. В этом случае частицы разрушаются в результате среза и скалывания, что способствует образованию крупных фракций крупок. При расположении рифлей тупое по тупому частицы разрушаются в более мелкие фракции. То или иное взаимное расположение рифлей парно работающих вальцов дости-

гается соответствующим их разворотом при укладке в вальцовый станок. Очевидно, что для приготовления кормов необходимо применять первый вариант расположения рифлей. *Плотность нарезки* рифлей R составляет обычно 4–12. Чем больше R , тем мельче по гранулометрическому составу получается продукт.

Плющилки содержат вальцы одинаковых диаметров, которые вращаются с одинаковой окружной скоростью и подвергают зерно деформации чистого сжатия. Превращение зерна в хлопья увеличивает его поверхность, что ведет к повышению усвояемости корма. Однако этим не ограничиваются достоинства плющения.

По существу следует рассматривать две технологии плющения.

Первая технология предполагает влаготепловую обработку зерна, приводящую к желатинизации крахмала. При этом предполагается гидротермическая обработка исходного сухого зерна водой или паром, при которой его влажность повышается.

Режимы и эффекты влаготепловой обработки приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Степень желатинизации крахмала при плющении в зависимости от вида гидротермической обработки (по Г.М. Кукте)

Способ обработки	Давление, МПа	Температура, °С	Экспозиция, мин.	Степень желатинизации, %
Замачивание водой	—	15–25	1440	до 20
Обработка паром	0,03–0,06 0,3–0,5	90–95 110–125	15–20 3–5	40–45 50–60

С увеличением влажности зерна до 25...30 % усилие на его раздавление уменьшается в несколько раз. Однако при этом возникает нежелательное явление, связанное с прилипанием расплющенного зерна к рабочей поверхности валков. Последние приходится оснащать чистиками. При влажности зерна более 24...26 % на нем оказывается много поверхностной влаги, что ведет к уменьшению коэффициентов трения и ухудшению захвата зерна валками. Влажное зерно после сжатия способно к некоторому восстановлению толщины (явление обратной ползучести). Хлопья запаренного ячменя, например, увеличивают свою тол-

щину в 2,0–2,1 раза (по отношению к зазору между вальцами). Толщина хлопьев после охлаждения должна составлять 0,8...1,0 мм.

По различным данным, по сравнению с дроблением на молотковых дробилках, плющение позволяет уменьшить удельный расход зерна в рационах на 6...12 %. Не следует, однако, забывать, что повышение эффективности использования корма достигается в этом случае возрастанием затрат тепловой и механической энергии на его переработку.

Вторая технология использования плющения обусловлена заготовкой консервированного плющенного зерна, убранного в период молочно-восковой спелости (влажность 30...35 %).

Консервирование плющенного зерна имеет следующие достоинства по сравнению с другими способами заготовки кормов:

- питательная ценность зерновых в период молочно-восковой спелости наивысшая, поэтому с одного гектара площади заготавливают на 10 % больше питательных веществ;
- урожай собирают на 2–3 недели раньше обычных сроков, что важно для регионов с неустойчивым климатом;
- исключается сушка зерна и его предварительная очистка.

Плющение зерна может осуществляться как прямо в поле, так и возле хранилища или внутри него. Обработка консервантами производится прямо в хранилище. Хранение обработанного зерна осуществляется в герметичных траншеях с облицовкой стен и верха полиэтиленовой пленкой. Полученный таким способом корм готов к употреблению, имеет высокую питательную ценность, хорошо поедается и усваивается всеми животными, в том числе молодняком. Эффект от его использования примерно такой же, как при использовании пророщенного плющенного зерна.

Указанную технологию активно продвигает в России финская фирма MURSKA. Отечественные разработки оборудования имеются в опытно-конструкторском бюро СибНИПТИЖ.

Основными конструктивными параметрами плющилок являются: диаметр и длина вальцов, окружная скорость вальцов, давление пружин на валок.

Диаметр вальцов определяется размером частиц B продукта, величиной установленного зазора между вальцами B_1 и величиной угла трения φ продукта по рабочей поверхности вальцов (рис. 2.16).

Значение радиуса вальцов можно определить следующим образом. Допустим, есть два гладких вальца радиусом R (рис. 2.16, а).

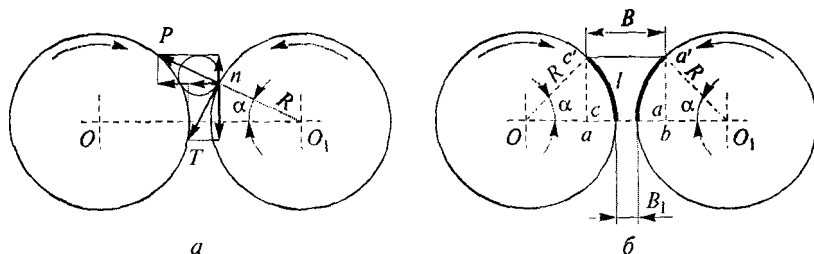


Рис. 2.16. К анализу рабочего процесса валцов:

a — силы, действующие в зазоре валцов; *б* — схема для расчета

В момент вхождения в щель частица давит на валцы в точках соприкосновения *n* с силой *P*. Возникающая при этом сила трения $T = Pf$ направлена по касательной (на рисунке приведено разложение сил для одной половины частицы).

Разложим силы *P* и *T* на горизонтальные и вертикальные составляющие. Горизонтальные силы, действующие на правую и левые стороны частиц, взаимно уравниваются. Вертикальная составляющая силы трения направлена вниз. Она затягивает частицу продукта в рабочее пространство и равна

$$T \cos \alpha = fP \cos \alpha,$$

где α — угол захвата, составленный направлением реакции силы *P* и линией центров *OO*₁.

Вертикальная же составляющая силы *P* направлена вверх и выталкивает частицу из рабочего пространства. Она равна $P \sin \alpha$.

Очевидно, что для захвата частицы валцами необходимо выполнение условия

$$2fP \cos \alpha > 2P \sin \alpha,$$

откуда $f \cos \alpha > \sin \alpha$, или $f > \tan \alpha$.

Поскольку $f = \tan \varphi$, то можно записать

$$\tan \varphi > \tan \alpha. \quad (2.19)$$

Следовательно, для обеспечения захватывания продукта поверхностями валцов необходимо, чтобы угол α , называемый углом захвата, был меньше угла трения φ между частицей и валцом.

Зависимость между размерами частиц продукта, радиусом вальцов и углом трения может быть определена следующим образом (рис. 2.16, б). Обозначим начальный размер частицы продукта через B , а зазор между вальцами B_1 . Тогда можно написать, что

$$OO_1 = R \cos \alpha + R \cos \alpha + B = R + R + B_1,$$

откуда $2R \cos \alpha + B = 2R + B_1$.

Из последнего уравнения находим радиус вальцов:

$$R = \frac{B - B_1}{2(1 - \cos \alpha)}.$$

Однако, поскольку угол α не должен превышать угла трения φ , т. е. в пределе будет $\alpha = \varphi$, минимально необходимый диаметр вальцов составит:

$$D_{\min} = \frac{B - B_1}{1 - \cos \varphi}. \quad (2.20)$$

Из формулы (2.20) следует существование прямой зависимости между $D_{\min}$ вальцов и начальным размером частиц продукта, т. е. чем больше B , тем больше должен быть $D_{\min}$ вальцов. Влияние же зазора между вальцами B_1 и угла трения φ частиц продукта обратное, т. е. чем больше эти величины, тем меньше может быть радиус вальцов.

Остальные конструктивные параметры вальцов теоретически определить трудно. В результате экспериментальных исследований, проведенных учеными Украины, были рекомендованы такие значения для серийно выпускаемой плющилки ПЗ-3 производительностью 3...5 т/ч:

- диаметр вальцов — 350...450 мм;
- длина вальцов — 500...600 мм;
- окружная скорость вальцов — 8,0...8,5 м/с;
- давление пружин на валец — 42...50 кН.

■ 2.8. Оборудование для плющения зерна

В качестве примера рассмотрим устройство агрегата ПЗ-3А для приготовления хлопьев из зерна. Он предназначен для пере-

работки в хлопья различных видов фуражного зерна и зерносмесей путем гидротермической обработки и плющения. Влажность перерабатываемого зерна для злаковых культур составляет до 18 %, для кукурузы — до 25 %. Применяется в линиях переработки фуражного зерна кормоприготовительных цехов, может использоваться как отдельная зерноперерабатывающая машина на откормочных и молочных фермах, имеющих в качестве источников парообразования котлы типа Д-721 или КВ-300М.

Агрегат для приготовления хлопьев из зерна ПЗ-3А обеспечивает его влаготепловую обработку и плющение. В его состав входят: плющилка 4 (рис. 2.17), пропариватель 5, загрузочный 1 и выгрузной 8 шнеки, эжектор 3, шкаф управления и системы вентиляции. Плющилка состоит из рамы, неподвижного и подвижного валцов, механизмов перемещения и регулировки зазора между ними и механизма отсчета, показывающего зазор между валцами. Валцы приводятся во вращение индивидуальными электродвигателями через клиноременную передачу. Подвижный валец перемещается в рабочее положение поворотом рычага механизма перемещения.

Пропариватель предназначен для влаготепловой обработки зерна и состоит из дозатора, нижнего и верхнего корпусов, пред-

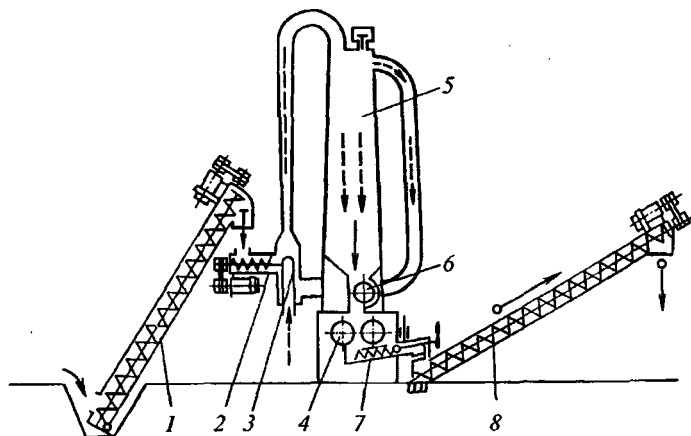


Рис. 2.17. Схема технологического процесса агрегата ПЗ-3А:

1 — загрузочный шнек; 2 — шнек эжектора; 3 — эжектор; 4 — плющилка; 5 — пропариватель; 6 — дозатор; 7 — шнек плющилки; 8 — шнек выгрузной

ставляющих собой емкость, соединенную болтами, эжектора, смесительной камеры и двух паропроводов для подачи пара в емкость пропаривателя и возврата отработанного пара в эжектор.

Технологический процесс протекает следующим образом. Зерно из завальной ямы шнеками загрузки 1 и 2 подается в эжектор 3, где его подхватывает струя пара и перемещает в пропариватель 5.

Обработанное зерно дозатором направляется на вальцы плющилки 4, а готовые хлопья выводятся выгрузными шнеками 7 и 8. Пропариватель работает при температуре пара 363...383 К и давлении 0,05...0,07 МПа. Расход пара составляет 350 кг/ч. Конечный продукт представляет собой хлопья влажностью 14...20 % и толщиной 0,77...1,2 мм. Время хранения продукта составляет не более 5...6 ч.

Для параметров пара, используемых на животноводческих фермах (0,04...0,06 МПа), экспозиция должна быть не менее 15 мин. Поэтому вместимость V пропаривателя для зерна следует согласовать с производительностью Q плющилок, ее можно определить соотношением:

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

где t — экспозиция обработки зерна паром в шахте плющилки;
 ρ — насыпная плотность зерна.

При малой экспозиции — 5...7 мин — агрегат работает как дробилка, поскольку желатинизации крахмала почти не происходит.

Агрегат ПЗ-3-11 предназначен для плющения влажного консервированного или поступающего от уборочных машин зерна основных фуражных культур. По устройству и принципу работы он аналогичен ПЗ-3А.

3. ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ГРУБЫХ И СОЧНЫХ КОРМОВ

■ 3.1. Зоотехнические требования

Грубые корма содержат не более 22 % влаги и 0,65 к. ед. в 1 кг сухого вещества. К грубым кормам относят сено, солому, отходы переработки зерновых, масличных, лубяных и других технических культур.

Значение грубых кормов в питании различных сельскохозяйственных животных неодинаково. Грубые корма наиболее полно используются жвачными животными. Это обусловлено особенностями строения их пищеварительных органов. В небольших дозах грубые корма дают также свиньям и птице. Они содержат большое количество труднопереваримой клетчатки (до 40 %), вследствие чего без предварительной подготовки плохо поедаются животными. Для повышения поедаемости их подвергают механической и тепловой обработке. Биологические и химические способы обработки грубых кормов позволяют повысить не только поедаемость, но также переваримость и питательность.

Сено хорошего качества коровам и овцам можно скармливать без подготовки, но механизация раздачи кормов требует его измельчения.

Солома, сено низкого качества и другие грубые корма подвергают измельчению с целью повышения поедаемости и создания условий, необходимых для осуществления последующих технологических операций.

Поедаемость соломы жвачными выше при условии ее расщепления вдоль волокон при длине частиц не менее 10...15 мм, т. е. при получении продукта мякинообразного вида. Более сильное измельчение соломы, в частности в муку, вредно, так как переваримость ее жвачными животными не увеличивается, а жирность молока снижается.

Измельченные грубые корма имеют удовлетворительную сыпучесть, их удобно загружать и выгружать из запарников, вести дальнейшую обработку, смешивать с другими компонентами.

При измельчении соломы и сена размер резки должен быть для крупного рогатого скота 40...50 мм, лошадей — 30...40 мм, овец — 20...30 мм. Более мелкую резку (6...10 мм) готовят, если в дальнейшем ее смешивают с сочными кормами. При измельчении грубостебельных кормов (полынь и др.) для каракульских овец длина частиц должна быть 3...9 мм.

При производстве травяной муки для свиней и птицы высушенную траву подвергают измельчению до размеров частиц около 1 мм.

В целях повышения эффективности использования питательных веществ грубых кормов соломенную или сennую резку смешивают с другими видами кормов (корнеплоды, силос, концентраты, кормовые дрожжи и др.).

К сочным кормам относят корнеплоды, картофель, зеленый корм, силос, плоды бахчевых культур, свежую капусту, водоросли. Корнеплоды и картофель подвергают мойке, резке и смешиванию. Корнеплоды рекомендуется скормливать коровам в цельном виде (кроме мелких), а свиньям и птице — в измельченном. Толщина резки корнеплодов при скормливании крупному рогатому скоту кормосмесей не должна превышать 10...15 мм, телятам — 5...10, свиньям — 5...10, птице — 3...4 мм.

Фактическая загрязненность корнеклубнеплодов может достигать 12...20 %, после мойки она не должна превышать 2 %.

Картофель скормливают крупному рогатому скоту сырым в измельченном виде, а свиньям — вареным в виде смеси с концентратами и травяной мукой. Вареный картофель перед скормливанием мнут на картофелемялке. Размеры неразрушенных частиц не должны превышать 10 мм, и число таких частиц допускается не более 5 % общей массы.

Во избежание порчи все корнеклубнеплоды требуется готовить непосредственно перед скормливанием (не ранее чем за 2 ч).

При приготовлении комбинированного силоса для свиней и птицы корнеплоды и картофель силосуют в смеси с измельченными зелеными кормами и травяной мукой. При этом картофель, как правило, предварительно варят и мнут. Если же его силосуют в сыром виде, то измельчают на частицы толщиной не более

5...7 мм. Для скармливания пороссятам корнеплоды и силос очень сильно измельчают — до получения пасты.

■ 3.2. Технологические свойства грубых и сочных кормов

К технологическим свойствам грубых и сочных кормов можно отнести влажность, размерные характеристики, коэффициенты трения, показатели сопротивления резанию. Численные значения этих показателей для грубых и сочных кормов существенно различаются, но важность данных технологических свойств в том и другом случае несомненна. Это обусловлено применением для грубых и сочных кормов одних и тех же рабочих органов для обработки. Некоторые физико-механические свойства стебельчатых кормов приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Физико-механические свойства стеблей растений (по Н.Е. Резнику)

Характеристика и вид корма	Диаметр стеблей на вы- соте среза, мм	Высота стеблей, м	Удельная работа резания, Дж/м ²	Плотность измельченной зеленой массы, кг/м ³	Угол естественного от- коса неуплотненной мас- сы, град.
Толстостебель- ные (кукуруза, подсолнечник)	15...50	1,0...5,0	5,9...23,6	350...475	55
Тонкостебельные	5...15	0,5...3,0	5,9...23,6	300...350	55
Травы	2...5	0,3...0,8	3,9...21,6	300...400	50

По показателям удельной работы резания имеются противоре-
чия в данных разных исследователей. Так С.В. Мельников ука-
зывает, что среднее значение удельной работы резания составля-
ет: для сена — 5,7, соломы — 3,8 и трав — 4,8 кДж/м². Это суще-
ственно меньше, чем по данным Н.Е. Резника. Скорее всего, эти
различия обусловлены применяемыми методиками определения
данного показателя.

Средние значения удельного сопротивления резанию сена колеблются в пределах 5,7...12,0 кН/м. Если сопротивление сена принять за 100 %, то сопротивление травы составляет 80...90 %, соломы — 55...60 %.

Скорость разрушения стебельных кормов ударом составляет 50...60 м/с.

Для расчета штифтовых рабочих органов измельчителей важен такой показатель, как угол излома, при котором стебель разрушается. Для сухих стеблей люцерны этот угол равен 15...21°.

Основные физико-механические свойства корнеплодов приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Основные физико-механические свойства корнеклубнеплодов (по В.Н. Синявскому)

Показатель	Вид корма			
	картофель	сахарная свекла	кормовая свекла	кормовая морковь
Диаметр или ширина, мм	55...100	60...130	160...180	40...60
Длина, мм	75...110	170...310	200...350	150...200
Объемная масса, кг/м ³	650...730	585...670	570...650	560...575
Модуль упругости, МПа	3,9...6,9	5,3...7,8	4,3...6,7	5,1...7,4
Предел прочности при сжатии сырого корма, МПа	1,18...1,96	2,4...2,6	1,9...2,3	1,4...1,9
Предел прочности при сжатии заваренного корма, МПа	0,043	0,14...0,24	0,12	0,39
Угол естественного откоса, град	25...27	33...38	35...40	35...40

Сопротивление резанию корнеплодов зависит от ряда факторов: физического состояния, сорта, размера, толщины стружки, угла заточки и установки ножа, состояния лезвия ножа.

Значение удельного сопротивления резанию колеблется в пределах 1,48...1,96 кН/м.

Корнеплоды, как исходные, так и измельченные, отличаются весьма большим коэффициентом трения. Например, коэффици-

ент трения покоя поверхности разреза этих кормов по дереву и жести составляет 1,0 и даже более (по дереву).

Корнеплоды всегда загрязнены землей, песком и разными посторонними примесями (камни, куски дерева, солома и т. д.). Степень загрязнения корнеплодов зависит от почвы и ее состояния, способа уборки и хранения, а также от сорта, формы и размеров клубней или корней. Степень загрязнения δ определяется опытным путем и представляет собой отношение массы загрязнений к массе корнеплодов до мойки:

$$\delta = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \%,$$

где m_1 — масса корнеплодов до мойки; m_2 — масса совершенно чистых корнеплодов (достигается путем ручной мойки с последующим обсушиванием).

■ 3.3. Рабочие органы измельчителей грубых и сочных кормов

Наибольшее применение при измельчении грубых кормов нашли следующие три типа измельчающих рабочих органов (рис. 3.1): ножевые, штифтовые, молотковые.

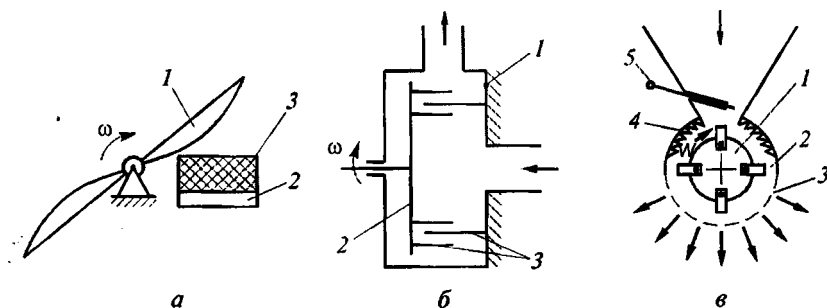


Рис. 3.1. Рабочие органы измельчителей:

а — ножевые (1 — нож; 2 — противорежущая пластина; 3 — измельчаемый материал); *б* — штифтовые (1 — неподвижный диск; 2 — подвижный диск; 3 — штифты); *в* — молотковые (1 — диск; 2 — молоток; 3 — решето; 4 — дека; 5 — регулирующая заслонка)

Достоинством **ножевых рабочих органов** является малый удельный расход энергии, возможность измельчать корма любой влажности. Этот тип рабочих органов применяется для измельчения грубых кормов, корнеплодов. Недостаток: резка получается с острыми краями, нет продольного расщепления стеблей.

Штифовые рабочие органы применяются для измельчения грубых кормов путем излома, разрыва, расщепления вдоль волокон. Их преимущество перед другими измельчителями состоит в том, что они измельчают стебли не только поперек, но и вдоль волокон. Корм в таком виде хорошо запаривается и охотно поедается животными. Недостатки: повышенная энергоемкость, неудовлетворительная работа на кормах влажностью более 20...25 %.

Молотковые рабочие органы являются универсальными — могут измельчать все виды кормов. Измельчение происходит очень сильное, что не всегда требуется. Тем не менее молотковые измельчители незаменимы при производстве травяной, сенной или соломенной муки, когда требуется получить размер частиц не более 1...3 мм.

Для приготовления *сочных кормов* используют корнеклубнемойки, корнерезки, измельчители корнеклубнеплодов и кормоприготовительные агрегаты. Отделение камней, частиц грязи от кормовой массы выполняют специальные устройства различного конструктивного исполнения. Наиболее эффективно этот процесс протекает в воде, где камни, имеющие удельную массу значительно большую, чем у корнеклубнеплодов, оседают на дно ванны, а продукт выводится из устройства.

Корнеклубнемойки по конструкции рабочих органов делятся на кулачковые, барабанные, дисковые и шнековые (рис. 3.2). Различают машины периодического и непрерывного действия, вода в них служит для удаления в осадок отдельных частиц грязи.

Корнерезки и измельчители корнеплодов (см. рис. 3.2) по принципу действия делятся на машины с режущими (рубящими) рабочими органами, ударного действия (штифовые или молотковые) и комбинированные (рубящие и ударные). Ножи при резке корнеклубнеплодов подвержены быстрому износу в результате абразивного воздействия земли и песка, находящихся на поверхности измельчаемого продукта.

Рабочими органами ударного действия служат жестко или шарнирно закрепленные штифты, молотки или фрезы. Они более

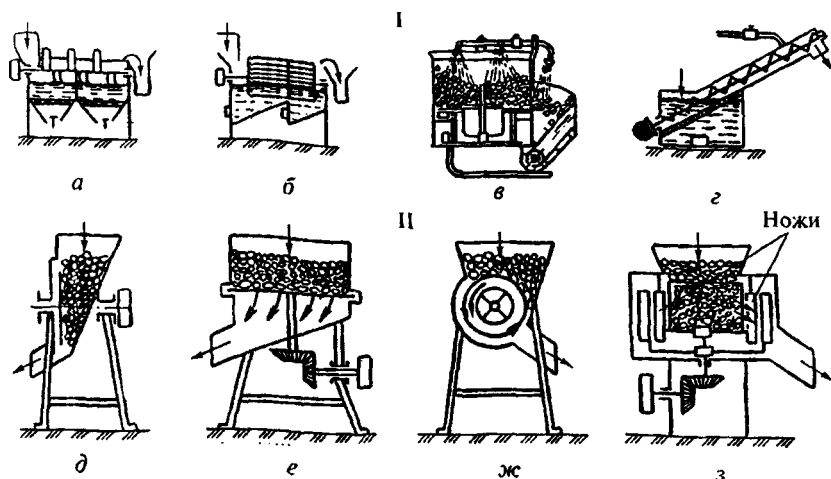


Рис. 3.2. Схемы корнеклубнемоек и корнерезок:

I — корнеклубнемойки: а — кулачковая; б — барабанная; в — дисковая; г — шнековая; II — корнерезки: д — дисковая; е — дисковая с вертикальным валом; ж — барабанная; з — с неподвижными ножами

стойки к абразивному износу, однако измельчают корнеплоды со значительным выделением сока, что увеличивает потери питательных веществ в процессе приготовления кормов.

Другие различия в функционировании разных видов рабочих органов приведены в табл 3.3.

Таблица 3.3. Показатели способов измельчения сахарной свеклы влажностью 77...79 % (по данным Г.М. Кукты)

Способ измельчения	Скорость рабочих органов, м/с	Содержание частиц 3...5 мм, %	Энергоемкость, кДж/кг
Рубкой (резанием)	4...25	35...86	2,5...4,3
Ударом (штифты)	40	55	4,9*
Ударом (молотки)	40	61	4,3*
Комбинированным воздействием (рубка + удар)	71	46	11,9

* — включая работу шнековой мойки.

Как видно из табл. 3.3, при надлежащем конструировании режущие рабочие органы имеют некоторые преимущества по удельным энергозатратам и получению продукта заданного granulометрического состава.

В настоящее время для обработки корнеклубнеплодов, кроме отдельных машин, используются комбинированные машины и агрегаты, которые выполняют две технологические операции и более, обеспечивая поточность и высокое качества приготовления кормов.

■ 3.4. Основы теории резания

Резание — один из видов измельчения, связанный с применением лезвия. При резании уменьшается линейный размер материала, увеличивается число новых частиц и их суммарная площадь боковой поверхности. Для резания характерно образование плоских поверхностей, частиц более или менее правильной формы (пластинки, параллелепипеды, кубы и т. д.)

Процесс резания лезвием представляет собой частный вид измельчения и потому подчинен общим законам измельчения материалов под действием внешних сил. Однако он имеет и свои особенности, в частности, важное значение здесь имеет характер движения ножа относительно перерезаемого продукта. В зависимости от этого фактора различают рубящее и скользящее резание.

При рубящем резании лезвие перемещается относительно продукта перпендикулярно режущей кромке, при скользящем — под некоторым углом к режущей кромке лезвия.

Рассмотрим рубящее резание (рис. 3.3). Здесь вектор скорости внедрения ножа в материал перпендикулярен кромке лезвия. Внедрению ножа предшествует уплотнение и деформирование материала, возникновение в нем контактных напряжений, имеющих максимальное значение перед кромкой лезвия. Когда контактные

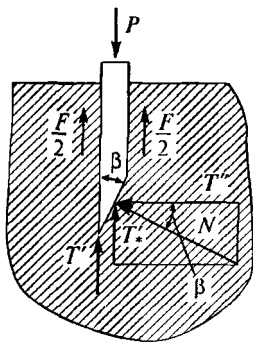


Рис. 3.3. Схема рубящего резания

напряжения достигают некоторой предельной величины, происходит разделение продукта на части.

Сопротивление внедрению ножа обусловлено следующими силами:

T' — сила, представляющая собой сопротивление разрушаемого материала и действующая на кромку лезвия;

T'_* — сила, связанная с сопротивлением слоя сжатию фаской лезвия;

F — равнодействующая сил трения, действующих на обе грани ножа (силу трения на фаске ножа не учитываем).

Силу T' можно определить как произведение площади кромки ножа на разрушающее контактное напряжение σ_p :

$$T' = \delta l \sigma_p, \quad (3.1)$$

где δ — толщина режущей кромки; l — длина лезвия.

Сила T'_* обусловлена сопротивлением слоя сжатию фаской лезвия и может быть выражена через силу T'' обжатия ножа (см. рис. 3.3):

$$T'_* = T'' \operatorname{tg} \beta, \quad (3.2)$$

где β — угол заточки ножа.

В момент начала резания сила P , приложенная к ножу, должна преодолеть равнодействующую всех сил, действующих в вертикальном направлении, т. е.:

$$P = T' + T'_* + F = T' + T'' \operatorname{tg} \beta + F. \quad (3.3)$$

Рассмотрим скользящее резание, при котором лезвие внедряется в материал под некоторым углом τ (рис. 3.4, а), называемым углом скольжения.

Скорость ножа v в этом случае можно разложить на нормальную v_n и тангенциальную v_τ составляющие. Угол τ , таким образом, составляют векторы $\bar{v}$ и $\bar{v}_n$.

Боковое скольжение ножа приводит к новым явлениям в процессе резания: *трансформации кромки лезвия ножа, угла его заточки и сил трения.*

Первое явление заключается в следующем. Кромка лезвия представляет собой продольный отрезок круглого цилиндра (это

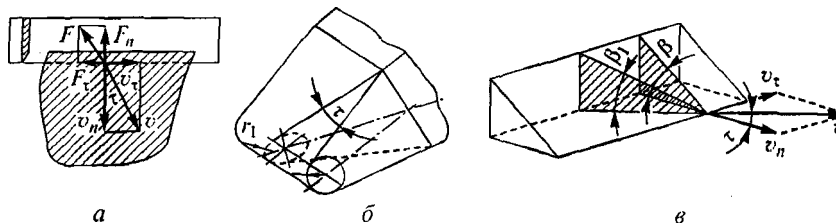


Рис. 3.4. Схема скользящего резания (а) и возникающие при нем явления: б — трансформация кромки лезвия; в — трансформация угла заточки ножа

обнаруживается при рассмотрении кромки под сильным увеличением). Таким образом, в поперечном сечении она имеет очертание дуги окружности радиуса r (рис. 3.4, б).

Острота лезвия измеряется величиной удвоенного радиуса кривизны кромки, т. е. $\delta = 2r$. При скользящем резании сечение кромки в направлении движения любой его точки в материал трансформируется, приобретая форму продольного отрезка эллиптического цилиндра. Контур этого отрезка представляет собой дугу острой вершины эллипса радиусом r_1 . В научных работах по резанию доказано, что $r_1 = r \cos \tau$, что означает:

$$\delta_1 = \delta \cos \tau. \quad (3.4)$$

Сопротивление разрушению материала при этом, согласно формуле (3.1), резко уменьшается.

Второе явление иллюстрирует рис. 3.4, в. При проникновении лезвия в материал по направлению, перпендикулярному режущей кромке, угол заточки будет составлять угол β . При скользящем проникновении под углом τ к нормали, угол заточки должен быть замерен по данному направлению. Этот угол составляет β_1 , причем $\beta_1 < \beta$. Элементарным геометрическим анализом можно установить связь этих углов:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \operatorname{tg} \beta \cos \tau, \quad (3.5)$$

или

$$\beta_1 = \arctg (\operatorname{tg} \beta \cos \tau).$$

Третье явление, заключающееся в трансформации сил трения, объясняется тем, что сила трения $\vec{F}$ всегда действует по ли-

нии вектора скорости $\bar{v}$ и, следовательно, отклонена от нормали на угол τ (см. рис. 3.4, а).

Очевидно, что внедрению лезвия в материал по линии нормали противостоит в данном случае не полная сила трения F , а лишь ее часть F_n , определяемая из выражения

$$F_n = F \cos \tau. \quad (3.6)$$

Иными словами, явление трансформации сил трения заключается в том, что часть силы трения преодолевается при касательном движении лезвия, чем облегчается его проникновение в толщу материала. Этим явлением объясняется наличие чистого и ровного среза материала при его резании со скольжением.

Таким образом, для внедрения ножа в материал при скользящем резании необходима сила

$$P_1 = (T' + T'' \operatorname{tg} \beta + F) \cos \tau. \quad (3.7)$$

Из сопоставления усилий при рубящем и скользящем резании следует, что

$$\frac{P_1}{P} = \cos \tau < 1.$$

Таким образом, снижение усилия внедрения ножа при скользящем резании пропорционально косинусу угла скольжения τ .

Очевидно, что выражение (3.7) пригодно для анализа рубящего и скользящего резания, поскольку первому отвечает условие $\tau = 0$, при этом $P_1 = P$. При углах $\tau > 0$ имеем неравенство $P_1 < P$, что означает уменьшение усилия, необходимого для внедрения ножа. Более полное представление об этом дает рис. 3.5, а, на котором видно, что увеличение угла скольжения обеспечивает монотонное снижение усилия P_1 , необходимого для осуществления процесса резания. Казалось бы, режущие аппараты нужно конструировать с углами скольжения $\tau \rightarrow 90^\circ$. Однако такой вывод оказывается не совсем верным, поскольку не учитывает другие факторы. Во-первых, поддержание больших значений углов скольжения $\tau = \operatorname{arctg}(v_\tau/v_n)$ связано с поддержанием высоких соотношений тангенциальной и нормальной составляющих скорости лезвия, что зачастую можно осуществить лишь снижением v_n , а это ведет к потере производительности режущего аппарата.

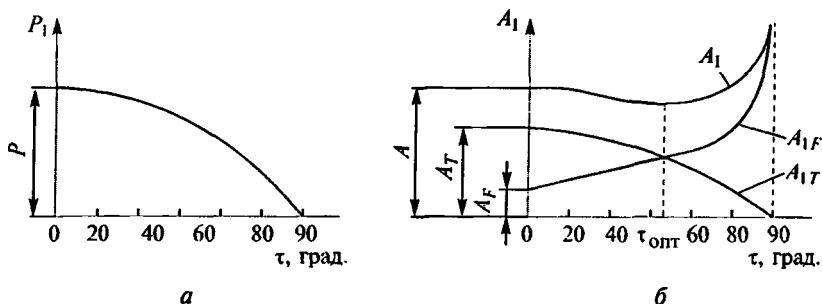


Рис. 3.5. Зависимость усилия внедрения лезвия (а) и удельных затрат энергии на измельчение (б) от угла скольжения

Во-вторых, нужно учитывать удельные затраты энергии, закономерности изменения которых от угла τ носят несколько иной характер, чем зависимость $P_1 = P_1(\tau)$.

Последнее обстоятельство обусловлено увеличением пути силы трения F при скользящем резании в $(\cos \tau)^{-1}$ раз и, следовательно, повышением во столько же раз удельных затрат энергии. Действительно, пусть при рубящем резании нож проходит путь S , тогда при скользящем резании этого же тела он пройдет путь

$$S_1 = \frac{S}{\cos \tau}. \quad (3.8)$$

Затраты энергии составят в первом случае $A_F = FS$, а во втором

$$A_{1F} = FS_1 = \frac{FS}{\cos \tau}. \quad (3.9)$$

Соотношение затрат энергии оказывается не в пользу скользящего резания

$$\frac{A_{1F}}{A_F} = \frac{1}{\cos \tau} > 1.$$

Эти закономерности иллюстрирует рис. 3.5, б.

Уменьшение угла заточки и толщины кромки лезвия, связанное с их трансформацией, снижает удельные затраты энергии

(кривая A_{IT}). В связи с таким характером составляющих A суммарная кривая $A_1 = A_1(\tau)$ имеет оптимум — минимум. Оптимальное значение $\tau_{\text{опт}}$ угла скольжения должно быть найдено из условия минимума энергозатрат на резание:

$$A_1(\tau) = A_{IT} + A_{IF} \rightarrow \min.$$

Уточняя составляющие A_{IT} и A_{IF} , имеем

$$A(\tau) = (T' + T'' \operatorname{tg} \beta) \cos \tau \cdot S + F \frac{S}{\cos \tau} \rightarrow \min.$$

Для вычисления производной $dA/d\tau$ необходимы производные от косинуса:

$$(\cos \tau)' = -\sin \tau;$$

$$\left(\frac{1}{\cos \tau} \right)' = (\cos^{-1} \tau)' = -\cos^{-2} \tau (\cos \tau)' = \frac{\sin \tau}{\cos^2 \tau}.$$

Отсюда

$$\frac{dA}{d\tau} = -(T' + T'' \operatorname{tg} \beta) + \frac{F}{\cos^2 \tau} = 0.$$

Решение этого уравнения приводит к отысканию оптимального угла скольжения $\tau_{\text{опт}}$, отвечающего минимуму затрат на резание:

$$\tau_{\text{опт}} = \arccos \sqrt{\frac{F}{T' + T'' \operatorname{tg} \beta}}. \quad (3.10)$$

Выражение (3.10) определено только в том случае, если подкоренное выражение не превосходит единицы. Физический смысл этого заключается в том, что если силы трения велики, превосходят другие силы сопротивления, то минимума по энергозатратам не существует. В этом случае скользящее резание всегда будет давать повышение энергозатрат по сравнению с рубящим резанием. В связи с этим ножи нужно конструировать с минимальной боковой поверхностью.

В заключение отметим, что иногда из технологических соображений (чистота среза, устранение смятия материала нормаль-

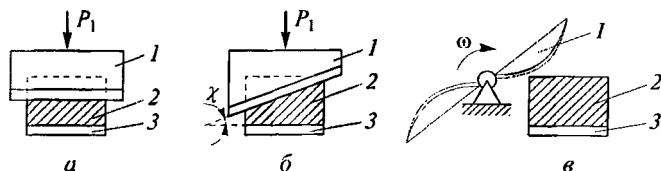


Рис. 3.6. Виды резания со скольжением:

a — вибрационное; *б* — наклонное; *в* — плосковращательное: 1 — нож; 2 — перерезаемый материал; 3 — противорежущая пластина

ным давлением лезвия и т. п.) можно пойти на некоторое повышение энергозатрат при скользящем резании.

По различным экспериментальным данным оптимальное значение $\tau_{\text{опт}}$ угла скольжения составляет $20...60^\circ$.

Скользящее резание может быть осуществлено различными способами (рис. 3.6): вибрацией ножа; установкой ножа под углом χ к противорежущей пластине; выполнением режущей кромки по некоторой кривой, что характерно для вращательных рабочих органов. Соответственно, различают вибрационные, наклонные и плосковращательные виды резания. В последних двух случаях материал будет скользить относительно ножа только в том случае, если угол χ раствора режущей пары больше угла трения φ материала о лезвие. В противном случае скользящее резание будет вырождаться в рубящее.

■ 3.5. Параметры режущего аппарата барабанного типа

Режущие аппараты барабанного типа широко применяются в силосо- и других кормоуборочных комбайнах, в оборудовании для выемки силоса и сенажа с одновременным измельчением, а также в стационарных измельчителях.

Основными параметрами барабанного режущего аппарата являются: высота h расположения горловины относительно оси вала барабана и диаметр D измельчающего барабана. Расположение горловины относительно оси вала барабана по вертикали (рис. 3.7, *a*) обусловлено кинематическим режимом работы и в данном случае зависит от соотношения поступательной скорости

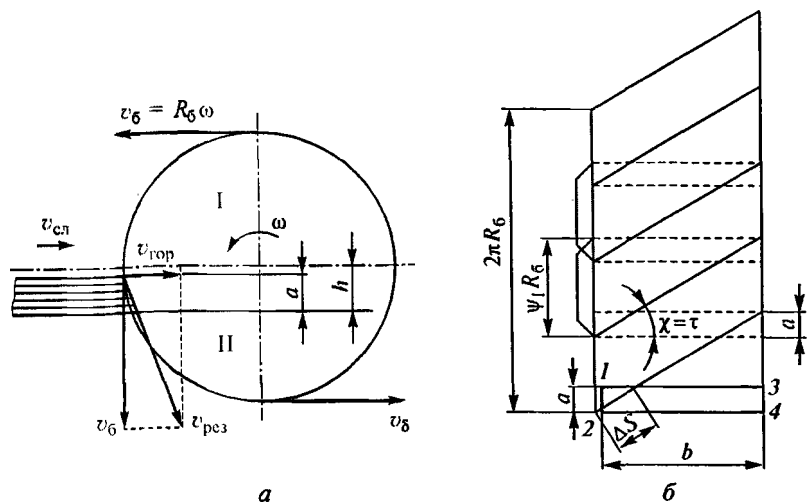


Рис. 3.7. Схема к обоснованию расположения горловины относительно оси: а — барабана; б — развертка ножевого барабана

v_{cl} слоя стеблей и горизонтальной составляющей $v_{гор}$ окружной скорости v_6 барабана.

Из схемы, приведенной на рис. 3.7, а, видно, что горизонтальная составляющая скорости лезвия при повороте барабана на 90° изменяет свое значение от $-v_6$ до 0 и при повороте еще на 90° — от 0 до $+v_6$. В то же время поступательная скорость v_{cl} подачи слоя остается постоянной по величине и направлению. При встрече лезвия со слоем в I квадранте частицы слоя будут отталкиваться ножом, что препятствует поступлению массы в барабан и нарушает процесс резания. При встрече во II квадранте лезвие будет способствовать втягиванию слоя в зазор режущей пары, обеспечивая этим более благоприятные условия работы аппарата. Следовательно, подача материала к ножу должна осуществляться во II квадранте барабана и именно около горизонтального диаметра барабана, так как далее результирующая скорость его будет направлена почти вдоль слоя и условия рабочего процесса будут нарушены. В связи с этим горловину в данных аппаратах делают небольшой высоты и материал в барабан подают тонким слоем.

Н.Е. Резник рекомендует определять величину h возвышения оси вала барабана над противорежущей пластиной по формуле:

$$h = a + \frac{Dv_{\text{сн}}}{2v_6}, \quad (3.11)$$

где D — диаметр барабана; a — толщина слоя, равная высоте горловины.

При этом рабочая кромка противорежущей пластины располагается на окружности, описываемой лезвием ножа и удалена от вертикального диаметра барабана на расстояние:

$$u = \frac{h}{\operatorname{tg} \psi},$$

где ψ — угол, определяющий положение рабочей кромки относительно оси вращения барабана ($\sin \psi = 2h/D$).

Режущий аппарат барабанного типа отличается простыми соотношениями между основными параметрами режима его работы. Если рассмотреть развертку барабана (рис. 3.7, б), то спиральное лезвие ножа представится прямой линией, наклоненной к образующей цилиндра, описываемого этим лезвием, под углом χ раствора. В этом аппарате угол τ скольжения равен углу раствора, и они имеют постоянные значения (в пределах $24 \dots 30^\circ$).

При постоянном радиусе барабана нормальная составляющая v_n скорости резания также имеет постоянное значение.

Рабочий процесс за проход одного ножа характеризуется тем, что нагруженный участок S лезвия изменяет свое значение: от точки 1 до точки 2 он возрастает, затем до точки 3 сохраняет свое максимальное значение и далее убывает до нуля. Характер изменения длины нагруженного участка графически можно представить в виде равносторонней трапеции.

Изменение длины нагруженного участка вызывает пропорциональное ему изменение суммарного сопротивления резанию. Чтобы выровнять нагрузку на вал, ножи на развертке барабана размещают с перекрытием. Перекрытие должно равняться толщине слоя, т. е. высоте a горловины.

При этом длина дуги охвата, приходящейся на лезвие одного ножа, определяется по формуле:

$$R_6 \psi = \frac{2\pi R_6 - za}{z} = l_6 \operatorname{tg} \tau, \quad (3.12)$$

где R_6 — радиус барабана; ψ_1 — угол охвата ножа; z — число ножей; l_6 — длина барабана; a — высота горловины.

Основным параметром барабанного режущего аппарата является радиус R_6 барабана, который можно найти из формулы

$$2\pi R_6 = Z(l_6 \operatorname{tg} \tau + a).$$

При значительной длине l_6 барабана ее можно приравнять к ширине b горловины, и тогда

$$R_6 = \frac{Z(b \operatorname{tg} \tau + a)}{2\pi}. \quad (3.13)$$

Число ножей принимают от 2 до 8 и обязательно четное — из соображений балансировки.

При наличии больших динамических преимуществ, обусловленных равномерностью нагрузки на вал и отсутствием необходимости иметь уравнивающий маховик, барабанные аппараты не лишены недостатков. Необходимость подавать материал тонким слоем ограничивает производительность машины. Кроме того, наличие спиральных ножей вызывает заметное осевое усилие на вал, а изготовление ножей и заточка их в процессе эксплуатации довольно сложны.

В некоторых режущих аппаратах направление вращения барабана таково, что измельченный продукт отбрасывается барабаном вверх, что способствует лучшей его транспортировке к выгрузному дефлектору.

■ 3.6. Конструктивные особенности измельчителей грубых и сочных кормов

Измельчитель кормов ИКВ-5А «Волгарь-5» (рис. 3.8) состоит из подающего 8 и уплотняющего 3 транспортеров, аппаратов первичного 2 и вторичного 10 резания, натяжного устройства подающего транспортера 9, натяжных звездочек 5, 6, 7 и автомата отключения 11.

Подаваемый из кормоприемника-питателя корм располагается (или укладывается вручную) ровным слоем на подающем

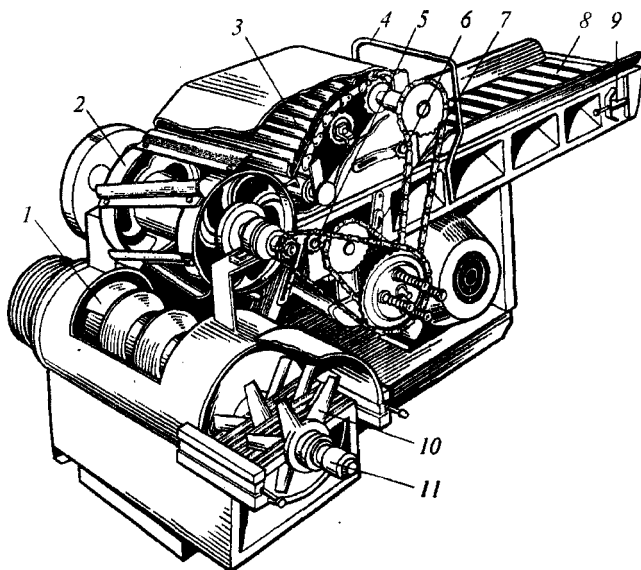


Рис. 3.8. Измельчитель кормов ИКВ-5В «Волгарь-5»:

1 — шнек; 2 — аппарат первичного резания; 3 — уплотняющий транспортер; 4 — скоба управления; 5, 6, 7 — натяжные звездочки; 8 — подающий транспортер; 9 — натяжное устройство подающего транспортера; 10 — аппарат вторичного резания; 11 — автомат отключения

транспортере 8, уплотняется наклонным транспортером 3, а затем направляется в аппарат первичного резания. Ножевой барабан 2 предварительно измельчает массу до размеров частиц резки 20...80 мм. Спиральные ножи барабана в сечении имеют Г-образную форму, их лезвия описывают окружность диаметром 450 мм.

На барабане установлено шесть ножей с углом заточки $35^{\circ}40'$ и углом подъема винтовой линии 70° . Угол заточки противорежущей пластины 75° . Зазор между лезвием ножей и противорежущей пластиной устанавливают в пределах 0,5...1 мм.

Измельченный режущим барабаном корм падает на шнек 1 и направляется им в аппарат вторичного резания, состоящий из девяти подвижных и девяти неподвижных ножей. Этот аппарат измельчает корм до фракции размером 2...10 мм. Готовый корм выбрасывается через нижнее окно в корпусе измельчителя на транспортер, расположенный в приемке.

Аппарат вторичного резания устроен следующим образом. В желобе по всей ширине корпуса измельчителя расположен шнек диаметром 440 мм, имеющий на концах консольные валы. На консольный вал со шпоночной канавкой со стороны выхода продукта надета втулка с шлицевой наружной поверхностью. На шлицеванную часть этой втулки надеты чередующиеся подвижные (со шлицами) и неподвижные (без шлиц) ножи. Последние своими наружными концами закреплены на неподвижных планках на корпусе.

Таким образом многоножевой дисковый режущий аппарат щелевого типа осуществляет двухопорное резание ножами с П-образной режущей кромкой и углами заточки, равными 90° . Этот аппарат более энергоемкий по сравнению с соломосилосорезкой, но он позволяет получить тонкое измельчение и более равномерный гранулометрический состав частиц.

«Волгарь-5» может работать по трем технологическим схемам — измельчение корма для крупного рогатого скота, свиней и птицы. При измельчении грубых и сочных кормов для крупного рогатого скота в работу включают только аппарат первичного резания. Получение необходимой крупности частиц для свиней и птицы достигают путем изменения угла установки лезвия первого подвижного ножа аппарата вторичного резания относительно конца витка шнека. При измельчении корма для птицы этот угол должен составлять 9° (по направлению вращения ножей), а для свиней — 54° (против направления вращения). Все последующие ножи располагают по спирали через 72° против направления вращения ножей.

Измельчитель грубых кормов ИГК-30Б (рис. 3.9) является модернизированной моделью измельчителя ИГК-30 и по сравнению с последним имеет большую производительность, измельчает солому повышенной влажности (до 30 %) и обеспечивает более высокое качество измельчения. Измельчитель может применяться в поточных линиях кормоцехов.

Машина включает раму, питающий транспортер, измельчающий аппарат, поворотный дефлектор и электродвигатель мощностью 30 кВт.

Питатель состоит из горизонтального 11 и наклонного уплотняющего 10 транспортеров, обеспечивающих механизацию загрузки корма в машину. Измельчающий аппарат — штифтового

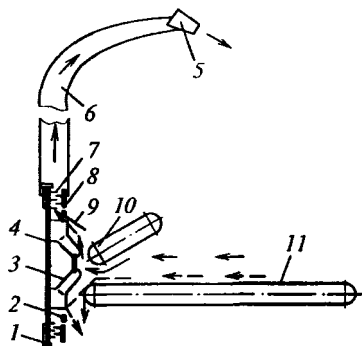


Рис. 3.9. Схема измельчителя грубых кормов ИГК-30Б:

1 — лопатки; 2 — отражатель; 3 — лопасти ротора; 4 — подвижный диск; 5 — регулируемый козырек; 6 — поворотный дефлектор; 7 — штифты; 8 — неподвижный диск; 9 — приемная камера; 10, 11 — горизонтальный и наклонный уплотняющие транспортеры

типа. Штифты в поперечном сечении имеют клиновидную форму и установлены заостренной гранью вперед по ходу движения, что позволяет осуществлять более интенсивное рубящее действие.

Измельчитель ИРМ-50 предназначен для измельчения початков и зерна кукурузы повышенной и нормальной влажности, заготовки комбинированного силоса для свиней, приготовления кормовых смесей из грубых и сочных кормов для крупного рогатого скота и овец. Он состоит (рис. 3.10) из рамы, барабана, деки в сборе с противорежущими элементами и рифлеными пластинами, камеры, дефлектора, загрузочного лотка. Привод осуществляется от электродвигателя или вала отбора мощности трактора К-701А.

Измельчающий аппарат молоткового типа служит для захвата комбинированными рабочими органами корма, подаваемого в загрузочный лоток, расщепления его на части относительно противорежущих ножей деки, перетирания продукта о рифленые планки деки и подачи в высокий продуктопровод или низкий силосопровод. Ножи — молоткового типа, а противорежущие элементы выполнены в виде усеченных пирамид и шарнирно закреплены на деке. На плоскостях ножей и противорежущих элементов выполнены продольные канавки, которые образуют боковые режущие кромки. Это обеспечивает устойчивость технологического

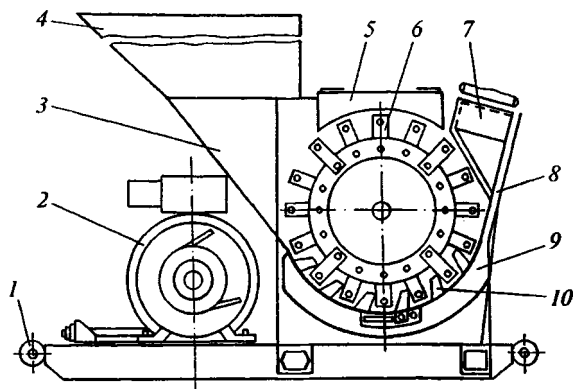


Рис. 3.10. Схема растительных материалов ИРМ-50:

1 — рама; 2 — электродвигатель; 3 — лоток; 4 — бункер; 5 — крышка; 6 — ножи; 7, 8 — ролики; 9 — дека; 10 — противорежущий элемент

процесса и снижение затрат энергии на работу измельчителя. Ножи (молотки) закреплены на барабане шарнирно, а противорежущие элементы установлены на осях в гнездах деки. Оси удерживаются от проворачивания рычагами. Измельчитель укомплектован сменным дефлектором для подачи массы в траншею или в транспортные средства.

Измельчитель-камнеуловитель-мойка ИКМ-Ф-10 (рис. 3.11) предназначен для очистки корнеклубнеплодов от камней, их мойки и измельчения на частицы размером до 10 мм (для свиней) или ломтики толщиной до 15 мм (для крупного рогатого скота). Измельчитель агрегируется с транспортерами-питателями ТК-5 или ТК-5Б, а также может быть использован как самостоятельная машина при установке в утепленных помещениях, оборудованных водопроводом и простейшей системой канализации.

Измельчитель ИКМ-Ф-10 имеет три рабочих органа: моечный шнек; измельчающий аппарат дискового типа; транспортер, приводимый в работу от мотора-редуктора. Рабочий процесс протекает следующим образом. Ванну заполняют водой до уровня, который поддерживается сливным патрубком на кожухе выгрузного транспортера. Корнеклубнеплоды транспортером-питателем подают в моечную ванну, где их отмывают вихревыми потоками воды, создаваемыми крыльцом, и освобождают от камней. Далее

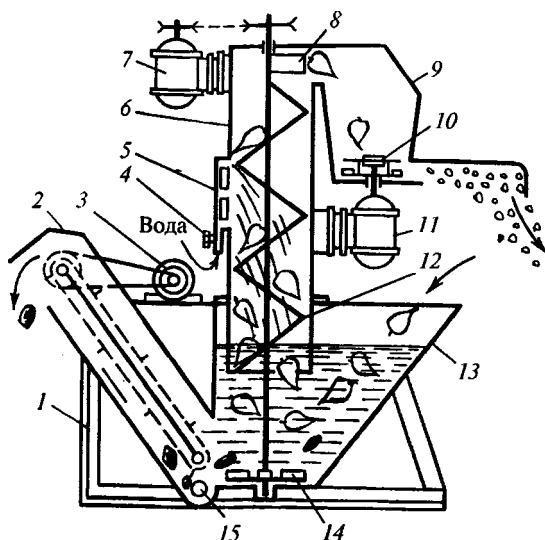


Рис. 3.11. Схема измельчителя корнеклубнеплодов ИКМ-Ф-10:

1 — рама; 2 — транспортер; 3, 7, 11 — электродвигатели; 4 — вентиль; 5 — душевое устройство; 6 — кожух; 8 — выбрасыватель; 9 — крышка измельчающего аппарата; 10 — измельчающий аппарат; 12 — шнек мойки; 13 — ванна; 14 — диск-крылач; 15 — люк

корнеклубнеплоды поступают на шнек и вторично отмываются от грязи встречным потоком воды в шнеке, затем по откидному направляющему кожуху отбрасываются в камеру измельчения. Измельчающий аппарат состоит из литого корпуса и двух дисков. На верхнем диске закреплены два горизонтальных ножа, а на нижнем — четыре вертикальных. Оба диска установлены на валу электродвигателя. Переходник (коробка), соединяющий шнек с измельчителем, оснащена крышкой, которая в случае забивания измельчителя кормом отклоняется и предохраняет шнек от поломок.

Степень измельчения регулируют изменением частоты вращения приводного двигателя 11.

4. СУШКА КОРМОВ

■ 4.1. Зоотехнические требования и технология сушки

Одним из главных способов консервирования зеленых кормов является искусственная сушка, которая позволяет до минимума сократить потери содержащихся в них питательных веществ. Искусственная сушка трав дает возможность получать корма, по питательности практически не уступающие многим зерновым концентратам и превосходящие их по полноценности белка, содержанию минеральных веществ, витаминов и другим кормовым достоинствам. Питательность 1 кг искусственно обезвоженных трав составляет 0,7...0,85 к. ед., содержание переваримого протеина — 130...150 г и каротина — до 200...300 мг. Высокая питательная ценность этих кормов позволяет широко использовать их при производстве комбикормов для разных возрастных групп скота и птицы.

Искусственно высушенные корма заготавливают в виде травяной резки и травяной муки в рассыпном или прессованном (брикетированном и гранулированном) виде.

Особенно ценна травяная мука — белковый витаминный продукт, полученный путем искусственной сушки травы, скошенной в ранней фазе вегетации растений и измельченной до размеров частиц 1...2 мм.

Травяная мука позволяет восполнять в рационе животных в зимнее время каротин (провитамин А), в первую очередь для молодняка.

Несмотря на большие затраты энергии для получения травяной муки эффективность ее использования весьма высока. При скармливании ее курам-несушкам их яйценоскость повышается на 12...17 %, удой у коров — на 17...24 %, настриг шерсти у овец — на 15 %.

Сырьевая база для производства травяной муки и высушенной резки представляет собой определенный набор различных

кормовых культур. Особенно ценны бобовые культуры: люцерна, клевер.

Для производства травяной муки и резки траву предварительно измельчают на частицы 10...30 мм длины и высушивают в тепловых пневмобарабанных сушилках. Основная часть сушилок — сушильный тракт — состоит из вращающегося барабана, вентилятора и отделительного циклона. Измельченная трава транспортером подается в сушильный барабан, при вращении которого частицы травы непрерывно перемешиваются с сушильным агентом, забирая у него теплоту во время падения с лопастей. Кроме того, частицы во время падения переносятся потоком сушильного агента на некоторое расстояние вперед к выходу. Во время отлежки частиц на лопастях они практически не подвергаются тепловому воздействию. Такие условия сушки создают возможность применять сушильный агент с довольно высокой температурой — 400...1150 °С в начале сушильного тракта и до 90...120 °С в конце его без ущерба качеству корма.

Когда частицы высыхают и становятся достаточно легкими, они потоком сушильного агента избирательно выносятся в отделительный циклон. Вследствие селективного принципа сушки время пребывания листьев в сушильном барабане составляет 0,5...2 мин, а стеблей — 5...25 мин.

Высушенная до влажности 10...12 % травяная резка подвергается измельчению на молотковых дробилках. Полученный после измельчения продукт и является травяной мукой.

■ 4.2. Основные закономерности сушки

В процессе сушки из корма удаляется вода, в результате чего концентрация веществ, содержащихся в растительной клетке, возрастает. При некоторой критической концентрации осмотическое давление в клетке столь высоко, что делает невозможным всасывание ее раствора различными микроорганизмами. В таком состоянии продукт можно хранить в течение некоторого времени, при условии, что содержание влаги вновь не будет повышаться в процессе хранения. Такой уровень влажности составляет для сушеных кормов 12...14 %.

Поскольку сушка применяется во многих процессах заготовки и приготовления кормов, необходимо хорошо представлять основные ее закономерности. Процесс сушки связан с подводом к высушиваемому продукту тепловой энергии, за счет которой происходит испарение влаги. Для сушки применяют сушильные агенты (воздух, перегретый пар, топочные газы), которые отводят испаренную влагу, диффундирующую к поверхности материала.

Таким образом, сушка представляет собой не только тепловой, но и диффузионный процесс.

Процесс сушки можно условно разделить на три этапа:

- 1) перемещение влаги внутри высушиваемого материала по направлению к его поверхности;
- 2) парообразование;
- 3) перемещение пара от поверхности материала в окружающую среду.

В процессах сушки влажный материал принято рассматривать как смесь абсолютно сухого вещества и воды:

$$M = M_c + M_b,$$

где M , M_c , M_b — массы влажного, абсолютно сухого вещества и воды соответственно.

Влажность материала W характеризует влажный материал в стационарных условиях и определяется отношением массы воды к массе влажного материала, %:

$$W = (M_b / M) \cdot 100. \quad (4.1)$$

Влажность материала изменяется от 0 (абсолютно сухой материал) до 100 % (чистая вода при $M_c = 0$).

Величиной W часто неудобно пользоваться, поскольку при сушке изменяются числитель и знаменатель выражения (4.1). Незменной величиной при сушке остается масса абсолютно сухого материала M_c , поэтому введено понятие влагосодержания материала, %:

$$U = (M_b / M_c) \cdot 100 \%. \quad (4.2)$$

Влагосодержание изменяется от 0 (абсолютно сухой материал) до бесконечности (чистая вода).

При испарении влаги с поверхности материала создается перепад ΔU влагосодержания между поверхностными и внутрен-

ними слоями. Этот перепад и является основной движущей силой, постоянно перемещающей влагу к поверхности. При высокотемпературной сушке необходимо еще учитывать явление термического переноса влаги, обусловленное перепадом температуры внутри материала. Как показал академик А.В. Лыков, под влиянием температуры влага перемещается от мест с более высокой температурой к местам с низкой температурой. Таким образом, разность температур может как тормозить сушку при использовании разогрева с поверхности (традиционные способы сушки), так и увеличивать ее при разогреве изнутри (сушка токами высокой частоты). Интенсивность общего потока влаги i внутри материала обусловлена этими двумя причинами и выражается аналитически следующей зависимостью:

$$i = i_{\Delta u} + i_{\Delta v} = \rho_0(\alpha_u \Delta U + \alpha_v \Delta v), \quad (4.3)$$

где ρ_0 — плотность абсолютно сухой части материала, кг/м^3 ; α_u , α_v — коэффициенты диффузии, обусловленные разностями влагосодержания, $\text{м}^2/\text{с}$, и температуры, $\text{м}^2/(\text{с} \cdot ^\circ\text{C})$.

Интенсивность внешней влагоотдачи с поверхности материала в окружающую среду определяется уравнением:

$$j = (\alpha/r)(t - v), \quad (4.4)$$

где α — коэффициент теплообмена, зависит от конструкции сушилки, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; r — скрытая теплота испарения влаги, $\text{Дж} \cdot \text{кг}$; v — температура сушильного агента, $^\circ\text{C}$, t — температура поверхности материала, $^\circ\text{C}$.

Внутренние i и внешние j потоки влаги должны уравновешивать друг друга, т. е.:

$$\rho_0(\alpha_u \Delta U + \alpha_v \Delta v) = (\alpha/r)(t - v).$$

Как видно из этого выражения, интенсивность влагоотдачи можно увеличить, повышая разность температур между сушильным агентом и материалом $t - v$. Однако для сушки органического вещества этот путь имеет предел, обусловленный влиянием высокой температуры на питательность, внешний вид и другие свойства продуктов. Второй путь интенсификации процесса сушки заключается в увеличении коэффициента теплообмена α ко-

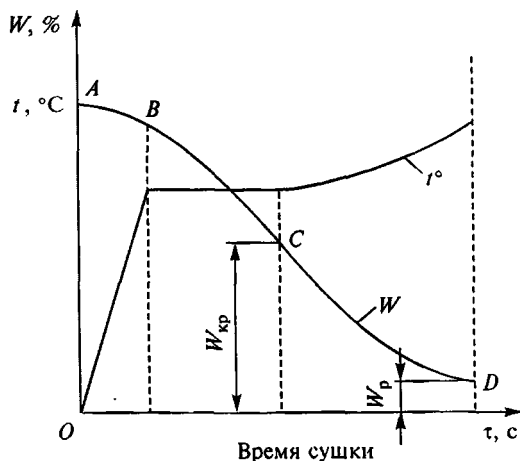


Рис. 4.1. Типичные кривые сушки

торый зависит от гидродинамики взаимодействия сушильного агента с частицами материала, от физических свойств сушильного агента, способов подготовки материала к сушке.

Зависимость между средней влажностью материала и временем сушки изображается кривой сушки (рис. 4.1), на которой можно выделить несколько участков. Участок AB соответствует периоду прогрева материала до температуры сушки. Участок BC носит название периода постоянной скорости сушки, поскольку представляет собой прямую линию. В этот период температура материала принимает значение, равное температуре мокрого термометра.

Теплота, подводимая к материалу, расходуется на испарение свободной влаги. Период постоянной скорости сушки продолжается до достижения материалом первой критической влажности $W_{кр}$. Начиная с этого момента наступает период падения скорости сушки (участок CD), в котором удаляется связанная влага, и температура материала несколько повышается.

В конце сушки влажность материала асимптотически приближается к равновесной W_p , а температура достигает значения, равного температуре теплоносителя.

Способы сушки, а следовательно, и конструкции сушилок, различаются в основном особенностями подвода теплоты. Применяют конвективный (омывание высушиваемого материал сушильным агентом) и кондуктивный (контактный) способы, а

также сушку термоизлучением (при помощи инфракрасных лучей) и токами высокой и сверхвысокой частоты.

Выбор типа сушилки зависит от вида сырья, которое необходимо высушить. Известны конструкции сушилок с конвективным и кондуктивным нагревом: камерные, туннельные, ленточные, шахтные, барабанные и т. д.

Для сушки зеленых кормов преимущественно применяют барабанные сушилки.

■ 4.3. Конструктивные особенности барабанных сушилок

Основные сборочные единицы пневмобарабанных сушилок: теплогенератор, питатель, сушильный барабан и система отделения высушенного продукта от сушильного агента. Технологическая схема сушильного агрегата показана на рис. 4.2.

Жидкое топливо под давлением впрыскивается форсункой 16. Воздух, нагнетаемый вентилятором 18, поступает в горелку 17, где смешивается с распыленным топливом. Рабочая смесь воспламеняется от факела запальника аппаратуры воспламенения и контроля факела. Воздух, засасываемый дымососом 4, через кольцевое пространство 19 поступает в топку, смешивается с продуктом горения, и образовавшийся теплоноситель с температурой 400...1100 °С поступает в сушильный барабан 7. Измельченная зеленая масса загружается на лоток 14. При помощи двух гидроцилиндров 15 свободный конец лотка поднимается вверх. Зеленая масса под действием собственного веса направляется на конвейер 13. Движущееся с заданной скоростью полотно конвейера подтягивает массу к отбойному битеру 12, который отбрасывает излишки травы. Оставшийся на полотне слой массы битером 11 подается на винтовой транспортер 10, который перемещает массу на транспортер 9. На транспортере 9 битером 8 зеленая масса выравнивается до толщины, на которую установлен битер, и подается в барабан 7. Передвигаясь в потоке теплоносителя и перемешиваясь с ним, масса постепенно высыхает. Сухие частицы потоком теплоносителя выносятся в циклон 5 сухой массы, в котором отделяются от теплоносителя, и через шлюзовой затвор и пневматический делитель поступают в молотковые дробилки 21, или на транспортные средства (при производстве резки в рассыпном виде), либо на брикетирование.

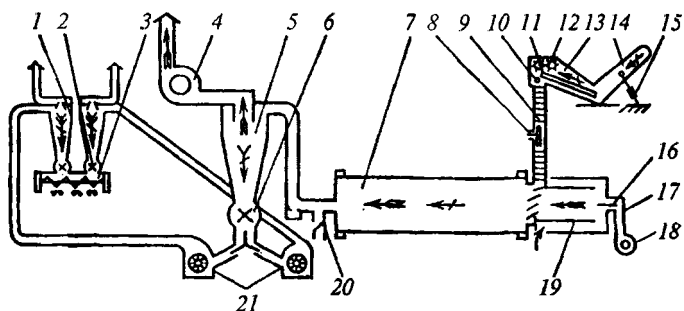


Рис. 4.2. Технологическая схема сушильного агрегата АВМ-1,5А:

1, 18 — вентилятор; 2 — дозатор; 3 — шнек; 4 — дымосос; 5 — циклон; 6 — шлюзовой затвор; 7 — барабан; 8, 11 — биту; 9 — транспортер; 10 — винтовой транспортер; 12 — отбойный биту; 13 — конвейер; 14 — лоток; 15 — гидроцилиндр; 16 — форсунка; 17 — горелка; 19 — кольцевое пространство; 20 — отборщик; 21 — дробилка; → — воздух; ⇨ — теплоноситель; ⇨ — отработанный теплоноситель; ➞ — сырой продукт; ➞ — сухой продукт; ➞ — мука

Работу с сушилкой следует начинать в такой последовательности. После пуска генератора теплоты включать питатель можно только при температуре сушильного агента в конце барабана на 10...15 °С ниже установленной для данного рабочего режима. С увеличением температуры увеличивают подачу сырья и, соответственно, — количество топлива.

Следует помнить, что увеличение и уменьшение подачи массы сказывается на температуре отработанного сушильного агента через 2...3 мин.

5. ПРЕССОВАНИЕ КОРМОВ

■ 5.1. Зоотехнические требования и технология производства прессованных кормов

Если прессование сено-соломистых материалов (с последующей обвязкой тюков и рулонов) известно еще с XVIII в., то гранулирование и брикетирование кормов, как разновидности прессования, появились лишь в XX в.

Было выявлено, что гранулирование и брикетирование по сравнению с традиционными способами заготовки кормов имеют следующие преимущества:

- снижают потери питательных веществ при хранении;
- способствуют улучшению усвояемости грубых кормов, а также уменьшают отходы при их подготовке;
- уменьшают потери кормов при кормлении и снижают их расход на единицу продукции;
- облегчают механизацию и автоматизацию раздачи кормов;
- повышают культуру производства.

Прессование в гранулы или брикеты осуществляется в зависимости от назначения и гранулометрического состава кормов и кормовых смесей.

Гранулы — спрессованные до плотности 800...1300 кг/м³ в цилиндрические или фигурные кусочки толщиной или диаметром до 25 мм кормовые компоненты или смеси, измельченные в муку.

Брикеты — это спрессованные грубые корма (травяная или соломенная резка) и кормовые смеси, включающие грубые корма, с размером частиц 20...70 мм, сформированные в цилиндрическую, диаметром до 65 мм, или другую форму с наибольшими размерами 80 мм, плотностью 500...900 кг/м³. В соответствии с ГОСТ 23513-79 плотность брикетов, предназначенных для последующей переработки или закладываемых на хранение сроком свыше двух месяцев, установлена в пределах 700...1200 кг/м³, крошимость гранул и брикетов — не более 12 и 15 %.

Крошимость характеризует степень связанности частиц, составляющих гранулы или брикеты. За характеристику крошимости принята относительная величина, определяемая из выражения

$$K = \frac{m}{M} \cdot 100 \%,$$

где m — масса крошки, отошедшей после испытания гранул или брикетов на крошимость; M — начальная масса образцов корма.

Испытания на крошимость проводят во вращающемся ситчатом барабане прямоугольного сечения. За счет ударов о барабан часть образцов разрушается, и образовавшаяся крошка сразу же выводится из барабана, проходя через ячейки ситчатого барабана.

В соответствии с действующими требованиями диаметр гранул для цыплят в возрасте 1...7 дней должен быть 1...2 мм, 7–30 дней — 2,2 мм, более 30 дней — 3 мм, для взрослой птицы — 4...6 мм; для поросят-отъемышей — 8 мм, молодняка свиней более 4 месяцев — 10 мм; для овец, телят — 5...7 мм; для крупного рогатого скота — 14...20 мм. Диаметр брикетов для крупного рогатого скота составляет 30...65 мм; размер брикетов прямоугольной формы 60×50 мм.

Требуемое качество гранул и брикетов определяется их плотностью, прочностью и крошимостью, которые зависят от влажности материала, гранулометрического или фракционного состава, температуры и давления прессования.

Исходная смесь кормов для уплотнения должна быть однородной не менее чем на 90 %. Количество непрессованной массы не должно превышать 6 %, допустимый нагрев в процессе прессования не более 90 °С для гранул и 70 °С для брикетов. Коэффициент перетирания резки в муку при брикетировании не должен превышать 20 %; потери каротина в процессе прессования — 5 %; потери продукта по массе — 1 %.

Гранулометрический состав корма при гранулировании или фракционный состав при брикетировании обусловлены назначением корма. Остальные факторы — влажность и температура — сообщаются корму при подготовке его к прессованию. Эту операцию называют *кондиционированием* материала.

Так, для нормального протекания процесса гранулирования травяной муки или комбикормовых смесей оптимальное значение

влажности составляет 15...16 %, температуры 60...70 °С. При этом достигаются наименьшие значения коэффициентов внешнего трения, покоя и движения, которые снижаются при увеличении давления. В данном случае под действием внешних сил при указанных влажности и температуре увеличивается пластическая деформация частиц, а выжимаемая влага играет роль смазки. Под действием пара при кондиционировании комбикормовая смесь увлажняется с 12...14 до 15...17 %, частицы измельченного зерна приобретают определенную вязкость и пластичность, в процессе прессования масса нагревается до 75...90 °С, происходит частичная декстринизация крахмала зерна. Процесс гранулирования будет более эффективным при сильном измельчении, так как при этом коэффициенты трения меньше, чем при крупном.

Наиболее благоприятные условия для гранулирования комбикормов создаются при обработке их паром давлением 0,25...0,4 МПа (расход 0,4...0,5 кг на 1 кг корма). Допустима обработка паром с давлением 0,07 МПа, однако при этом производительность гранулятора и качество гранул снижаются.

Внутриклеточная влага при влажности массы свыше 16 % делает частицы упругими, и они хуже спрессовываются. Поэтому экспозиция увлажнения перед прессованием должна быть меньше времени проникновения влаги в материал, т. е. набухания частиц. Поверхностная влага способствует лучшему сближению частиц и их уплотнению, особенно при кондиционировании паром или при наличии устройств активного перераспределения увлажнителя.

Производительность пресс-грануляторов зависит от степени размола компонентов. Так, при уплотнении комбикорма со средним размолом (остаток на ситах: 3 мм — 5...10 %, 5 мм — нет) производительность на 10...15 % выше, чем при уплотнении комбикорма крупного размола.

Несколько иная основа получения брикетов из стебельных материалов, так как действие сил молекулярного притяжения при крупном измельчении проявляется незначительно. Кормовая масса удерживается в брикете в основном за счет сил механического сцепления как следствие переплетения частиц. При брикетировании стебельной массы с длиной частиц меньше диаметра камеры брикеты менее прочны, чем в противоположном случае. Прочность брикетов зависит от продолжительности релаксации на-

пряжений в зоне нагрузок. У бобовых, например, период релаксации меньше (23 с), чем у злаковых (27 с), что объясняет причину лучшего брикетирования бобовых трав. При нагреве брикетируемой массы до 70...80 °С период релаксации уменьшается почти вдвое.

Для нормального уплотнения кормов в гранулы или брикеты необходимо равномерное сжатие массы в фильерах и пресс-камерах, что обуславливает определенную связь между показателем крошимости и их размерами. Этим объясняется трудность получения прочных гранул диаметром более 20 мм. Крошимость гранул и брикетов возрастает также по мере их охлаждения и зависит от способа кондиционирования.

Приготавливать гранулы можно и окатыванием мучнистых кормов в шарики при влажности массы 30...35 %. Однако широкого распространения этот способ не получил, так как компоненты должны быть тонкого размола, а полученные гранулы нужно сушить для снижения их влажности до 12...14 %, что усложняет технологический процесс.

При уплотнении смесей из плохо прессуемых компонентов (овса, ячменя, кукурузы) для придания гранулам и брикетам необходимой прочности добавляют жир, связующие вещества (СВ), например, бентониты, мягкий фосфат и каолин, до 24 кг/т. Применение различных СВ позволяет получить прочные брикеты меньшей плотности (500...600 кг/м³), что дает возможность скармливать их животным непосредственно без дополнительной подготовки.

Кроме указанных, в качестве СВ можно применять органические углеводосодержащие вещества, такие как мелассу, соленый гидрол, крахмал и др. Экспериментально установлено, что применение связующих веществ на 20...40 % уменьшает крошимость гранул и брикетов и, как правило, повышает их кормовую ценность.

При уплотнении в брикеты травяной резки или кормовых смесей, включающих измельченные грубые корма в виде резки, влажность исходного продукта должна быть 12...13 %, а при подаче в камеру пресса — увеличена до 15...17 % за счет поверхностного увлажнения продукта водой, раствором СВ или паром; на выходе из пресса влажность брикетов должна составлять 14...15 %, температура — 60...70 °С. При этом брикеты после

снятия нагрузки увеличиваются в объеме за счет упругих деформаций. Этот процесс продолжается примерно 15 мин.

Содержание питательных веществ, в частности, каротина, после трех месяцев хранения в брикетированной травяной резке на 11 % выше, чем в гранулах, и на 18 % больше, чем в рассыпной резке. При увеличении сроков хранения свыше 5 месяцев потери каротина в брикетах и рассыпной резке возрастают и превышают потери корма в гранулах.

Для получения требуемой прочности полнорационных гранул и брикетов влажность исходных прессуемых компонентов (в том числе и соломы) должна быть не выше 14...15 %. При увеличении доли соломы более 35...40 % следует применять соответствующие технологические приемы, например, кондиционирование смеси паром или введение связующих веществ (мелассы, гидрола, карбамида) в допустимых дозах. Плотность брикетов из бобовых трав (люцерны) можно регулировать добавлением измельченной соломы влажностью 14...15 % в количестве до 10...20 %. При влажности свыше 17 % брикеты при хранении потянутся.

■ 5.2. Реологические свойства кормов

В процессе прессования корма проявляют свойства, не укладывающиеся в понятия упругого тела. Отмечаются такие явления, как *ползучесть* (медленное нарастание деформации при постоянной нагрузке), *релаксация* (рассасывание) напряжений при постоянной деформации, обратное расширение (обратная ползучесть или последствие) спрессованных изделий и т. д. Напряжение не определяет однозначно деформацию: время играет здесь существенную роль. Такие материалы называли *вязкоупругими* или *материалами с последствием*, свойства которых изучает реология. В узком смысле термин «реология» подразумевает научное знание о течении вязких тел. Но текут даже горы, если рассматривать промежутки времени в миллионы лет. С другой стороны, жидкости могут проявлять упругие свойства, если нагрузку приложить в короткие (доли секунды) промежутки времени. Поэтому термин «реология» стали применять ко всем без исключения физическим телам.

К реологическим константам относятся:

τ_0 — предельное напряжение сдвига, при котором начинается разрушение структуры, Па;

μ — коэффициент эффективной динамической вязкости, Па;

E — модуль упругости, Па;

T_p — время релаксации напряжений, с.

Физический смысл этих констант рассмотрим на механических моделях, которые вводят для наглядной демонстрации свойств материалов. Механической моделью вязкой жидкости является демпфер (катакт), или тело Ньютона (рис. 5.1, а). Соответствующей математической моделью является реологическое уравнение состояния ньютоновского тела для простого сдвига:

$$\tau = \mu \dot{\gamma}; \quad [\mu] = \text{Па} \cdot \text{с}, \quad (5.1)$$

где $\dot{\gamma}$ — скорость сдвига ($\dot{\gamma} = dv/dx$; v — скорость; x — расстояние между слоями жидкости).

Таким простым реологическим свойством обладают молоко, вода, растительное масло и другие жидкости.

Моделью *твердого тела* является пружина (рис. 5.1, б), или тело Гука. Соответствующая математическая модель для растяжения-сжатия имеет вид:

$$p = E\varepsilon, \quad (5.2)$$

где p — нормальное напряжение; ε — относительная деформация.

Указанным свойством обладает твердое сырье (например, зерно злаковых и технических культур в узком диапазоне изменения нагрузок).

Модель *идеально пластичного тела* изображается в виде пары трения и определяется как тело Сен-Венана (рис. 5.1, в). Оно неподатливо при нагрузке ниже предела текучести, после его превышения неограниченно деформируется. Уравнение состояния для сдвига можно записать в следующем виде:

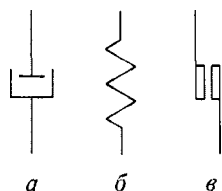


Рис. 5.1. Механические модели, отражающие элементарные реологические свойства материалов:

а — тело Ньютона; б — тело Гука; в — тело Сен-Венана

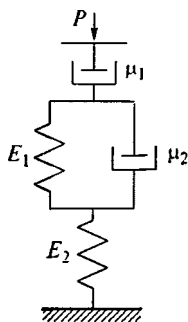


Рис. 5.2. Реологическая модель Бюргерса

$$\tau < \tau_0 \text{ — нет деформации;} \quad (5.3)$$

$$\tau > \tau_0 \text{ — течение.}$$

Пластичностью обладают многие сельскохозяйственные материалы, но в более сложном, чем это дается телом Сен-Венана, виде.

Реальные сельскохозяйственные материалы обладают чаще всего комплексом реологических свойств, поэтому для описания их поведения привлекаются более сложные модели. В частности, широкое применение находит модель Бюргерса, состоящая из четырех простых элементов (рис. 5.2). Такая модель качественно описывает деформационное поведение многих сельскохозяйственных материалов и продуктов: комбикормов, сено-соломистых материалов и других видов кормов.

Если к модели Бюргерса приложить постоянное напряжение p , то прежде всего произойдет мгновенное сжатие пружины E_2 , далее постепенное сжатие пружины E_1 и перемещение поршня μ_1 , а также поршня μ_2 . В результате общая деформация модели будет возрастать со временем. Это явление носит название *ползучести*. На рис. 5.3 показаны программы нагружения и график деформации модели. Участок OA соответствует мгновенному сжатию пружины E_2 , AB — постепенному сжатию пружины E_1 и перемещению поршней μ_1 и μ_2 , т. е. ползучести.

При снятии нагрузки пружина E_2 мгновенно разожмется (участок BC).

Пружина E_1 благодаря действию поршня будет разжиматься в течение некоторого времени (явление обратной ползучести или упругого последействия, участок CD). И, наконец, поршень μ_1 после снятия нагрузки не изменит своего положения, демонстрируя тем самым остаточную деформацию — $\epsilon_{\text{ост}}$. Если модель Бюргерса подвергнуть мгновенному сжатию и ее свободный конец зафиксировать, поддерживая $\epsilon_1 = \text{const}$ (рис. 5.3, б), то со временем пружины заставят поршни перемещаться. По мере продвижения поршней пружины будут разжиматься, а напряжение в модели будет уменьшаться. Это явление носит название *релаксации напряжений*.

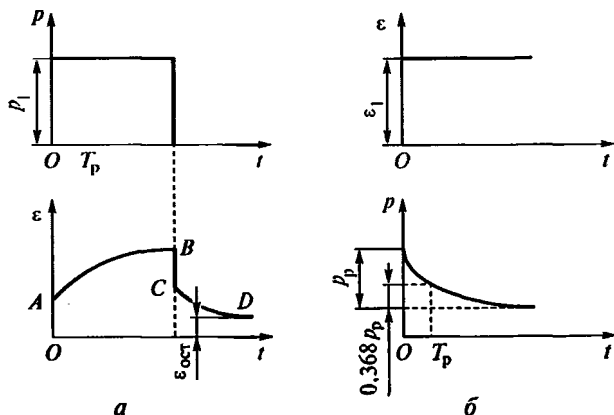


Рис. 5.3. Кривые ползучести деформаций (а) и релаксаций напряжений (б) для модели Бюргера

Время, в течение которого релаксирующая часть напряжений p_p уменьшается в $e = 2,71...$ раза, называется *временем релаксации* T_p (см. рис. 5.3, б).

Материалы, деформационное поведение которых следует моделям, подобным модели Бюргера, носят название как уже отмечалось *вязкоупругих*. В отличие от упругих тел, у которых напряжения и деформации связаны однозначной зависимостью, здесь в определяющее уравнение вклинивается новый фактор — время. Выше было показано, что вязкоупругие материалы изменяют свое напряженно-деформированное состояние во времени даже в тех случаях, когда один из показателей (напряжение или деформация) поддерживается постоянным.

Большинство твердообразных сельскохозяйственных материалов являются именно вязкоупругими, проявляя, в зависимости от времени приложения нагрузки, в большей степени вязкие или упругие свойства, или в равной степени те и другие.

Соппротивление, оказываемое вязкоупругим материалом сжатию или сдвигу, зависит от соотношения между скоростями деформации и релаксации напряжений. Если первая скорость преобладает над второй, то материал в большей степени проявляет упругие свойства, энергия накапливается, освобождаясь при снятии нагрузки в виде обратного расширения слоя (обратной ползучести). И, наоборот, при доминировании скорости релаксации

происходит усиление процессов рассеивания энергии в деформированном теле, вследствие чего материал оказывает меньшее сопротивление сжатию или сдвигу и слабее расширяется после снятия нагрузки.

■ 5.3. Рабочие органы для гранулирования и брикетирования

В мировой практике для уплотнения кормов наибольшее распространение получили штемпельные и кольцевые прессы. Штемпельные рабочие органы осуществляют процесс по принципу порционной подачи. Они могут быть с закрытой (рис. 5.4, а) или открытой (рис. 5.4, б) прессовальной камерами.

В открытой камере противодействие создается трением спрессованного материала о стенки, при этом уплотнение и выталкивание брикета выполняются за один ход штемпеля. В закрытой камере эти операции производятся раздельно, а противодействие создается неподвижным упором.

Штемпельные рабочие органы с закрытой камерой менее энергоемки, чем с открытой, поскольку здесь исключается работа на проталкивание целого ряда брикетов при максимальном усилии штемпеля. Однако в закрытых камерах требуется одинаковая подача материала для каждого хода штемпеля, что представляет чрезвычайно сложную задачу. Вторым недостатком закрытых камер является малая выдержка брикета под давлением.

Достоинство штемпельных прессов — небольшой расход энергии, получение брикетов большого диаметра, что важно для уменьшения поверхности корма, где развивается процесс окисления. Кроме того, устройство матричного канала позволяет регулировать давление прессования, и, следовательно, плотность и прочность брикетов. Штемпельные прессы более универсальны, на них можно брикетировать разнообразное сырье.

Штемпельные рабочие органы действуют по принципу порционной подачи.

Кольцевые прессы (рис. 5.4, в) имеют кольцевые матрицы с размещенными по периметру прессовальными каналами, через которые продавливается корм. Их преимуществом является непрерывность технологического процесса. Однако они сравни-

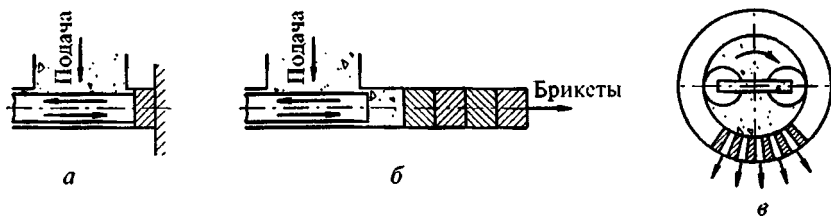


Рис. 5.4. Типы рабочих органов для уплотнения кормовых материалов:
а — штемпельный с закрытой камерой; *б* — штемпельный с открытой камерой;
в — кольцевой

тельно энергоемки (до 100 кДж/кг) и требуют тщательной подготовки материала перед гранулированием и брикетированием — однородного измельчения и равномерной влажности. Тем не менее кольцевые рабочие органы широко распространены и применяются как при гранулировании, так и при брикетировании кормов. Чаще всего для уплотнения в гранулы используют прессы с вертикально вращающейся матрицей, для уплотнения в брикеты — с вращающимися роликами. Существуют также прессы с горизонтальной кольцевой неподвижной матрицей.

Бывают и другие рабочие органы — шнековые, рулонные, вальцовые. Однако по тем или иным причинам они не нашли применения в практике кормоприготовления.

■ 5.4. Основные закономерности рабочего процесса штемпельных прессов

Основное уравнение прессования. Для проектирования пресового оборудования необходимо знать зависимость между давлением p и достигнутой плотностью ρ материала. Эта зависимость дает возможность определить усилия, действующие в деталях и механизмах прессов, и энергию, необходимую для уплотнения.

Примем допущение, что усилия при статическом сжатии не зависят от скорости деформации. Будем оперировать понятием степени уплотнения

$$\varepsilon = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0},$$

где ρ_0 — начальная (естественная) плотность материала.

В процессе экспериментов было замечено, что производная давления p по степени уплотнения ϵ прямо пропорциональна достигнутому давлению и обратно пропорциональна достигнутой степени уплотнения, т. е.:

$$\frac{dp}{d\epsilon} = m \frac{p}{\epsilon}. \quad (5.4)$$

Разделим переменные

$$\frac{dp}{p} = m \frac{d\epsilon}{\epsilon}.$$

Интегрирование левой и правой частей этого простейшего дифференциального уравнения дает результат:

$$\ln p = m \ln \epsilon + \ln c,$$

где c — постоянная.

Преобразование правой части этого выражения приводит к соотношению:

$$\ln p = \ln(c\epsilon^m).$$

Откуда находим:

$$p = c\epsilon^m \quad (5.5)$$

основной закон прессования, представленный в степенной форме. Величины c и m суть экспериментально получаемые характеристики (коэффициенты) для каждого кормового материала.

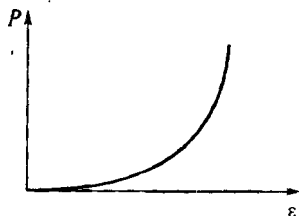


Рис. 5.5. Примерный вид зависимости давления от степени уплотнения прессуемого материала

Как показывают расчеты, закон (5.5) удовлетворительно описывает экспериментальные кривые прессования всех без исключения кормовых материалов. Примерный вид зависимости, получаемой по закону прессования, изображен на рис. 5.5.

Очевидно, что достижение больших значений ϵ сопряжено с приложе-

нием значительных давлений p со стороны рабочих органов и обуславливает высокую энергоёмкость процесса прессования. Объяснение этому следует искать в механизме прессования. Если на ранних стадиях деформация всего образца материала происходит за счет взаимного проскальзывания и сближения частиц (структурные деформации), то на окончательных стадиях изменение длины образца возможно лишь за счет упруго-пластических деформаций самих частиц.

Для достижения требуемых плотностей гранул и брикетов потребное давление составляет 20...30 МПа, а иногда, в зависимости от вида пресса и материала, даже более.

Закономерности прессования в закрытой камере. Процесс образования брикета из сыпучего корма включает несколько стадий. При наложении давления на штемпель (рис. 5.6, а) частицы корма сближаются, пустоты между ними уменьшаются, а воздух выдавливается наружу через зазор между штемпелем и стенкой камеры. Сближение частиц и уплотнение материала возрастают с увеличением усилия на штемпеле.

По мере сближения частиц между их поверхностями возникают силы межмолекулярного сцепления. Проявление сил сцепления тем сильнее, чем больше поверхность соприкосновения частиц, т. е. чем больше будут сближены частицы. В результате действия этих сил происходит консолидация прессованной порции и образование монолитного куска — кормового брикета.

Реальный процесс прессования кормового материала в камере сопровождается трением между ним и стенками прессовальной камеры. В связи с этим штемпель должен преодолевать дополнительные усилия. Следовательно, общее давление на штемпеле $p_{шт}$ составит величину:

$$p_{шт} = p + p_F,$$

где p_F — давление, обусловленное внешним трением деформируемого материала.

Давление p_F определяется соотношением

$$p_F = \frac{F}{U},$$

где F — равнодействующая сил трения при прессовании; U — площадь поперечного сечения прессовальной камеры.

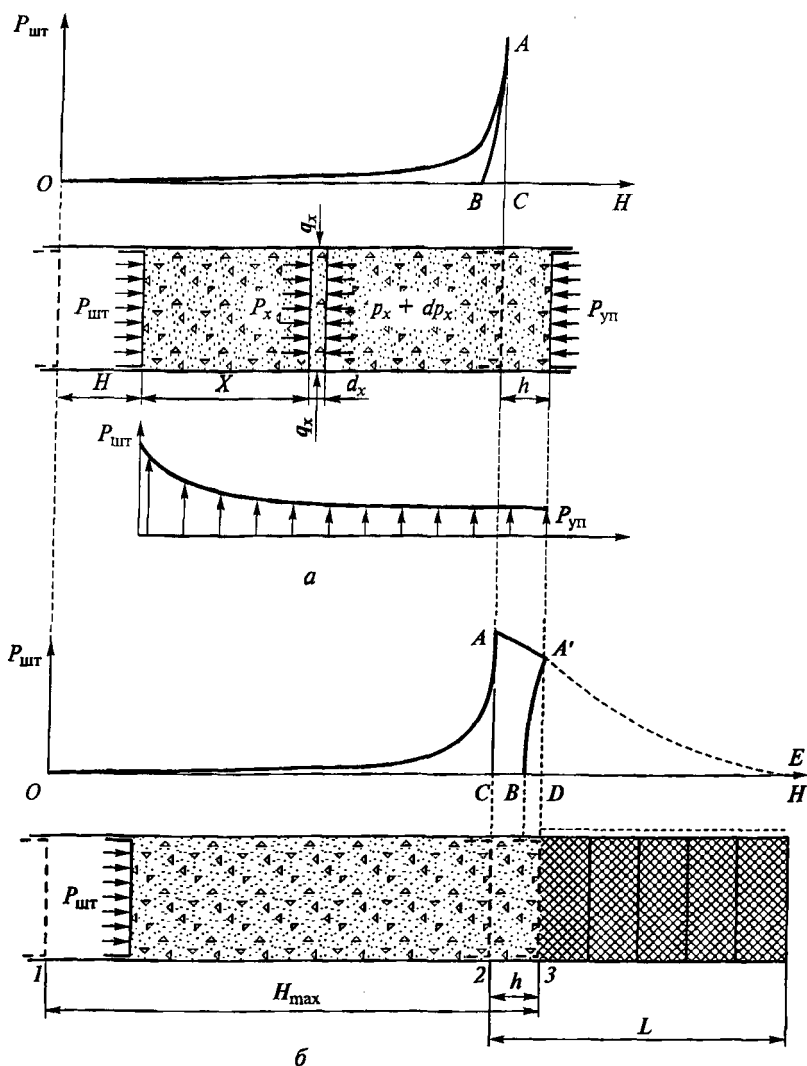


Рис. 5.6. Схемы прессования в закрытой (а) и открытой (б) камерах

Трение, кроме дополнительных затрат энергии, приводит к другим нежелательным явлениям, в частности к неравномерной плотности брикета. Это обусловлено падением давления в прессуемом материале по мере удаления от штемпеля. Для выяснения закона распределения этого давления выделим в прессуемом

материале элемент толщиной dx (рис. 5.6, а) и запишем условие его равновесия:

$$p_x U - (p_x + dp_x)U - f q_x l dx = 0, \quad (5.6)$$

где f — коэффициент трения; q_x — боковое давление в сечении x ; l — периметр поперечного сечения камеры.

Последний член выражает элементарную силу трения, действующую на элемент dx . Она обусловлена появлением бокового давления на стенки камеры.

Соотношение между осевым и боковым давлением примем в виде упрощенной линейной зависимости:

$$q_x = \xi p_x, \quad (5.7a)$$

где ξ — коэффициент бокового распора.

С учетом этого уравнение (5.7a) перепишем в следующем виде:

$$p_x U - (p_x + dp_x)U - p_x f \xi l dx = 0.$$

Разделим в полученном уравнении переменные:

$$\frac{dp_x}{p_x} = -f \xi \frac{l}{U} dx.$$

Проинтегрировав это дифференциальное уравнение, получим

$$\ln p_x + \ln c = -f \mu \frac{l}{U} x. \quad (5.7б)$$

Постоянную c определим из условия

$$x = 0; p_x(0) = p_{шт},$$

отсюда

$$\ln c = -\ln p_{шт}.$$

Подставляя полученное значение $\ln c$ в выражении (44 а), окончательно получим:

$$p_x = p_{шт} \exp\left(-f \xi \frac{l}{U} x\right). \quad (5.8)$$

Таким образом, давление в материале по мере удаления от штемпеля падает по экспоненциальному закону (см. рис. 5.6, *а*).

Соответственно давление на упоре составит величину:

$$p_{\text{уп}} = p_{\text{шт}} \exp\left(-f\xi \frac{l}{U} x_{\text{уп}}\right). \quad (5.9)$$

Таким образом, наибольшая плотность брикета достигается у штемпеля, наименьшая — у упора. Для уменьшения этого явления, приводящего к большой крошимости брикетов, необходимо искать пути снижения трения на стенках прессовальной камеры.

При перемещении штемпеля в камере по мере сжатия и уплотнения материала давление на штемпель со стороны материала возрастает. В верхней части рис. 5.6, *а* показана диаграмма прессования. Эту диаграмму получают, наклеивая на штемпель датчики давления и записывая сигнал от них. На диаграмме по оси ординат отложено давление на штемпель, по оси абсцисс — ход штемпеля. Сначала изменение давления на штемпель происходит по кривой *ОА*, близкой к кривой прессования (см. рис. 5.5). Работа, затраченная на процесс сжатия, пропорциональна площади фигуры *ОАС*. Часть этой работы, обусловленная силами трения, идет на нагрев материала и стенок камеры. При обратном ходе штемпеля давление на нем не сразу упадет до нуля, а будет снижаться по кривой *АВ*, что связано с обратным расширением брикета. Площадь фигуры *ВАС* эквивалентна работе, совершаемой сжатым материалом при его упругом расширении, и характеризует упругие свойства материала, т. е. способность к расширению после снятия нагрузки.

Расширение после сжатия — нежелательное явление, приводящее к большой крошимости брикетов или их разрушению после извлечения из камеры. Было бы заманчиво дать выстойку штемпелю в конце его рабочего хода, в этом случае напряжения в брикете бы релаксировали, и он меньше бы расширялся после снятия нагрузки. К сожалению, это связано с потерей производительности брикетным прессом.

Удельные затраты *A* рабочего процесса в открытой камере можно записать в виде следующей зависимости:

$$A = A_{\text{сж}} - A_{\text{уп}}, \quad (5.10)$$

где $A_{сж}$ — энергия, затрачиваемая на сжатие материала; $A_{уп}$ — работа упругого расширения сжатого материала (возврат части энергии в механизм пресса в начале обратного хода штампея).

Затраты энергии A в открытой камере, по сравнению с закрытой, относительно невелики. Однако другие недостатки закрытой камеры, о которых уже говорилось, конструктивно не преодолены, и прессы с такой камерой не получили распространения.

Закономерности прессования в открытой камере. Рабочий процесс в открытой камере состоит из двух стадий (рис. 5.6, б):

1) сжатие очередной порции исходного материала. Это стадия ничем не отличается от сжатия в закрытой камере, только здесь упором служат ранее прессованные брикеты;

2) проталкивание всего ряда ранее спрессованных брикетов и выталкивание из камеры одного из них.

Если в закрытой камере противодействие создается за счет упора и сил трения, то в открытой камере на стадии проталкивания — только за счет сил трения. При движении штампея вперед давление, передаваемое материалом на торец штампея, изменяется по кривой OA (см. рис. 5.6, б), ничем не отличающейся от соответствующей кривой в открытой камере. При достижении штампом положения 2 давление на нем имеет максимальное значение. Дальше начинается проталкивание брикетной ленты на длину, соответствующую толщине h одного брикета. При проталкивании вследствие уменьшения поверхности трения давление на штампе падает по кривой AA' . При обратном ходе штампея расширяющиеся брикеты оказывают на него давление, которое быстро снижается до нуля по кривой $A'B$.

Кривая $OAA'B$ представляет собой диаграмму изменения давления на штампе за один рабочий ход штампея. Площадь всей фигуры $OAA'B$ пропорциональна работе, совершаемой при получении одного брикета. Площадь OAC эквивалентна работе, затраченной собственно на процесс образования брикета. Площадь $CAA'D$ пропорциональна работе, затрачиваемой на проталкивание брикетной ленты, и которая переходит в тепловую энергию. Площадь фигуры $BA'D$ соответствуют упругому расширению брикетной ленты.

Особенностью работы открытой прессовальной камеры, как это видно на диаграмме прессования, являются большие затраты энергии на процесс проталкивания брикетной ленты, которые превосходят затраты на образование брикета в 1,5...2,0 раза. Об-

щий баланс энергии на рабочий процесс штемпельного пресса с открытой камерой можно записать в следующем виде:

$$A = A_{\text{сж}} + A_{\text{пр}} - A_{\text{уп}}, \quad (5.11)$$

где $A_{\text{пр}}$ — энергия, затрачиваемая на проталкивание брикетной ленты.

В открытой прессовальной камере, как уже говорилось, упором при формировании очередного брикета являются ранее спрессованные брикеты, удерживаемые в камере за счет сил трения. В связи с этим актуальна задача по определению длины L камеры проталкивания, чтобы сил трения было достаточно для получения брикетов заданной плотности (см. рис. 5.6 б). Эту задачу приближенно можно решить так. Перед началом выталкивания, когда штемпель находится в положении 2, давление на нем максимально и уравнивается силами трения брикетной ленты. По направлению к выходу из прессовальной камеры давления в материале уменьшаются по кривой $AA'E$, достигая нулевых значений на линии точки E на выходе из камеры.

Осевое давление в материале при выталкивании меняется от $p_{\text{шт}}$ на линии штемпеля до нуля на выходе из прессовальной камеры. Если принять линейный закон уменьшения осевого давления, то примерно по такому закону будет изменяться и боковое давление q , поскольку они связаны зависимостью (5.7а). Тогда среднее по длине боковое давление:

$$\bar{q} = \frac{p_{\text{шт max}} \xi + 0}{2} = \frac{p_{\text{шт max}} \xi}{2}.$$

Соответственно, силу трения, возникающую между брикетной лентой и стенками камеры во время проталкивания, можно определить по выражению

$$F = f \bar{q} L l = \frac{1}{2} f \xi p_{\text{шт max}} L l. \quad (5.12)$$

Однако на стадии проталкивания штемпелем преодолевается лишь сила трения, т.е.

$$p_{\text{шт max}} U = F. \quad (5.13)$$

Приравнивая эти значения силы трения, получаем

$$U = \frac{1}{2} f \xi L l,$$

откуда требуемая длина камеры проталкивания

$$L = \frac{2U}{f\xi l}. \quad (5.14)$$

Для камеры круглого сечения $l = \pi d$; $U = \frac{\pi d^2}{4}$. Тогда формула (5.14) упростится:

$$L = \frac{d}{2f\xi}. \quad (5.15)$$

Очевидно, что длину камеры нужно делать увеличенной (0,3 м и более) при больших диаметрах брикетов. В тоже время для формирования гранул диаметром около 1 см достаточно длины фильеры 5...6 см.

В открытой прессовальной камере образцы находятся некоторое время под нагрузкой, что способствует релаксации напряжений и получению качественных брикетов и гранул. Средняя скорость проталкивания v спрессованных образцов не должна превышать величины

$$v = \frac{L}{T_p}, \quad (5.16)$$

где T_p — время релаксации (по данным С.В. Мельникова: для грубостебельных кормов $T_p = 23...25$ с; для травяной муки — 12...17 с).

■ 5.5. Параметры кольцевых рабочих органов

Рабочими органами кольцевого пресса является пара матрица — валец, конструктивные параметры которых могут быть различны в зависимости от назначения (гранулирование и брикетирование) и вида уплотняемого материала.

Независимо от того, вращается матрица или водило вальцов, прессуемый материал затягивается в клиновидный зазор между матрицей и валком и уплотняется при уменьшении зазора (рис. 5.7).

В момент, когда плотность материала в клиновом зазоре становится примерно равной плотности гранул или брикетов в

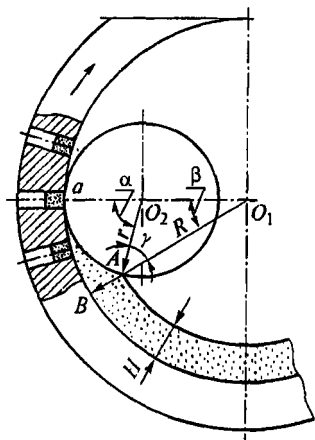


Рис. 5.7. Схема к расчету кольцевого пресса с вращающейся матрицей

фильерах канала матрицы, начинается вдавливание материала в фильеры. При этом гранулы или брикеты перемещаются в фильерах и выдавливаются через них. После прохождения фильерой минимального сечения клинового зазора происходит упругое расширение уплотненного слоя в фильерах. Брикет или гранула образуются при многократном вдавливании в фильеру отдельных порций уплотненного корма.

Определим теоретически некоторые параметры кольцевого пресса. Из схемы, приведенной на рис. 5.7, видно, что сторону AO_1 треугольника AO_1O_2 можно выразить по теореме косинусов:

$$AO_1 = \sqrt{r^2 + (R-r)^2 - 2r(R-r)\cos(180-\alpha)}.$$

Отсюда

$$R-H = \sqrt{r^2 + (R-r)^2 - 2r(R-r)\cos\alpha},$$

где H — толщина слоя исходного материала на матрице, который затягивается в кольцевой зазор (остальные порции корма сдвигаются вальцом).

Исходя из последнего выражения высоту слоя можно найти из формулы

$$H = R - \sqrt{r^2 + (R-r)^2 - 2r(R-r)\cos\alpha}.$$

В этой формуле неизвестен угол α . Найти его можно путем следующих рассуждений. При отсутствии буксования между вальцом и матрицей дуги поворота их в зоне захвата будут равны, т. е. $\alpha r = \beta R$, откуда $\beta = \alpha r / R$.

Однако из треугольника AO_1O_2 следует, что $(\pi - \alpha) + \beta + \gamma = \pi$ и $\alpha = \beta + \gamma$. Следовательно, $\gamma = \alpha - \beta$; $\gamma = \alpha[1 - (r/R)]$.

Для того чтобы валец мог захватить слой сыпучего материала и затем сжать его, необходимо, чтобы угол γ , образованный кас-

тельными соответствующим окружностям в точках A и B (на рис. 5.7 касательные не проведены), не превышал бы угла φ трения материала о поверхность вальца. Угол γ составляют также радиусы AO_2 и AO_1 как перпендикулярные указанным касательным. Следовательно, должно быть выполнено условие $\gamma \leq \varphi$. Отсюда угол прессования

$$\alpha \leq \frac{\varphi}{1 - (r/R)}. \quad (5.17)$$

Необходимость компактного размещения вальцов приводит к тому, что соотношение между радиусом вальца и матрицы строго ограничено: при двух вальцах $r/R = 0,42-0,45$; при трех — $r/R = 0,40-0,42$; B — ширина матрицы.

Таким образом, теперь известны данные для расчета толщины захватываемого слоя и производительности пресса. Последнюю можно подсчитать по формуле

$$Q = 2\pi \left(R - \frac{H}{2} \right) HB\rho z\omega\delta, \quad (5.18)$$

где z — число вальцов; ω — угловая скорость матрицы или валика вальцов; δ — коэффициент, учитывающий буксование рабочих органов и перфорацию матрицы; B — ширина матрицы.

Перфорация матрицы (отношение суммарной площади фильер к общей внутренней поверхности матрицы) составляет: для гранулирующих матриц — $0,4-0,5$; для брикетирующих — $0,70-0,75$.

Минимальная частота вращения матрицы определяется с учетом наилучших условий распределения материала на внутренней поверхности матрицы, например, чтобы он удерживался на поверхности вертикальной матрицы. Ю.В. Подколызин это условие записывает в следующем виде:

$$\frac{\omega^2 R}{g} \geq \frac{1}{\sin \varphi},$$

откуда

$$\omega_{\min} = \sqrt{\frac{g}{R \sin \varphi}}. \quad (5.19)$$

Максимальная угловая скорость должна быть ограничена в связи с возможным разрушением горячих гранул или брикетов от растягивающих напряжений, возникающих из-за действия центробежных сил. Допускается отрыв гранул и брикетов, когда они достигнут требуемой длины l по отношению к их поперечному размеру d . Для гранул по зоотехническим нормам

$$l = \theta d,$$

где θ — отношение длины гранул к ее диаметру ($\theta = 1,5-2,0$).

Отсюда получаем формулу для расчета $\omega_{\max}$:

$$\omega_{\max} = \sqrt{\frac{\sigma}{(R+L)\theta d \rho}}, \quad (5.20)$$

где σ — допустимые напряжения разрыва (для гранул из травяной муки $\sigma = 13...17$ кПа); L — длина фильеры; ρ — плотность гранулы.

Необходимую для получения гранул и брикетов длину фильеры подсчитывают по формуле (5.15).

Затраты энергии на рабочий процесс прессования в кольцевом прессе можно представить в виде следующих составляющих:

$$A = A_{сж} + A_{пр} + A_{ст} - A_{ур},$$

где $A_{ст}$ — работа на сталкивание материала с перемычек между фильерами матрицы.

В связи с наличием затрат энергии $A_{ст}$ энергоемкость кольцевых брикетных прессов в 1,5 раза выше, чем у штемпельных с открытой камерой. Другим недостатком кольцевых прессов является перетирание (измельчение) стебельных кормов, что вредно для жвачных животных.

В то же время кольцевые прессы незаменимы при производстве гранул из травяной муки, комбикорма и сильно измельченных кормовых смесей.

■ 5.6. Оборудование для гранулирования и брикетирования кормов

Для получения гранул сухим способом наибольшее распространение получили вальцовые прессы с кольцевой матрицей. К ним относятся: для гранулирования травяной муки — ОГМ-0,8А,

ОГМ-0,8Б, ОГМ-1,5А, ОПК-2А; для гранулирования комбикормов — ДГ-1 и ОГК-3. На оборудовании типа ОПК можно выполнять брикетирование травяной резки и кормовых солоmistых смесей.

В оборудовании ОГМ травяная мука из сушильных агрегатов поступает через заборник 1 (рис. 5.8) в циклон 2 и из него — в расходный бункер 4. Циклон 3 служит для улавливания пыли, уносимой с потоком воздуха из циклона 2. Чтобы мука равномерно поступала на гранулирование и в бункере не образовывались своды, в нем установлена планетарная мешалка, приводимая в действие от вала шнекового дозатора 5. Последний регулирует количество муки, поступающей на гранулирование, путем изменения частоты вращения, так как он приводится в действие автономным электродвигателем через клиноременный вариатор. При выходе из дозатора мука увлажняется водой, поступающей через систему ввода воды и распылитель 6. Вместе с водой могут вводиться антиоксиданты и связующие вещества. Равномерность увлажнения и однородность смешивания обеспечивает быстроходный лопастной кондиционер-смеситель 7, который также имеет автономный привод от электродвигателя.

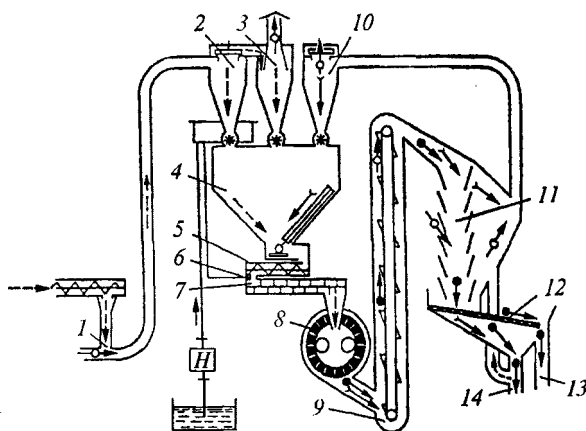


Рис. 5.8. Схема технологического процесса работы оборудования типа ОГМ:

1 — заборник муки; 2, 3 и 10 — циклоны; 4 — бункер; 5 — дозатор; 6 — распылитель воды; 7 — кондиционер-смеситель; 8 — пресс; 9 — нория; 11 — охлаждающая колонка; 12 — сортировальное сито; 13 — отборник гранул; 14 — отборник крошки и негранулированного корма; —→— вода; —○→— воздух; ---→— мука; ●→— гранулы

Из смесителя кондиционированная травяная мука самотеком поступает в приемник пресса 8, откуда направляющими лопатками подводится на внутреннюю поверхность матрицы. Выдавленные прессующими вальцами из рабочих отверстий матрицы монолиты спрессованного материала встречаются с неподвижными ножами и обламываются, образуя гранулы. Выходящие из пресса гранулы имеют высокую температуру (75...85 °С) и непрочны. Они поступают по лотку в норию 9, которая поднимает их и направляет в охладительную колонку 11. Просасываемый через колонку вентилятором циклона 10 воздух охлаждает гранулы. Последние попадают на сортировальное сито 12 и с него — в отборник 13, откуда направляются на затаривание в мешки или транспортируются к месту хранения россыпью. Часть муки может не сгранулироваться (до 5...7 %). Часть горячих гранул может рассыпаться в крошку, которая проходит под сито, через отборник 14 воздухом транспортируется в циклон 10 и направляется на повторное гранулирование.

Основной частью в комплекте оборудования типа ОГМ является пресс-гранулятор, который состоит из шнекового дозатора 5, лопастного смесителя 7, пресса 8, редуктора привода дозатора (см. рис. 5.8). Основа гранулятора — пресс (рис. 5.9), состоящий из редуктора и узла прессования с вертикальной кольцевой матрицей и двумя пассивными вальцами.

Электродвигатель через эластичную муфту соединен с валом-шестерней 1. В постоянном зацеплении с валом-шестерней находится зубчатое колесо 5, жестко закрепленное шпонкой и гайкой 4 на полом главного вала 6. К фланцу главного вала сегментами 7 прикреплена матрица 8, которая зафиксирована шпонками от проворачивания.

К наружному торцу вращающейся матрицы прикреплен конический приемник 10, образующий вместе с ее внутренней полостью камеру прессования. Внутри главного вала размещена ось 2, на одном ее конце установлены две плиты, между которыми на эксцентричных осях смонтированы прессующие вальцы 9. Зазор между рабочими поверхностями вальцов и матрицы, равный 0,3...0,5 мм, регулируют с помощью специальных рычагов и болтов 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.

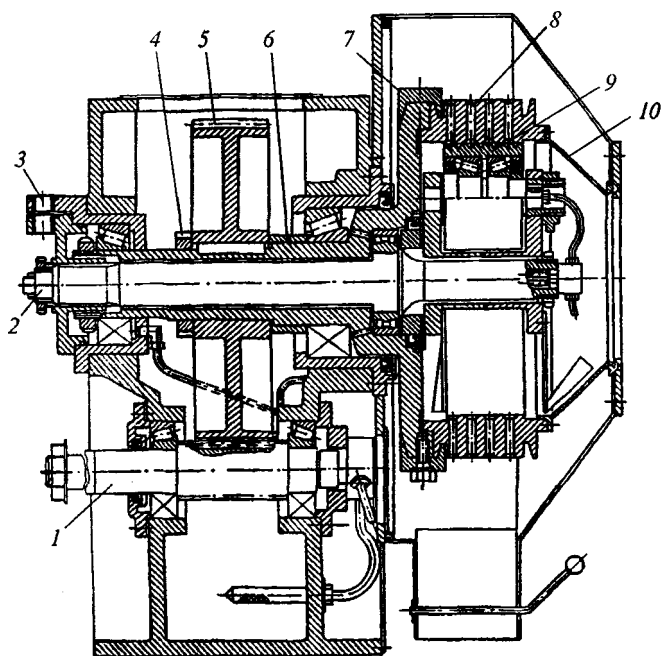


Рис. 5.9. Схема пресса-гранулятора типа ОГМ:

1 — вал-шестерня; 2 — ось; 3 — срезной штифт; 4 — гайка; 5 — зубчатое колесо; 6 — главный вал; 7 — крепежный сегмент; 8 — матрица; 9 — прессующие вальцы; 10 — приемник муки

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 вальцами и матрицей попадет посторонний предмет, валец заклинит и вращающий момент от матрицы будет передаваться на ось 2, а через нее — на срезной штифт 3. После срезания штифта фланец начнет поворачиваться и имеющейся на нем лыской нажмет на толкатель конечного выключателя. Последний отсоединит от сети все электродвигатели и остановит пресс, предохраняя его от поломки.

Рабочие органы пресса (комплект матриц и вальцов) дорогостоящие, поэтому в процессе эксплуатации необходимо обеспечить за ними надлежащий уход.

Срок службы матрицы и вальцов будет на 15...20 % больше, а производительность пресса и качество гранул более высокими,

если для кондиционирования травяной муки использовать сухой пар под давлением 0,2...0,3 МПа.

Основные составные части оборудования ОПК-2: системы накопления травяной муки или комбикорма, забора резки, дозирования и смешивания кормов с водой или паром, охлаждения и сортирования гранул или брикетов, пресс и электрооборудование. При гранулировании травяная мука или комбикорм подаются шнековыми транспортерами 1 (рис. 5.10) в накопительный бункер 3, откуда забираются дозатором 2 и направляются в смеситель 6, куда поступают вода или пар для кондиционирования. Травяная или соломенная резка забирается с помощью циклона 11 и вентилятора 12 подается на транспортер 10, а оттуда — непосредственно в смеситель на кондиционирование. После кондиционирования отдельные виды корма или их смеси, приготовленные по заданной рецептуре, направляются в пресс 7 для получения гранул или брикетов. Обычно резка или кормосмеси с резкой

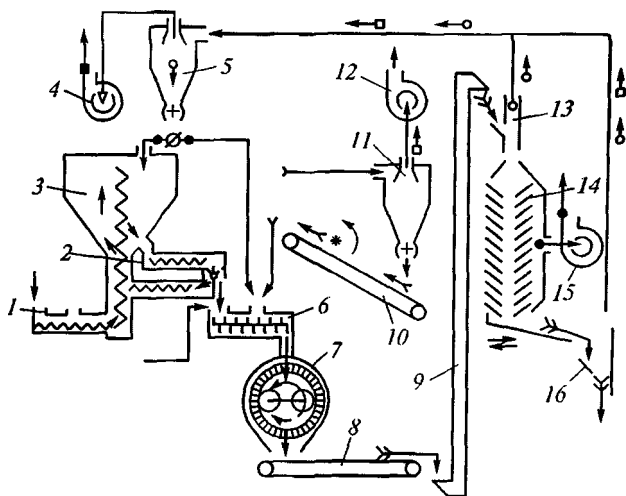


Рис. 5.10. Схема технологического процесса оборудования ОПК-2:

1 и 8 — шнековый и ленточный транспортеры; 2 — дозатор; 3 — накопительный бункер; 4 — вентилятор сортировки; 5 и 11 — циклоны сортировки и резки; 6 — смеситель; 7 — пресс; 9 — нория; 10 — транспортер резки; 12 — вентилятор резки; 13 и 16 — сортировальные отборщики; 14 — охлаждающе-сортировальная колонка; 15 — вентилятор для охлаждения гранул и брикетов; —> — резка; —>• — мука; —>◊ — брикеты, гранулы; —>◻ — крошка; —>■ — воздух

брикетируются, а мука и комбикорм — гранулируются, для чего в прессе меняются прессующие узлы.

Полученные гранулы или брикеты ленточным транспортером 8 и норийей 9 движутся в охлаждающе-сортировальную колонку 14 жалюзийного типа, где охлаждаются потоком воздуха, создаваемым вентилятором 15, и сортируются. Неспрессованный корм и крошка через сортировальные отборщики 13 и 16 потоком воздуха, создаваемым вентилятором 4 направляются в циклон 5, а оттуда на повторное гранулирование в бункер-накопитель или на брикетирование в смеситель. Отсортированные гранулы или брикеты идут на складирование или непосредственно на скормливание.

Узлы гранулирования оборудования типов ОПК и ОГМ имеют примерно одинаковую конструкцию, за исключением того, что у первого матрица стационарная, а у второго — вращающаяся. Узел брикетирования оборудования типа ОПК имеет матрицу с радиальными каналами сечением 35х35 мм, выходная часть которых регулируется пружинами.

У пресса типа ПБС с горизонтальной стационарной матрицей плотность брикетов регулируют поворотом одной стенки прессовального канала с помощью гидроцилиндров.

Все оборудование для гранулирования и брикетирования кормов осуществляет возврат несбрикетированной массы и полученной на сортировке крошки на повторное прессование. Это еще больше повышает общие затраты энергии на производство прессованных кормов. Действительно, если коэффициент возврата массы на прессования K_b (пропорционален показателю крошимости K), то, чтобы без отхода сбрикетировать 1 кг исходного материала, потребуется энергия:

$$A_* = A + AK_b + AK_b^2 + \dots + AK_b^n. \quad (5.21)$$

Это бесконечная геометрическая прогрессия со знаменателем K_b , при $n \rightarrow \infty$ она определяется выражением:

$$A_* = \frac{A}{1 - K_b}, \quad (5.22)$$

где A — энергоемкость при однократном пропуске массы через пресс. Поскольку $K_b > 0$, то $A_* > A$.

Возврат крошки на повторное прессование снижает и фактическую производительность пресса по качественным изделиям.

6. ДОЗИРОВАНИЕ КОРМОВ

■ 6.1. Основные понятия и зоотехнические требования

При приготовлении кормовых смесей одним из важнейших технологических процессов является дозирование, к которому предъявляют особые требования.

Дозирование — процесс отмеривания кормового материала с заданной точностью, т. е. с погрешностью, не выходящей за установленные требования.

Неточное дозирование компонентов снижает кормовую и биологическую питательную ценность кормовых смесей, а избыток дорогостоящих компонентов приводит к удорожанию продукции и нарушению баланса питательных веществ, а в некоторых случаях — к заболеванию животных. Особо строгую точность предусматривают при дозировании белково-витаминных и минеральных добавок, так как несоответствие норм их выдачи может привести даже к гибели животных.

Допустимые отклонения по массе при дозировании кормов для КРС, свиней и овец составляют: грубого корма, силоса, зеленой массы $\pm 10\%$, корнеплодов, плодов бахчевых культур $\pm 15\%$, комбикорма и концентрированных кормов $\pm 5\%$, кормовых дрожжей $\pm 2,5\%$, минеральных добавок $\pm 5\%$.

В практике кормоприготовления применяют массовое (весовое) и объемное дозирование, каждое из которых может быть порционным (дискретным) или непрерывным.

Для *дискретного объемного дозирования* характерно периодическое повторение цикла выпуска дозы материала, как правило, в порционный смеситель. В большинстве случаев дозаторы данного типа применяются при подготовке влажных кормовых смесей, хотя их используют и для дозирования ингредиентов комбикормов. Дозаторы этого типа просты по устройству, но далеко не всегда отвечают вышеперечисленным требованиям.

Порционное массовое дозирование основано на отмеривании дозы определенной массы. Дозирование по массе проводят различными методами и на весах различной конструкции исходя из мощности предприятия, особенностей технологического процесса и ассортимента вырабатываемой продукции. Дозаторы такого типа обеспечивают высокую точность дозирования, их устройство несложно, но множество операций, связанных с загрузкой, взвешиванием, догрузкой, выгрузкой сводят на нет все преимущества данного оборудования. Массовое дозирование не всегда дает при требуемой точности необходимую производительность, поэтому очень часто применяют комбинированные весы, на которых первоначально производят грубое взвешивание, а затем досыпку. К недостаткам весовых дозаторов следует отнести также удары механизмов в процессе работы, большую занимаемую площадь, сложность обслуживания. По этой причине весовое дозирование не нашло широкого применения в условиях кормоцехов хозяйств, хотя на больших современных комбикормовых заводах преобладает дозирование по массе.

При порционном дозировании порцию смеси составляют из компонентов, которые в необходимых количествах подготавливают или одновременно при помощи индивидуальных дозаторов, или в одном дозаторе поочередно каждый компонент. Подготовленные компоненты поступают в сборные бункера или непосредственно в смеситель, который перемешивает полученную порцию смеси в течение определенного времени.

Для массового непрерывного дозирования пока не разработано точное и надежное оборудование.

При использовании дозирования по массе компонентов комбикормов следует учитывать следующие обстоятельства. Влажность наружного воздуха колеблется от 60 до 90 %. Поскольку приготовление комбикормов в хозяйствах производится в неотапливаемых помещениях, равновесная влажность зерновых компонентов, следуя изменению влажности воздуха, может принимать значения от 12 до 20 %. Относительное изменение сухого вещества в кормах может при этом достигать 10 %. Поэтому, даже если дозировать ингредиенты по массе с нулевой погрешностью, животному сухого вещества будет доставаться то больше, то меньше. Это сводит на нет основное преимущество дозирования по массе — малую погрешность.

Объемное непрерывное дозирование менее требовательно к состоянию компонентов и при использовании соответствующего оборудования позволяет приготавливать кормовые смеси с заданным качеством. В связи с этим его широко применяют в кормоцехах. При непрерывном дозировании все компоненты подают одновременно непрерывными потоками в соотношениях, соответствующих рецептам комбикорма или составу смеси в смеси-тель, где происходит также непрерывное перемешивание.

■ 6.2. Технологические свойства дозируемых материалов

Точное соблюдение рецепта кормосмеси обеспечивает надлежащее качество готового корма. Однако непостоянство физико-механических свойств компонентов в процессе дозирования вызывает колебания подачи дозаторов, а следовательно, и подготовку кормосмесей с отклонениями от рецепта.

Основными факторами, отрицательно влияющими на процесс дозирования, являются:

- самосортирование компонентов при поступлении в наддозаторные бункеры;
- забивание рабочих органов крупногабаритными включениями;
- различная степень уплотнения кормов в бункерах, зависящая от высоты заполнения;
- повышенная влажность компонентов, способствующая слеживанию, комкованию и сводообразованию;
- наличие в днищах и стенках наддозаторных бункеров выступов и других препятствий, тормозящих свободный выход продуктов.

Некоторые компоненты обладают достаточной сыпучестью, относительно стабильно сохраняют постоянную объемную массу, хорошо заполняют рабочие полости дозатора, не вызывают затруднений при истечении из бункеров, не слеживаются и не образуют сводов. К этим кормам относятся зерновые культуры (кроме овса). К продуктам, не обладающим этими свойствами, относятся дерть, травяная и мясо-костная мука, отруби, сырье минерального происхождения и т. д.

Большие затруднения возникают при дозировании мела и соли. Мел при влажности 12 % налипает на рабочие поверхности оборудования, образуя скомкавшиеся частицы, не проходит через отверстия бункеров. Соль при влажности 6 % теряет сыпучесть и при продолжительном нахождении в бункере слеживается.

Физико-механические свойства кормов в зависимости от времени хранения изменяются, в частности, ухудшается сыпучесть. Длительное хранение кормов часто приводит к их отвердеванию. Связывающими (цементирующими) веществами являются белковые (мучнистые), минеральные и различные липкие материалы. Степень цементации частиц зависит от вида кормов, их способности при определенных условиях к комкованию. В емкостном устройстве повышенное давление и температура в присутствии влаги способствуют ускорению процесса цементации частиц.

Для сохранения сыпучести влажность комбикормов при хранении до 30 суток не должна превышать 13 %, а при более длительных сроках хранения (до 60 суток) — 11,5 %.

Жесткая связь между частицами комбикормов, а также их компонентов приобретает с увеличением времени хранения при влажности 13 % или несколько выше ее и проявляется в увеличении сил сцепления между частицами, приобретении вязкости и цементации (образуются комки различной величины).

С увеличением срока хранения начальное сопротивление сдвигу у всех компонентов комбикормов, за исключением зерновых и дробленого жмыха, увеличивается. Такие компоненты комбикормов, как микроэлементы, соли и их смеси могут отвердевать, подвергаясь колебаниям температуры, даже при хранении в воздухо непроницаемых мешках или емкостях. Повышение температуры вызывает дополнительное растворение соли, которая кристаллизуется с образованием твердых мостиков между частицами при последующем понижении температуры.

Используемые для приготовления кормовых смесей компоненты разделяют на три группы исходя из их способности к дозированию (табл. 6.1).

Несмотря на эти и другие различия, например, по гранулометрическому составу, все кормовые компоненты обладают некоторыми общими основными свойствами, которые проявляются при их дозировании, а именно: представляют множество разных

по размерам и форме частиц, связанных силами трения и сцепления; обладают свойством распорной среды, способной передавать вертикальные нагрузки во все стороны.

Таблица 6.1. Характеристика кормовых компонентов, используемых для приготовления кормовых смесей

Вид кормов	Размер частиц, мм	Влажность, %	Сыпучесть
<i>Первая группа</i>			
Зерно, ячмень, кукуруза, горох, овес, пшеница, рожь, просо	2,2–13,3	9–16	Хорошая
Травяные и зернотравяные брикеты, гранулы	10–65	9–15	Хорошая и средняя
Корнеплоды, клубнеплоды	30–160	75–85	Средняя с ухудшением при повышении загрязнения
<i>Вторая группа</i>			
Дерть, комбикорм, отруби, добавки	0,05–2	6–15	Средняя и плохая, слеживаемость, комкуемость при повышении влажности
Мука травяная, хвойная и сенная	0,05–1,5	11–15	Плохая, слеживаемость
Минеральные корма и добавки (соль, мел, костная мука и др.)	0,02–10	2–12	Хорошая — до 2 %, плохая — после 5 % влажности
<i>Третья группа</i>			
Силос, сенаж, измельченная зеленая масса	10–100	45–85	Плохая, слеживаемость
Измельченные грубые корма (сено, солома)	5–100	10–30	Плохая, слеживаемость

На процесс дозирования больше всего влияют такие свойства, как сопротивление сдвигу, коэффициент внешнего и внутреннего трения и сцепление частиц, которые проявляются в большей степени с повышением влажности продукта.

■ 6.3. Оборудование для дозирования кормов

К дозирующим устройствам объемного типа предъявляют следующие требования:

- регулирование расхода материала в заданных пределах;
- возможность работы с различными материалами;
- простота устройства, малая металло- и энергоемкость;
- удобство обслуживания, герметичность и высокая надежность;
- быстрота настройки и регулировки в зависимости от вида корма и нормы дозирования.

При объемном дозировании применяют барабанные, тарельчатые, шнековые дозаторы и все чаще — вибрационные. Продукты дозируют по двум схемам: ширине (толщине) потока продукта и скорости движения.

Дозатор ДП-1 *барабанного типа* предназначен для дозирования сыпучих продуктов. Поэтому его устанавливают не только на комбикормовых, но и на мукомольных и крупяных предприятиях. Особенностью конструкции этого дозатора (рис. 6.1) является то, что в стальном корпусе на валу закреплен барабан 1, который состоит из отдельных звездочек 3, между которыми установлены диски 2, разделяющие его на четыре секции. Секции смещены относительно друг друга на 10° по винтовой линии. Такое расположение звездочек позволяет равномерно и непрерывно подавать компоненты при их дозировании.

В зависимости от физических свойств компонентов применяют звездочки различной формы: А — для зерновых; Б — для мучнистых; В — для трудносыпучих; Г — для компонентов, входящих в рецепты в небольших количествах. Над барабаном установлен скребок для выравнивания поступающего продукта.

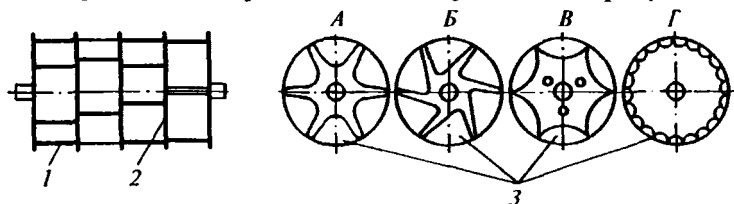


Рис. 6.1. Схема рабочего органа барабанного дозатора ДП-1:

1 — барабан; 2 — дозирующий диск; 3 — звездочки

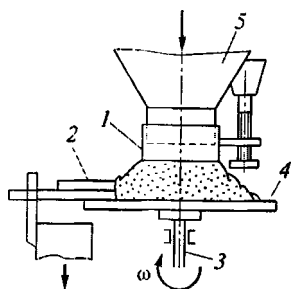


Рис. 6.2. Схема тарельчатого дозатора:

1 — манжета; 2 — скребок; 3 — вал; 4 — диск; 5 — приемный бункер

Технологическая схема подачи продукта в дозатор барабанного типа следующая. Компоненты поступают в приемную часть дозатора, где при помощи побудителя того или иного типа равномерно заполняют ячейки барабана. Вращаясь, продукт высыпается из них и выводится из дозатора.

Основной рабочий орган *тарельчатого дозатора* — вращающийся горизонтальный диск 4, с которого компоненты сбрасываются неподвижным скребком 2 (рис. 6.2). Компоненты на диск 4 поступают из приемного бункера 5 и распределяются по нему в виде усеченного конуса. Размеры конуса регулируют манжетой 1.

Тарельчатый дозатор ДТ предназначен для дозирования соли, мела и других компонентов комбикормов. При дозировании соли и мела следует учитывать состояние этих компонентов по влажности. В тарельчатых дозаторах можно дозировать мел влажностью не более 6...8 %, а соль — влажностью 3...4 %. Для дозирования трудносыпучих компонентов применяют дозатор ДДТ.

Малый тарельчатый дозатор МТД-3А предназначен для объемного дозирования минеральных компонентов комбикормов и обогатительных смесей. Его особенностью является то, что в верхней части его установлены вертикальный шнек и ворошитель, которые не допускают слеживания дозируемых компонентов и обеспечивают равномерную подачу продукта на тарелку дозатора.

Шнековый дозатор (рис. 6.3) применяют для дозирования и подачи зерновых, мелкокусковых и мучнистых компонентов. Вариатором скорости, который установлен в приводном устройстве, регулируют подачу дозатора, изменяя скорость вращения шнека 2.

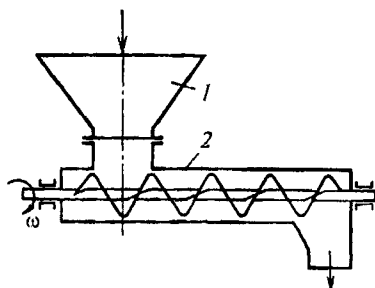


Рис. 6.3. Схема шнекового дозатора:

1 — приемный бункер; 2 — шнек

Подобного вида дозаторы (шнековые, тарельчатые) могут дозировать также измельченные корнеплоды.

Наиболее трудно дозировать силос, сено, измельченные грубые корма; неизмельченные не поддаются дозированию. В качестве питателей-дозаторов для накопления и дозированной подачи стебельчатых материалов в технологических линиях кормоприготовления широко применяют цепочно-планчатые питатели с битерными устройствами различного конструктивного исполнения (рис. 6.4). Они различаются между собой рабочими органами подающих конвейерных устройств, конструкцией битеров, их количеством и расположением, углом наклона питателей к горизонту и приемной частью.

Технологический процесс дозированной подачи стебельчатых и других связных кормов происходит следующим образом. Находящийся в бункере питателя-дозатора монолит кормового материала подается цепочно-планчатым конвейером к счесывающему устройству, состоящему из битеров. Штифты вращающихся

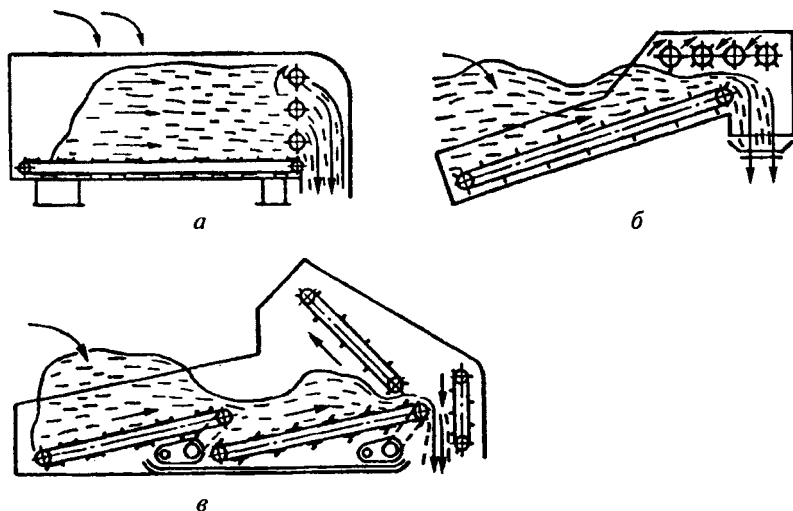


Рис. 6.4. Функциональные схемы питателей-дозаторов стебельчатых кормов:

а — горизонтальные с вертикальным расположением битеров; *б* — наклонные с горизонтальным расположением битеров; *в* — ступенчатые со счесывающим планчатым конвейером

ся битеров счесывают соприкасающийся с ними материал и выгружают на поперечный конвейер или подают непосредственно в технологическую линию сбора и смешивания компонентов приготавливаемого корма.

В любом случае пропускная способность битерной системы должна несколько превышать пропускную способность питателя, обеспечивающего подачу кормов к битерам. При этом условии система обеспечивает дозированную выдачу связанных кормовых материалов с допустимыми отклонениями. Для повышения точности дозирования стебельчатых кормов нередко применяют двухстадийную систему, состоящую из питателей-дозаторов битерного типа и выравнивающего устройства, которое обеспечивает сглаживание поступающего от питателя кормового потока и автоматическое управление его работой.

Скорость движения конвейера регулируют храповым механизмом или вариатором. Особенностью рассматриваемых устройств является зависимость подачи дозируемого корма от заполнения емкости накопителя. В начальный период работы, когда кормовая масса еще не сформировалась у битеров и режим их работы не стабилизировался, темп подачи материала значительно отстает от нормы. При установившемся режиме количество выданного корма в единицу времени и точность дозирования соответствуют расчетным показателям. По мере уменьшения объема кормовой массы в бункере начинается сдвиг, а затем обрушение верхних слоев массы. Количество выдаваемого корма при этом резко уменьшается и составляет 60...70 % нормы установленной выдачи. Чтобы избежать нарушения нормы выдачи дозируемых кормов, особенно в условиях их непрерывного дозирования и смешивания, постоянно следят за уровнем кормов в накопительном бункере и дополняют его по мере опорожнения или оснащают питатели-дозаторы дополнительными устройствами, обеспечивающими стабильность геометрической формы обрабатываемого битерами монолита кормового материала.

Равномерность выдачи связана с битерами, конструктивные и кинематические параметры которых влияют на количество захватываемого каждой гребенкой корма и формирование выгружаемого валка массы на сборном или выгрузном конвейере. Поэтому определяют оптимальную, увязанную с подачей продольного

конвейера частоту вращения битеров и другие параметры исходя из постоянства скорости продольного конвейера.

Дозаторы массового (весового) типа позволяют с большей, чем объемные, точностью (в условиях постоянного микроклимата) составлять рецепты смесей с погрешностью в пределах ($\pm 0,1-1$) %. Поэтому их необходимо применять в линиях приготовления премиксов, белково-витаминных добавок и комбикормов повышенного качества с введением компонентов, составляющих менее 3 % смеси.

Применение массовых дозаторов в комбикормовой промышленности, как правило, сочетается с порционным смешиванием компонентов и автоматизацией управления линиями. По конструкции весовые дозаторы аналогичны между собой (рис. 6.5) и отличаются количеством питателей и грузоподъемностью ковша. Система управления весами приводится в действие пневматикой, давление воздуха составляет 0,4 МПа, расход — 0,4 м³/ч.

Каждый отдельный компонент в соответствии с заданным рецептом подается на весы винтовыми питателями, которые

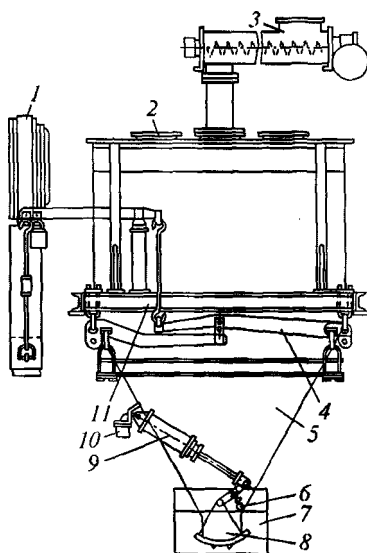


Рис. 6.5. Автоматический многокомпонентный дозатор серии ДК:

1 — циферблатный указатель; 2 — люк для питателя; 3 — питатель; 4 — рычажная система; 5 — ковш весов; 6 — конечный выключатель; 7 — брезентовые рукава; 8 — днище; 9 — пневматический цилиндр управления секторными заслонками днища; 10 — электропневматический клапан; 11 — станина

имеют индивидуальный привод от скоростных электродвигателей. Питатели переключают для последовательной подачи компонентов с бункеров автоматически, после получения порции заданной массы. При этом в конце подачи каждой порции винтовой конвейер переключается на сниженное число оборотов для более осторожной досыпки. Взвешенная порция также автоматически выгружается с ковша весов в смеситель либо в приемный накопительный бункер. После этого начинается новый цикл взвешивания.

Дозирование по массе компонентов в линиях приготовления влажных кормовых смесей на животноводческих фермах применяют по двум технологическим схемам:

- последовательное взвешивание каждого компонента с выгрузкой его в накопительный бункер, соответствующий емкости кузова мобильного кормораздатчика-смесителя;
- последовательное взвешивание и загрузка компонентов в порционный смеситель, установленный на механических или тензометрических весах (в данном случае бункер смесителя является и накопительным).

Указанные схемы дозирования позволяют также автоматизировать управление технологическим процессом приготовления смесей.

Массовое непрерывное дозирование, как уже указывалось, пока затруднено из-за отсутствия надежных и простых по конструкции весовых дозаторов непрерывного действия. Имеющиеся системы уступают порционным по точности и экономическим показателям. Учитывая, что само непрерывное дозирование позволяет значительно повысить производительность всего комплекта оборудования при приготовлении различных кормовых смесей, целесообразен поиск более совершенных устройств для обеспечения измерения массы потоков, управления ее дифференциальным и интегральным значениями с погрешностью, не превышающей погрешности порционных дозаторов. В этой связи представляют интерес безынерционные акустические расходомеры.

■ 6.4. Технологические характеристики дозаторов

Независимо от способа дозирования и типа дозатора, в конечном итоге, контролируется подача корма только по массе.

Рассмотрим источники возникновения погрешности дозирования на примере конкретного дозатора ленточного типа, для которого подача q может быть записана в виде простой формулы:

$$q = F \nu \rho, \quad (6.1)$$

где F — площадь поперечного сечения корма на ленте; ν — скорость ленты; ρ — плотность дозируемого материала.

Требуемая подача может достигаться посредством изменения F . В этом случае площадь определяющего сечения F является управляющим параметром, и с его помощью осуществляется настройка дозатора на требуемую подачу. С таким же успехом управляющим параметром может служить ν — скорость ленты или F и ν в совокупности.

Для определенности будем использовать один регулируемый параметр — F . Тогда для достижения конкретной подачи необходимо установить площадь сечения F_1 , при этом подача будет равна

$$q_1 = F_1 \nu \rho.$$

Фактически же мы можем установить сечение больше или меньше требуемого, т. е.:

$$F_1^* > F_1 \text{ и } F_1^{**} < F_1. \quad (6.2)$$

На производстве это связано с небрежностью операторов, неточностью тарифовочных графиков и т. д.

Неравенства (6.2) определяют *систематическую ошибку* дозирования, поскольку при данной настройке дозатора она постоянна по величине и знаку.

Величины ν и ρ определяют *случайную ошибку*. Скорость ν зависит от случайного колебания напряжения в электрической сети, не учитываемых изменений сопротивления в приводе дозатора, скольжения электродвигателя и т. д. Плотность ρ зависит от влажности, гранулометрического состава и других показателей, которые изменяются случайным образом.

Из теории ошибок следует, что *общая относительная ошибка* (отклонение) подачи $\Delta q/q$ данного дозатора может быть записана в следующем виде:

$$\frac{\Delta q}{q} = \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \nu}{\nu}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \rho}{\rho}\right)^2} \cdot 100 \%,$$

где $\Delta q, \Delta F, \Delta v, \Delta \rho$ — абсолютные изменения параметров процесса дозирования; $\Delta F/F, \Delta v/v$ — относительные отклонения параметров, влияющих на подачу дозатора.

Если обозначить: $\delta = \Delta q/q$; $\mu = \Delta F/F$; $v^2 = (\Delta v/v)^2 + (\Delta \rho/\rho)^2$, то выражение для относительной ошибки можем записать в виде:

$$\delta = \sqrt{\mu^2 + v^2}.$$

Отсюда общая относительная погрешность δ равна квадратичной сумме относительной систематической μ и относительной случайной v погрешностям дозирования.

Это положение является верным в том случае, если погрешности μ и v независимы. Данное условие заведомо выполняется при дозировании кормов.

Таким образом, систематические и случайные составляющие погрешности формируют общую погрешность дозирования. Это справедливо для всех дозаторов объемного типа.

Очевидно, что приведенные в разд. 6.1 зоотехнические требования на отклонения массы каждого вида корма при его дозировании касаются систематической и случайной погрешностей в совокупности.

Рассмотрим характеристики дозаторов объемного типа, работающих в непрерывном и дискретном режимах. Согласно нормам и терминологии ОСТ 70.19.2–83 основными показателями работы дозаторов непрерывного действия, определяющими их пригодность к выполнению технологических операций, являются: *пределы подачи каждого ингредиента* $q_{\min} \dots q_{\max}$ (кг/с); *погрешность дозирования* — μ (%); *неравномерность подачи*, характеризуемая коэффициентом вариации v (%). Чтобы установить эти показатели на заданном режиме работы дозатора отбирают подряд 30 порций в интервале 1 с, которые взвешивают с погрешностью до 1 %. Полученные дискретные значения массы порций обрабатывают методами математической статистики, определяют среднее значение $\bar{q}$, погрешность дозирования μ , среднее квадратическое отклонение σ_q , коэффициент вариации подачи v .

Расчеты для нахождения оценок этих величин выполняют по следующим формулам:

$$\bar{q} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n}; \quad \mu = \left| \frac{q - q_{\text{рас}}}{q_{\text{рас}}} \right| \cdot 100\%; \quad (6.3)$$

$$\sigma_q = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(q_i - \bar{q})^2}{n-1}}; \quad v = \frac{\sigma_q}{\bar{q}} \cdot 100\%, \quad (6.4)$$

где n — число отобранных порций ($n = 30$); $q_{\text{рас}}$ — расчетное (заданное) значение подачи.

По этим показателям можно сравнивать дозаторы между собой.

Минимальная подача q_{min} указывается в перечне показателей, поскольку при работе на малых подачах дозаторы имеют очень большую погрешность, превосходящую зоотехнические нормы. Подача q_{min} соответствует подаче, при которой погрешность дозирования приемлемая.

Пояснение остальным показателям дано на рис. 6.6, где приведены расчетные $q_{\text{рас}}(t)$ и фактические $q(t)$ характеристики дозатора.

Если принять в первом приближении, что процесс дозирования является случайным эргодическим (т. е. с устойчивыми статистическими характеристиками), а величина q имеет нор-

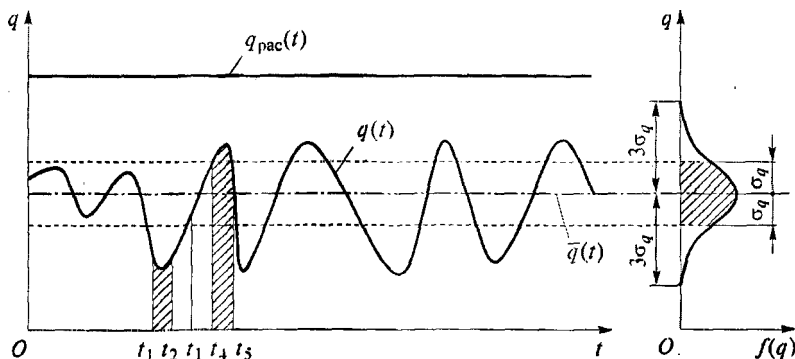


Рис. 6.6. График подачи материала объемным дозатором непрерывного действия

мальное распределение с дисперсией σ^2 , то можно прийти к формулам (6.3) и (6.4).

Очевидно, что ОСТ 70.19.2–83 отождествляет термин «погрешность» дозирования с систематической, а термин «неравномерность» дозирования — со случайными ошибками дозирования.

Систематическую ошибку можно уменьшить тщательной настройкой дозатора с предварительной его тарировкой. В идеале необходимо, чтобы $q_{\text{рас}} = \bar{q}$. Однако даже при этом случайный характер изменения значения q близко к значению $q_{\text{рас}}$ может существенно изменить рецептурный состав кормосмеси. Действительно, если взять пробы на выходе из дозатора, то полученные порции будут существенно различаться по массе (см. рис. 6.6), хотя $t_2 - t_1 = t_5 - t_4$:

$$\int_{t_1}^{t_2} M(t) dt \neq \int_{t_4}^{t_5} M(t) dt.$$

Случайная ошибка, т. е. неравномерность дозирования, существенно зависит от конструктивных особенностей дозатора, вида и состояния дозируемого материала и т. д. Дозаторы непрерывного действия, как уже указывалось, непрерывно подают дозируемый материал в смесители непрерывного действия. Смесители в большей или меньшей степени обладают *сглаживающей способностью*, т. е. выравнивают при смешивании неравномерный поток материала, идущий от дозатора. Таким образом, наиболее правильный подход к описанию получения кормосмеси состоит в совместном рассмотрении процессов дозирования и смешивания.

Доказано, что наибольшую информацию о процессе дозирования можно получить в том случае, если в период испытаний дозатора по порядку отобрать 30 порций, каждая из которых соответствует подаче дозатора за 1 с, что и утверждено в упомянутом выше ОСТе.

Неравномерность дозирования оценивается коэффициентом v вариации подачи. Для рассмотренных дозаторов непрерывного действия он равен:

$$v = \frac{\sigma_q}{\bar{q}} \cdot 100 \%. \quad (6.5)$$

Коэффициент вариации выражает относительную меру разброса подачи дозатора относительно среднего значения. Лучший дозатор тот, у которого коэффициент вариации V меньше.

Рассмотрим подробнее статистический смысл этого показателя. Для этого вспомним, что средняя квадратическая ошибка выражает наиболее вероятное ($P = 68\%$) значение случайной величины. В нашем случае это означает, что 68% полученных результатов подачи будут располагаться в интервале (см. рис. 6.6):

$$\bar{q} \pm \sigma_q = \bar{q} \pm \bar{q}v = \bar{q}(1 \pm v),$$

где v выражено не в процентах, а в относительных единицах.

Другой смысл этого интервала состоит в том, что если отобрана одна секундная порция корма на выходе из дозатора, то вероятность того, что масса этой порции попадет в указанный интервал, будет также составлять 68% .

Специалисты пришли к выводу, что для дозирования дерти, комбикормов, их компонентов необходимо, чтобы $v \leq 5\%$, для дозирования силоса, сенажа, грубых кормов — $v \leq 10\%$.

Таким образом, наиболее вероятный интервал подач дозатора должен быть не более:

- $(0,95-1,05)\bar{q}$ для дерти, комбикормов;
- $(0,90-1,10)\bar{q}$ для других видов кормов.

При отсутствии систематической ошибки это согласуется с зоотехническими допусками на процессы дозирования. Кроме того, наиболее значительные случайные всплески подачи дозатора сглаживает смеситель. С учетом этого следует признать допустимые значения коэффициента вариации в 5 и 10% вполне приемлемыми.

Для объемных дозаторов непрерывного действия (питателей), работающих на смесители периодического действия, важна не неравномерность подачи дозатора, а отклонение накопленной дозы M корма от заданного значения и ее разброс от одного рабочего цикла к другому. Эти характеристики можно получить опытным путем по рекомендации того же ОСТ 70.19.2-83, но фиксировать массу отобранных порций нарастающим итогом.

Таким способом можно определить интегральную характеристику дозатора (рис. 6.7).

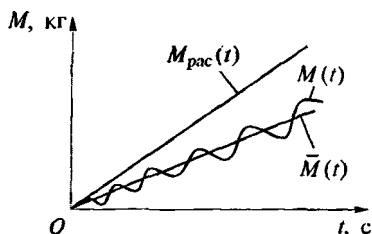


Рис. 6.7. График накопления дозы M корма при подаче его объемным дозатором (питателем) непрерывного действия

В смесителе периодического действия все неравномерности подачи дозатора полностью сглаживаются, поэтому величину дозы можно записать в следующем виде:

$$M = \bar{q}t.$$

Однако среднее значение подачи $\bar{q}$ от одного испытания к другому изменяется случайным образом и имеет нормальный за-

кон распределения вероятностей.

Из положений математической статистики следует, что стандартное отклонение подачи σ_q и стандартное отклонение средней подачи $\sigma_{\bar{q}}$ связаны соотношением:

$$\sigma_{\bar{q}} = \frac{\sigma_q}{\sqrt{n}},$$

где n — по-прежнему число отобранных порций при испытаниях дозатора.

Следовательно, при подсчете величины дозы необходимо учитывать, что среднее значение подачи может изменяться в следующих пределах:

$$\bar{q} \pm \sigma_{\bar{q}} = \bar{q} \pm \frac{\sigma_q}{\sqrt{n}} = \bar{q} \pm \frac{v\bar{q}}{\sqrt{n}} = \bar{q} \left(1 \pm \frac{v}{\sqrt{n}} \right).$$

Очевидно, что разброс значений подач при этом методе дозирования имеет меньшее значение. Здесь на первый план выступает ошибка фиксирования времени t накопления дозы, переходные режимы при включении и отключении дозатора. Однако неточная настройка дозатора на ту или иную подачу всегда может быть скорректирована временем его работы.

■ 6.5. Принцип связного дозирования компонентов кормосмеси

В предыдущем разделе указывалось, что существующие нормативные документы нацеливают на стабилизацию подачи каждого дозатора, устранение неравномерности подачи. Действительно, в этом случае можно получить кормосмесь, соответствующую в (допустимых пределах) рецепту. Однако кормосмесь требуемого рецептурного состава можно получить исходя из других принципов.

Для упрощения примем, что кормосмесь состоит из двух компонентов X и Y , причем требуется выполнение соотношения $X/Y = \epsilon$ и соотношения подач дозаторов $q_x/q_y = \epsilon$. На рис. 6.8 показаны традиционный и предлагаемый подходы к решению задачи получения кормосмеси требуемого состава. Суть последнего подхода состоит в том, что неравномерность подачи не регламентируется, устанавливается ограничение лишь на колебания соотношения компонентов ϵ . В этом случае, если подача одного из компонентов по каким-то причинам изменилась, то подача второго изменяется (копируется) точно по такому же закону. В результате соотношение компонентов ϵ остается примерно одинаковым при этих изменениях подач. Пусть дозаторы для этих двух компонентов настроены так, что у них отсутствует систематическая ошибка. Тогда погрешность дозирования имеет только случайный характер, в результате чего появляется неравномерность дозирования. Обозначая дисперсию подачи первого доза-

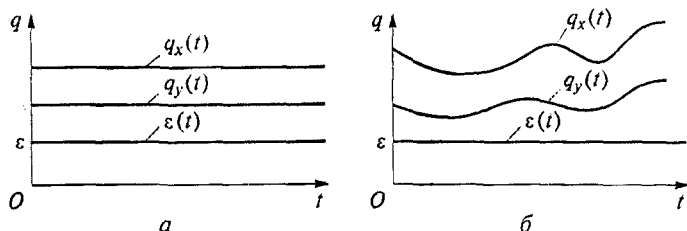


Рис. 6.8. К обоснованию принципа связного дозирования:

a — графики дозирования при обычном дозировании; $б$ — то же при связном дозировании

тора σ_x^2 , а второго σ_y^2 , подсчитаем дисперсию соотношения по-
дач $q_x/q_y = \varepsilon$, которую обозначим σ_ε^2 .

Случайная величина ε является, таким образом, функцией
двух случайных величин q_x и q_y .

Из теории случайных функций известно, что в общем случае
дисперсия новой величины, как функция двух других случайных
величин, выражается в следующем виде:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial q_x} \right)^2 \sigma_{q_x}^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial q_y} \right)^2 \sigma_{q_y}^2 + 2 \frac{\partial \varepsilon}{\partial q_x} \frac{\partial \varepsilon}{\partial q_y} \sigma_{q_x q_y}, \quad (6.6)$$

где $\sigma_{q_x q_y}$ — смешанный второй момент для q_x и q_y (корреляцион-
ный момент).

Корреляционный момент подсчитывается в опытах по формуле

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_{xi} - \bar{q}_x)(q_{yi} - \bar{q}_y).$$

Для нашего случая $\varepsilon = q_x/q_y$, откуда имеем следующие зна-
чения производных:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial q_x} = \left(\frac{q_x}{q_y} \right)'_{q_x} = \frac{1}{q_y}; \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial q_y} = (q_x q_y^{-1})'_{q_y} = -\frac{q_x}{q_y^2}, \quad (6.7)$$

следовательно,

$$\sigma_\varepsilon^2 = \frac{\sigma_{q_x}^2}{q_y^2} + \left(\frac{q_x}{q_y^2} \right)^2 \sigma_{q_y}^2 - \frac{2q_x}{q_y^3} \sigma_{q_x q_y}.$$

Если дозирование каждого из компонентов осуществляется
независимыми дозаторами, то величины q_x и q_y некоррелированы
и $\sigma_{q_x q_y} = 0$. Тогда дисперсия величины ε для несвязного дозиро-
вания вычисляется по выражению:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \frac{\sigma_{q_x}^2}{q_y^2} + \left(\frac{q_x}{q_y^2} \right)^2 \sigma_{q_y}^2. \quad (6.8)$$

Сопоставляя выражения (6.8) и (6.7) видим, что всегда при коррелированных величинах q_x и q_y (т.е. при связанном дозировании) величина σ_ϵ^2 меньше, чем при независимо работающих дозаторах.

Подсчитаем коэффициент вариации величины ϵ для связанного дозирования

$$v_\epsilon = \frac{\sigma_\epsilon}{\epsilon} = \frac{\sigma_\epsilon}{(\bar{q}_x / \bar{q}_y)} = \frac{\frac{1}{\bar{q}_y} \sqrt{\left(\sigma_{q_x}^2 + \frac{\bar{q}_x^2}{\bar{q}_y^2} \sigma_{q_y}^2 - 2 \frac{\bar{q}_x}{\bar{q}_y} \sigma_{q_x q_y} \right)}}{\bar{q}_x / \bar{q}_y} = \quad (6.9)$$

$$= \sqrt{\frac{\sigma_{q_x}^2}{\bar{q}_x^2} + \frac{\sigma_{q_y}^2}{\bar{q}_y^2} - \frac{2 \sigma_{q_x q_y}}{\bar{q}_x \bar{q}_y}}.$$

В теории случайных функций известно неравенство Шварца:

$$|\sigma_{q_x q_y}| \leq \sigma_{q_x} \sigma_{q_y}. \quad (6.10)$$

Если подставить максимальное значение $\sigma_{q_x q_y}$ в выражение (6.9), то получим

$$v_\epsilon = \sqrt{v_{q_x}^2 + v_{q_y}^2 - 2 v_{q_x} v_{q_y}}.$$

Под корнем находится полный квадрат разности v_{q_x} и v_{q_y} , т. е.:

$$v_\epsilon = \sqrt{(v_{q_x} - v_{q_y})^2} = |v_{q_x} - v_{q_y}|. \quad (6.11)$$

Из формулы (6.11) следует важнейший вывод: коэффициент вариации величины ϵ равен разности коэффициентов вариации подач отдельных дозаторов. Теоретически можно получить даже нулевое значение v_ϵ .

Рассчитав соответствующий показатель для независимо работающих дозаторов (для несвязанного дозирования), получаем

$$v_\epsilon = \sqrt{v_{q_x}^2 + v_{q_y}^2}, \quad (6.12)$$

т. е. выполняется обычное геометрическое сложение коэффициентов вариации.

Сопоставление результатов (6.11) и (6.12) говорит о несомненных преимуществах связанного дозирования.

Встает вопрос о том, как технически осуществить принцип связанного дозирования. Здесь очевидны следующие требования:

- 1) дозаторы, а следовательно, и компоненты, должны быть близки, в первом случае по конструкции, во втором — по физико-механическим свойствам (скорее всего принцип связанного дозирования можно внедрить при производстве комбикормов);
- 2) дозаторы должны иметь привод от одного двигателя;
- 3) кинематическая цепь в приводе каждого дозатора должна быть минимальной или вообще отсутствовать;
- 4) дозируемые материалы должны приводиться в такое динамическое состояние, при котором их физико-механические свойства становятся идентичными.

На основе этих требований в АГАУ разработан многокомпонентный вибрационный дозатор для одновременного дозирования четырех компонентов комбикормов. Он может дозировать фуражное зерно, дерть, отруби, жмых и т. д. На его основе разработан комбикормовый агрегат.

Вибрационный дозатор (рис. 6.9) содержит бункер 5, разделенный вертикальными перегородками на четыре равных отсека (по числу компонентов). Система возбуждения включает тросовые подвески 1 и вибровозбудитель 4. Побудительный узел 2 и

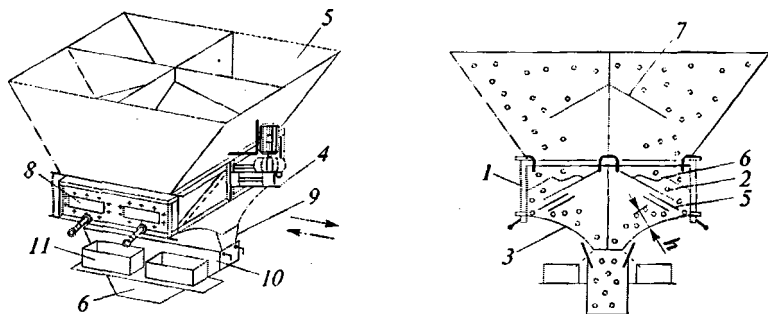


Рис. 6.9. Вибрационный дозатор с пробоотборником:

1 — подвеска; 2 — побудительный узел; 3 — виброрядище; 4 — вибровозбудитель; 5 — бункер; 6 — лопатки; 7 — козырьки-отражатели; 8 — технологическое окно; 9 — направляющие; 10 — корпус; 11 — мерная емкость

прикрепленные к нему лопатки 6 служат для создания требуемого динамического состояния сыпучей среды, отделяемой от общей ее массы, находящейся в бункере.

Работает вибродозатор следующим образом. Исходные компоненты загружаются в отсеки бункера 5. При включении вибровозбудителя дебалансы генерируют вынуждающую силу, которая вызывает колебания побудительного узла 2 и виброднища 3. Лопатки 6 побудительного конуса воздействуют на дозируемые материалы, вызывая их виброожижение.

Высота и шаг установки лопаток побудителей в каждом отсеке дозатора подобраны исходя из условия создания для материалов с разными физико-механическими свойствами одинакового состояния — эффекта псевдоожижения, придающего им минимальную вязкость и максимальную текучесть. Под действием этого эффекта материалы легко истекают через зазор вниз равномерным слоем, попадают на виброднище 3, транспортируются по нему и выводятся из дозатора. Профиль виброднища 3 выполнен таким образом, что движение по нему материалов происходит слоем одинаковой толщины. Это исключают сгуживание материалов (следует отметить, что каждый компонент обособлен от других и их смешивание происходит лишь в конусе пробоотборника).

Чтобы избежать нежелательного распространения вибраций в верхние слои материалов, находящихся в бункере, над побудительным узлом 2 расположены козырьки-отражатели 7. Последние способствуют снижению энергоемкости процесса, а также тому, что параметры колебаний рабочих органов поддерживаются постоянными и не зависящими от высоты столба кормовых материалов в бункере.

Заданная подача каждой секции устанавливается при помощи заслонок 5, положение которых задает толщину слоя дозируемого материала h на виброднище 3. Заслонки 5 перемещаются по направляющим (в интервале от 0 до $h_{\max}$), причем $h_{\max} < h_c$, (h_c — высота слоя материала в виброожиженном состоянии). В случае отключения вибровозбудителя происходит надежное запираание материалов в дозаторе. Это обусловлено геометрией виброднища 3, в котором начальный угол образующей меньше угла внешнего трения материалов.

Для контроля за движением материала в каждом отсеке дозатора имеются технологические окна 8. Окна съемные, что позво-

ляет в случае необходимости производить очистку внутренних полостей дозатора.

Под дозатором расположен пробоотборник, предназначенный для одновременного отбора проб всех компонентов. Пробоотборник крепится к наддозаторному бункеру (т. е. вибрации на него не распространяются) и состоит из корпуса 10 конусной формы, откидных направляющих 9 и мерных емкостей 11.

При проверке откидные направляющие переводятся в положение «отбор проб» (на рис. 6.9 эта позиция показана пунктиром) и потоки материалов идут без смешивания в мерные емкости. Количество мерных емкостей соответствует количеству секций дозатора.

Как видно из конструкции, все четыре компонента дозируются одним рабочим органом с единым виброприводом.

Трансмиссия отсутствует, поскольку вибропривод установлен непосредственно на рабочем органе. Под действием вибрации компоненты во всех четырех отсеках приводятся в виброожиненное состояние, обладают одинаковыми динамическими свойствами и легко истекают из рабочей зоны дозатора. Как видно, любые случайные воздействия на привод одинаково отражаются на работе всех четырех секций, и уменьшение или увеличение подачи происходит синхронно по всем четырем компонентам.

Максимальная подача каждой секции в зависимости от вида корма составляет от 600 до 1200 кг/ч. Установленная мощность — 1,1 кВт.

Испытание дозатора путем создания больших перепадов напряжения в питающей электрической сети (т. е. искусственно создается неустановившийся режим работы дозатора) проводили с использованием двух компонентов: пшеничной дерти и ячменя. Зерна ячменя служили контрольным компонентом (одна секция). Как видно из полученных результатов (рис. 6.10), кривые подач по каждому компоненту идентичны, что и говорит о связности дозирования. В то же время дозатор устойчиво поддерживает соотношение компонентов, т. е. стабилизирует показатель ϵ . Коэффициент вариации v_{ϵ} составил в этих немыслимых для практики условиях всего 6,5 %, в то время как для дерти v_{q_x} — 31,3 %, для ячменя v_{q_y} — 34,5 %. Обратим внимание еще раз на то, что та-

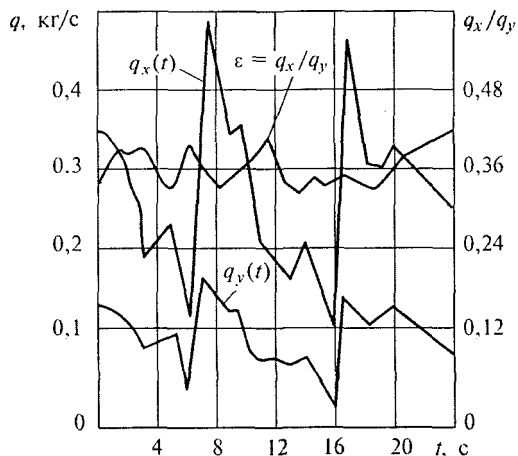


Рис. 6.10. График связанного дозирования двух компонентов во времени (неустановившийся режим)

кие большие коэффициенты вариации подачи по отдельным компонентам были искусственно созданы, а не присущи данному дозатору. Разность $v_{q_y} - v_{q_x} = 3,2\%$ близка к $v_\varepsilon = 6,5\%$, что говорит о правильности теоретических предпосылок по связанному дозированию.

7. СМЕШИВАНИЕ КОРМОВ

■ 7.1. Зоотехнические требования

Завершающей операцией приготовления кормовых смесей является смешивание компонентов в специальных устройствах — смесителях порционного или непрерывного действия. С зоотехнической точки зрения важно не только ввести в состав кормосмеси предусмотренные рационом компоненты в требуемом соотношении, но и необходимо, чтобы все они были равномерно распределены во всем объеме смеси. Однородность смеси обеспечивает одинаковую питательную ценность корма во всех частях его объема. Использование для кормления животных неоднородных по своему составу смесей значительно снижает их продуктивное действие. Особенно важно распределять в массе кормосмеси компоненты, вводимые в небольших количествах и имеющие высокую кормовую ценность или биологическую активность: комбикорма, белково-витаминные добавки (БВД), премиксы, витамины, микроэлементы, лекарственные препараты и др.

Однородность смеси имеет большое значение, поскольку сучточный рацион, а тем более одноразовая дача корма животным, и особенно птице, очень мала. В отдельных случаях она исчисляется несколькими десятками граммов. И в этом небольшом количестве корма должны быть все вещества, предусмотренные рационом комбикормов, БВД, премиксов и т. д.

Равномерность распределения компонентов обеспечивается их смешиванием.

Цель смешивания — превращение некоторого перечня компонентов в кормосмесь с определенными свойствами. Иначе говоря, смешивание — совокупность процессов направленного формирования однородных по составу, плотности и физико-механическим свойствам систем из набора требуемых компонентов.

Иногда операцию смешивания совмещают с основным или дополнительным измельчением компонентов. В частности, хоро-

шим смешивающим эффектом обладают молотковые дробилки, что успешно используется при производстве комбикормов. При приготовлении влажных кормосмесей применяют измельчители-смесители с ножевыми рабочими органами.

В зависимости от вида и способа содержания животных или птицы, принятого типа кормления, а также наличия кормов в хозяйстве кормовые смеси готовят разной консистенции:

- сухие (комбикорма и кормосмеси) — влажность $W = 13...15\%$;
- влажные рассыпные ($W = 45...70\%$);
- жидкие (текучие) ($W = 75...85\%$).

Все эти смеси получают путем механического перемешивания с получением однородной массы. Поэтому качество смешивания определяется степенью однородности смеси, минимум которой устанавливают зоотехнические требования:

- для свиней — 85% ;
- птицы — 90% ;
- КРС — 80% (с вводом карбамида — 90%);
- комбикормов собственного производства — $90...95\%$.

Перемешивание кормовой массы иногда проводят для перераспределения влаги, тепла и растворения некоторых добавок.

■ 7.2. Основные принципы смешивания

В смесителях происходит взаимное перемещение частиц различных компонентов, причем в идеальном случае может быть получена смесь, в любой точке которой соотношение компонентов соответствует заданному (рис. 7.1). Такое идеальное распределение возможно в смеси, где компоненты состоят из сферических частиц одинаковых свойств и размеров, и при отсутствии гравитации. Естественно, что в кормах этого быть не может, так как смесь компонентов состоит из частиц разных размеров, которые обладают различными физико-химическими свойствами. Поэтому на процесс их перемещения влияет огромное число факторов, а в малых объемах смешиваемого продукта возможно бесконечное разнообразие взаимного расположения частиц. Следовательно, соотношение компонентов в любом объеме смеси — случайная величина. Исходя из этого современные методы оцен-

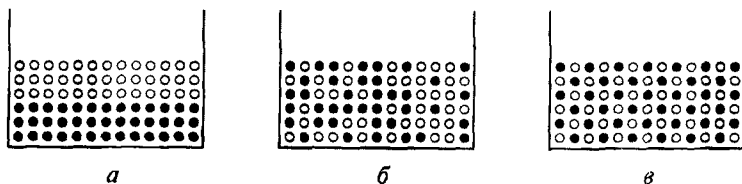


Рис. 7.1. Стадии смешивания двух компонентов:

а — исходное состояние; *б* — статистическое распределение компонентов в процессе смешивания; *в* — идеально перемешанная смесь (практически не осуществима)

ки качества кормовых смесей, степени их однородности основаны на методах статистического анализа. Большое число компонентов создает систему со многими случайными величинами, законы которой очень сложны. Для оценки качества смеси обычно выделяют компоненты, содержание которых в ней должно быть сравнительно небольшим, так как наиболее сложно распределить равномерно в смеси именно такие компоненты. Желательно, чтобы физические свойства их в наибольшей степени отличались от свойств других компонентов и, самое главное, чтобы метод их определения был достаточно прост и надежен.

При *периодическом смешивании* в смеситель обычно поступает набор компонентов, причем они предварительно почти не смешаны друг с другом. При смешивании происходят три процесса:

- 1) перемещение группы смежных частиц из одного места смеси в другое внедрением или скольжением слоев;
- 2) постепенное перераспределение частиц различных компонентов через вновь образованные границы их раздела;
- 3) сосредоточение частиц, имеющих близкие размеры, форму, массу в разных местах смесителя под действием сил тяжести (гравитационных сил).

В первом и во втором случаях частицы при смешивании равномерно распределяются в смеси, последний, третий процесс препятствует равномерному распределению частиц. Все три процесса в смесителе протекают одновременно, но их роль в разные периоды смешивания неодинакова.

В начале смешивания качество смеси улучшается в основном в результате перемещения частиц из одного места смеси в другое

внедрением или скольжением слоев. Скорость процесса смешивания практически не зависит от физико-механических свойств компонентов, так как процесс идет на уровне больших объемов. Наиболее важную роль в это время играет конструкция смесителя, придающая смеси определенный характер движения. В этот период (т.е. в начале смешивания) частицы не успевают сосредоточиться в разных местах смесителя, так как в перемещаемых объемах компоненты относительно друг друга неподвижны.

Постепенно в процессе смешивания происходит перераспределение частиц. В этот период на эффективность смешивания начинают влиять плотность, форма и характер поверхности частиц, гранулометрический состав, влажность компонентов, их сыпучесть. Чем ближе по своим свойствам компоненты, тем эффективнее процесс их смешивания. Число компонентов также имеет значение для процесса смешивания: при большом числе компонентов доля каждого из них уменьшается, а продолжительность процесса увеличивается.

Распределить равномерно компоненты с высокой дисперсностью легче, так как в единице объема содержится большее количество частиц. При этом вступает в силу процесс сосредоточения частиц, залипания их в различных частях смесителя. Чем больше различие в физико-механических свойствах компонентов, тем продолжительнее процесс смешивания.

Выбор конструкции смесителя зависит от свойств смешиваемых компонентов. При перемешивании сыпучих компонентов широко используют гравитационные силы, под воздействием которых они пересыпаются и перемешиваются. Для трудно сыпучих компонентов и для смешивания сыпучих компонентов с жидкими гравитационных сил недостаточно, приходится перемещать смешиваемый материал шнеками, лопатками и т. д.

При *непрерывном смешивании* поступление компонентов, их смешивание и выдача готовой смеси происходит непрерывно. Качество готовой смеси, получаемой в этих смесителях, зависит не только от их конструкции, но и от равномерности дозирования компонентов.

Существующие дозаторы не могут обеспечить строго постоянного количества подаваемого компонента в любую единицу времени, его обычно подают пульсирующими потоками. Поэтому смеситель не только должен хорошо перемешивать компоненты,

но и сглаживать пульсации их подачи. Выбор смесителя зависит от качества работы дозаторов. Если дозаторы подают компоненты равномерно или пульсации их подачи существенного влияния на качество смеси не оказывает, можно выбрать смеситель, в котором компоненты перемещаются вдоль его оси без продольного перемещения частиц.

Если дозаторы подают компоненты неравномерно, необходимо применять смесители, способные частично или полностью сглаживать пульсации. При этом, кроме поперечного, обязательно должно быть и продольное перемещение, создаваемое обычно лопастями, которые способны перемещать компоненты как в направлении движения, так и частично обратно.

Особенно трудно получить кормосмеси, включающие силос, солому, сенаж, корнеклубнеплоды, комбикорм или дерть, которые существенно различаются по физико-механическим свойствам. При чисто механическом смешивании создать кормосмесь с требуемой однородностью 80...90 % весьма проблематично. Профессор В.И. Передня показал, что для кормов с включением длинноволокнистых компонентов качественная кормосмесь может быть получена только за счет срезающего смешивания и растирания порции слоя, что достигается дополнительным измельчением компонентов во время смешивания.

■ 7.3. Классификация и рабочие органы смесителей

Смесители, применяемые в животноводстве, отличаются большим разнообразием. Это объясняется необходимостью приготовления кормовых смесей с различными физико-механическими свойствами компонентов: гранулометрическим составом, плотностью, формой частиц, влажностью, консистенцией и т. д. Смешивание кормов часто сопровождается тепловыми процессами и дополнительным измельчением.

Классификация смесителей. Применяемые в настоящее время смесители для подготовки кормовых смесей можно классифицировать следующим образом (рис. 7.2):

- по влажности (физическому состоянию) готовящейся смеси — смесители для сыпучих, влажных и жидких кормов;

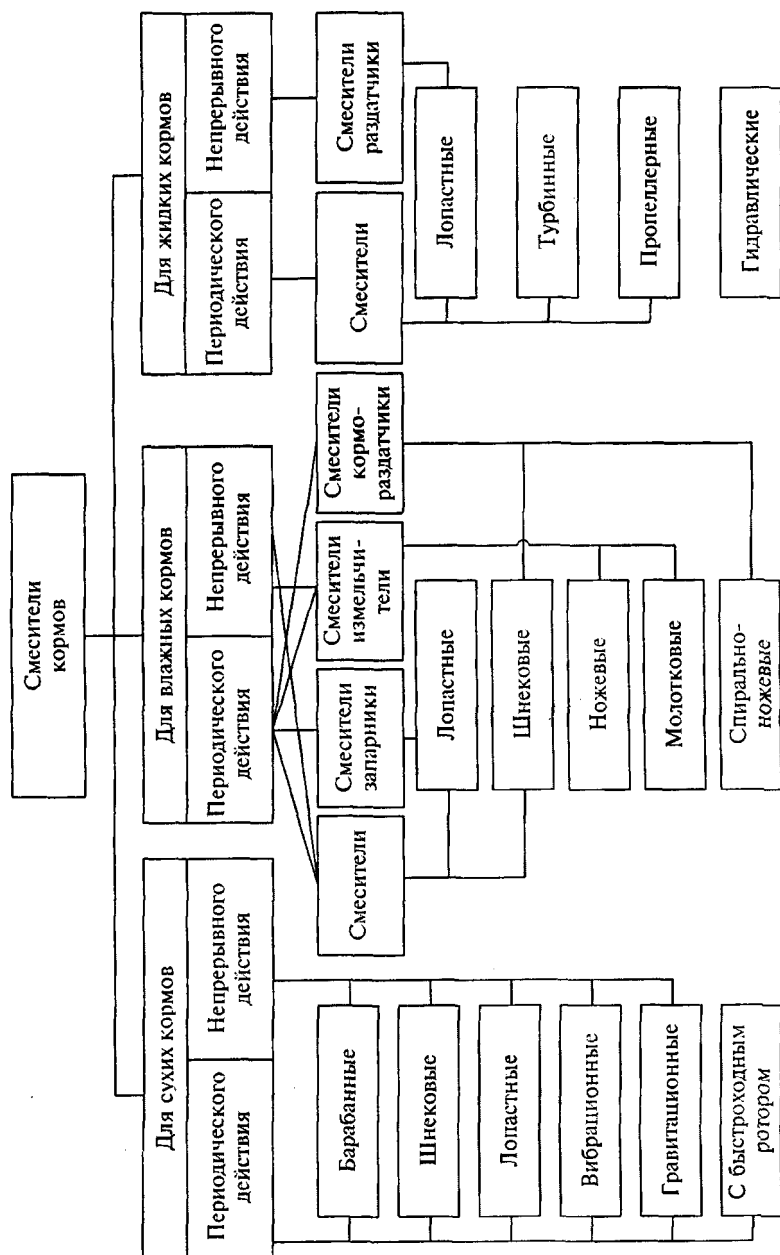


Рис. 7.2. Классификация смесителей, применяемых в кормоприготовлении

- по характеру протекающего процесса смешивания — смесители периодического и непрерывного действия;
- по способу воздействия на смесь — смесители гравитационные, центробежные, с механическим воздействием рабочих органов;
- по конструктивному признаку — смесители с перемешивающим устройствами, с быстроходными роторами, вибрационные;
- по совокупности выполняемых операций — смесители, смесители-запарники, смесители-измельчители, смесители-раздатчики, смесители-измельчители-раздатчики кормов.

Рабочие органы смесителей. По характеру процесса различают смесители порционного (периодического) и непрерывного действия. В зависимости от вида смешиваемых кормов выделяют смесители для приготовления сухих сыпучих (комбикормов), рассыпных влажных и жидких (консистентных) кормов. По организации рабочего процесса все смесители делятся на две большие группы: с вращающейся камерой и с неподвижной камерой. В кормоприготовлении смесители с вращающейся камерой не получили распространения.

Ко второй группе относятся мешалочные смесители. По конструкции рабочих органов (мешалок) применяют смесители: для сыпучих кормов — шнековые, лопастные и ленточные; для жидких — турбинные, пропеллерные и лопастные; для рассыпных влажных (стебельных) кормов — шнековые и лопастные (рис. 7.3).

В зависимости от частоты вращения мешалок смесители подразделяют на тихоходные и быстроходные. К тихоходным относятся смесители, у которых показатель кинематического режима $K = (\omega^2 R / g) < 30$ (здесь R — радиус мешалки), а к быстроходным — у которых $K > 30$. Мешалочные смесители по числу мешалок делят на одно- и двухвальные. Рассмотрим наиболее типичные рабочие органы кормосмесителей с неподвижной камерой. Для приготовления комбикормов в хозяйствах применяют, главным образом, шнековые смесители — вертикальные, горизонтальные, наклонные или планетарные. Для приготовления влажных кормовых смесей из стебельных кормов и корнеклубнеплодов до последнего времени применялись преимущественно тихоходные, горизонтальные одно- или двухвальные лопастные смесители порционного действия.

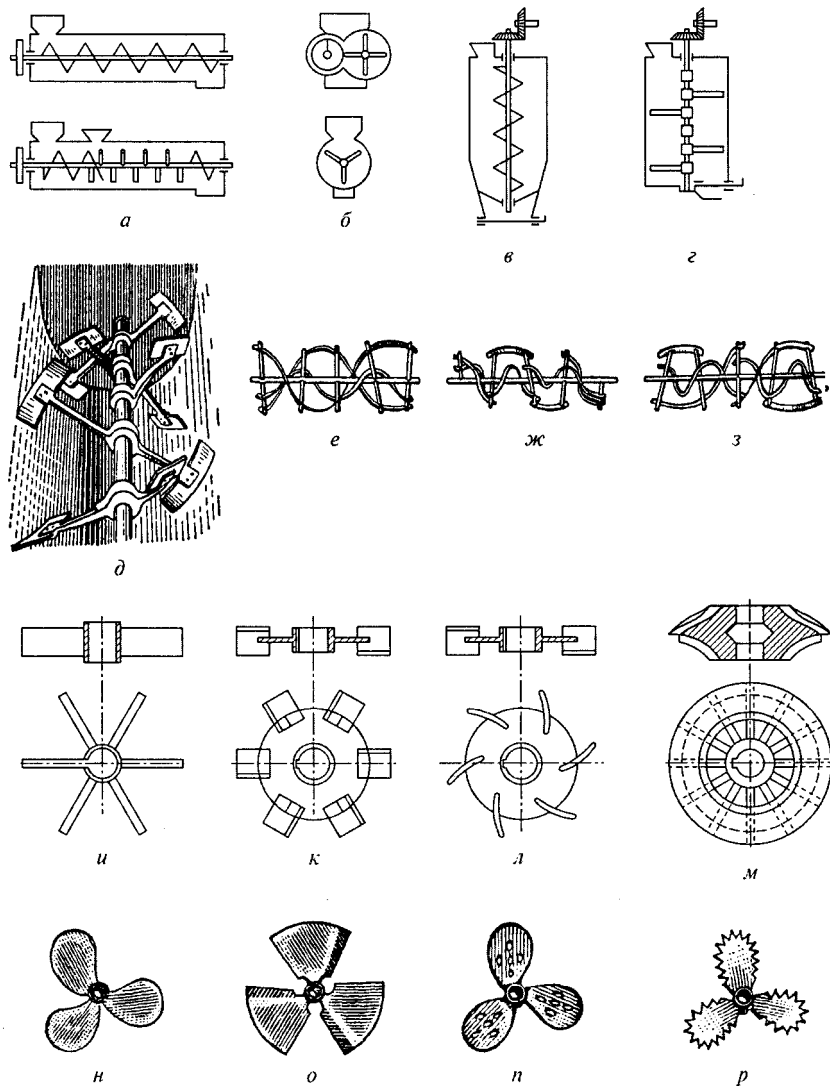


Рис. 7.3. Типы мешалок (по С.В. Мельникову):

а, б, в — шнековые; *г, д* — лопастные; *е, ж, з* — ленточные; *и-м* — турбинные; *н-р* — пропеллерные

Для телят в качестве заменителей цельного молока готовят жидкие кормовые смеси в виде эмульсий, в свиноводстве — в виде суспензий. Приготовление кормовых дрожжей связано с аэрированием биомассы для насыщения жидкой фазы кислородом.

Смешивание жидких компонентов производят, как правило, механическим способом в аппаратах с мешалками. В ряде случаев применяют циркуляцию насосом или пневматическое перемешивание (барботаж). Для механического способа используют тихоходные лопастные мешалки или быстроходные — турбинные и пропеллерные. Лопастные мешалки применяют для перемешивания в малых объемах жидкостей с большой вязкостью, пропеллерные — для жидкостей с малой вязкостью. Турбинные мешалки предназначены для широкого диапазона вязкостей.

■ 7.4. Технологические показатели смесителей

К технологическим показателям смесителей относят:

- технологическую (полезную) вместимость смесителя, т. е. объем фактического перемешивания;
- качество смешивания кормов, определяемое коэффициентом вариации контрольного компонента;
- продолжительность смешивания (время для достижения требуемой однородности смеси);
- производительность смесителя;
- приспособленность к выполнению специальных технологических операций (запаривание, измельчение, раздача кормов).

К конструкции и режимам рабочих органов смесителей предъявляют и другие требования, такие как исключение застойных зон и сепарации смеси по гранулометрическому составу, обеспечение быстрой загрузки компонентов и выгрузки кормосмеси. Это достигается соответствующим выбором рабочих органов, а также конструкции смесителя и вспомогательных устройств для конкретных условий с учетом физико-механических свойств смешиваемых компонентов.

Среди перечисленных показателей важнейшее значение имеют те, которые определяют качество смешивания кормов. Для его оценки смесь условно считают двухкомпонентной. Обычно

выделяют один компонент (контрольный), остальные объединяют во второй (условный). Таким образом, в этой двухкомпонентной смеси случайной величиной является содержание контрольного компонента в микрообъеме. К контрольному компоненту предъявляют такие требования: сравнительная простота определения его содержания в пробе, небольшое количество, отличие от других компонентов. Этим требованиям в комбикормах отвечает соль, во влажных кормах — семена ячменя или свеклы. Контрольным компонентом может быть или компонент кормосмеси, входящий в нее в малых количествах, или специально вводимый компонент (индикатор). При этом считают, что если контрольный компонент распределен равномерно, то и все остальные распределены удовлетворительно. Согласно ОСТ 70.19.2–83 качественной характеристикой процесса смешивания является *неравномерность (неоднородность) смеси*, оцениваемая коэффициентом вариации C_x контрольного компонента. В качестве последних могут служить поваренная соль, зерна ячменя или семена свеклы, вводимые в количестве 1 % к массе всей смеси.

Для получения информации, требуемой для подсчета коэффициента вариации контрольного компонента, отбирают 15–20 проб через равные промежутки времени при выгрузке готовой смеси смесителем непрерывного действия либо из всего объема смеси в порционном смесителе. Масса пробы для комбикормовых смесей должны составлять 5 г, влажных и жидких смесей для свиней и сухих для КРС — 100 г, влажных для крупного рогатого скота — 300 г. При вводе частиц индикатора для дискретного счета целесообразно, чтобы в одной пробе было более девяти частиц. В этом случае их распределение в пробах подчиняется нормальному закону, что весьма удобно для описания зависимостей между показателями процесса смешивания.

Расчет для смесителей непрерывного действия ведут по следующим формулам:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}; \quad (7.1)$$

$$C_x = \frac{\sigma_x}{\bar{X}} \cdot 100 \%; \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (7.2)$$

где X_i — концентрация контрольного компонента в пробах (весовая, относительная, количество единиц); $\bar{X}$ — средняя арифметическая концентрация контрольного компонента; n — число отобранных проб.

Для смесителей периодического действия более объективную оценку дает расчет показателей σ_x и C_x по формулам, где вместо среднего по всем пробам значения контрольного компонента применяется расчетное (теоретически ожидаемое) количество этого компонента в каждой пробе X_p :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_p)^2}{n-1}}; \quad (7.3)$$

$$C_x = \frac{\sigma_x}{X_p} \cdot 100 \%$$

Однородность смеси θ связана с показателем неоднородности следующим соотношением, %:

$$\theta = 100 - C_x. \quad (7.4)$$

Чем меньше значение C_x и чем больше θ , тем равномернее смесь, что характеризует эффективность работы смесителей. Подсчитанное значение однородности смеси не должно превышать зоотехнические нормы.

Независимо от типов смесителей — порционного или непрерывного действия — и их конструктивных особенностей в процессе смешивания обнаруживаются некоторые общие свойства показателей изменчивости $\sigma(t)$ и $C_x(t)$, а именно: по мере увеличения продолжительности смешивания в порционных смесителях и рабочей длины смесителей непрерывного действия уменьшение названных показателей идентично и приближается к некоторому пределу. Увеличение времени смешивания или длины смесителя не улучшает равномерности распределения компонентов.

Технологическая емкость порционного смесителя, m^3 :

$$V_T = V\phi,$$

где V — геометрический объем смесителя, m^3 ; ϕ — коэффициент заполнения (определяется экспериментально).

■ 7.5. Двухстадийное смешивание

В наиболее ответственных случаях применяют двухстадийное смешивание, например при приготовлении премиксов — обычных и кормолекарственных. Премиксы — биологические активные добавки для комбикормов, включающие белки, витамины, микроэлементы, лекарственные препараты, стимуляторы роста и т. д. Они состоят из активных ингредиентов (15...20 %) и пассивной части — наполнителя (80...85 %). Препараты и наполнитель различаются физико-механическими свойствами и степенью готовности к вводу в смесь.

Технология приготовления смесей — премиксов включает следующие операции (рис. 7.5):

- просеивание наполнителя (отруби, зерновая дерть) на решетке $\varnothing$ 3 мм;
- подготовка предварительной смеси на небольшой лабораторной дробилке из биологически активных веществ и наполнителя в соотношении 1 : 1, совместное измельчение до мелкодисперсного состояния, получение первичного премикса;
- просеивание первичного премикса через решетку $\varnothing$ 0,1 мм;
- смешивание первичного премикса с наполнителем в лопатном или вибрационном смесителе (наполнителя надо брать столько, чтобы ввод рабочего премикса в комбикорм составлял 1 %) — получение рабочего премикса.

Двухстадийная схема обеспечивает однородность смеси не менее 95 %.

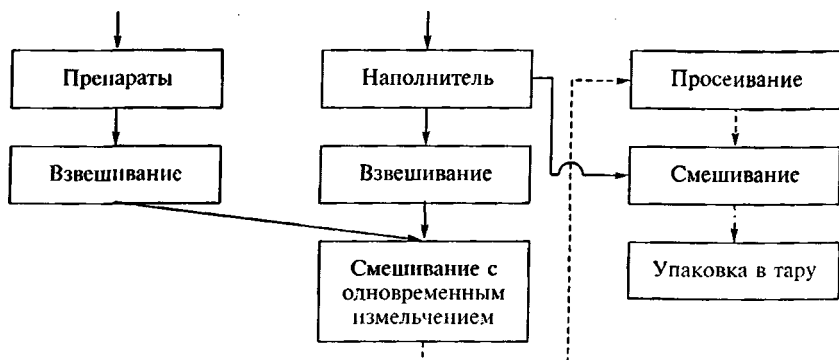


Рис. 7.5. Схема двухстадийного смешивания при производстве премикса

В связи с тем, что срок хранения кормолекарственных смесей и обычного премикса небольшой, а их транспортирование к хозяйству приводит к расслоению составляющих, лучше готовить премиксы и кормолекарственные смеси непосредственно на фермах. Этому как раз и отвечает рассмотренная технология.

■ 7.6. Теоретические основы смешивания

Исследования по смешиванию различных материалов направлены, прежде всего, на установление кинетических зависимостей этого процесса, характеризующих изменение показателей однородности смеси во времени. Несмотря на большое количество работ, проведенных по этой теме, указанная задача решается сейчас в основном на эмпирическом уровне.

Существующие подходы к описанию процесса смешивания основаны, чаще всего, на использовании статистических методов, которые позволяют учесть в некоторой степени фракционный состав исходных компонентов, их соотношение по объему и плотности, и ряд других факторов. Таким образом, речь идет, в основном, о создании стохастических моделей смешивания. Главный недостаток этих моделей состоит в отсутствии явных зависимостей качества смеси от времени, отсутствии учета энергетических соотношений при смешивании. Расчетные зависимости этих теорий даже для простейших непрерывных режимов работы смесителя довольно сложны. Все эти трудности, видимо, могла бы разрешить детерминированная модель смешивания, однако такая модель в настоящее время не создана, а имеются лишь отдельные фрагментарные описания процесса смешивания в конкретных конструкциях смесителей.

Детерминированное рассмотрение процесса смешивания, излагаемое ниже, основано на использовании интегральных уравнений, которые все шире используются в различных отраслях науки. В данном случае возможность использования таких уравнений связана с рассмотрением процесса смешивания как совокупности двух противоположных явлений — смесеобразования и сегрегации (обратного разделения смеси на составляющие компоненты).

Исходными пунктами предлагаемой теории являются следующие гипотезы.

1. Для идеальных условий смешивания, когда отсутствует сегрегация исходных компонентов (например, в невесомости, или когда силы молекулярного притяжения частиц друг к другу намного больше сил гравитации), имеет место зависимость:

$$\theta = \frac{A}{W}; \quad (\theta \leq 100 \%), \quad (7.5)$$

где A — работа, потребная для смешивания 1 кг смеси до однородности θ , Дж/кг; W — модуль смешивания, показывающий, какая работа совершается при увеличении однородности 1 кг смеси на 1 %, Дж/(кг · %).

Модуль смешивания W характеризует в совокупности смешиваемый материал и конструктивные особенности смесителя.

2. В обычных условиях смешивания, когда проявляется сегрегация смеси, текущее значение $\theta(t)$ зависит не только от текущего значения $A(t)$, но и от «истории» изменения величины A . Математически это означает, что соотношение между функциями $\theta(t)$ и $A(t)$ содержит не только сами функции, но и их производные. Иными словами, зависимость (7.5) для данного случая не является однозначной, в нее вклинивается фактор времени, причем можно записать:

$$\theta(t) = \frac{A(t)}{W} - \Delta\theta, \quad (7.6)$$

где $\Delta\theta$ — уменьшение однородности (связанное с сегрегацией), зависящее от промежутка времени $t - \tau$, отделяющего момент t наблюдения однородности смеси от момента τ начала ее смешивания и от $A(\tau) \cdot \Delta\tau$ (где $\Delta\tau$ — промежуток времени, за который совершена работа $A(\tau)$).

3. Полученные в разное время уменьшения $\Delta\theta$ однородности смеси складываются, т. е. объединяются путем непосредственного сложения.

Математическая запись зависимости показателя однородности смеси от произведенной работы, основанная на этих гипотезах, имеет следующий вид:

$$\theta(t) = \frac{A(t)}{W} - \sum \frac{A(\tau)}{W} \Delta\tau \psi(t - \tau),$$

где $\psi(t - \tau)$ — функция влияния работы $A(\tau)$ в момент τ на однородность в момент t .

В теории интегральных уравнений функцию $\psi(t - \tau)$ называют еще ядром.

Устремляя $\Delta t \rightarrow 0$, из последнего соотношения получим:

$$\theta(t) = \frac{A(t)}{W} - \frac{1}{W} \int_0^t \psi(t - \tau) A(\tau) d\tau. \quad (7.7)$$

Экспериментальные данные по гравитационному разделению (осаждению) различных многофазных сред показывают, что в качестве ядра может быть принята простая экспоненциальная зависимость вида:

$$\psi(t - \tau) = \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{t - \tau}{T}\right), \quad (7.8)$$

где T — характерное время разделения, в течение которого изменяющаяся часть однородности смеси уменьшается в $e \approx 2,71$ раза.

В явном виде процессы разделения могут наблюдаться в системе жидкость — частицы во время отстаивания смеси. В сыпучих смесях эти процессы наблюдаются только при действии рабочих органов, когда происходит некоторое псевдооживление смеси.

Величина T является характеристикой смешиваемого материала.

Уравнение (7.7) можно использовать для анализа различных режимов смешивания, отвечающих разным законам ввода энергии в смешиваемый материал. Ограничимся при дальнейшем рассмотрении важнейшим для практики случаем линейного закона ввода энергии:

$$A = Nt, \quad (7.9)$$

где $N = \text{const}$ — мощность, поглощенная материалом в процессе его смешивания.

Закону (7.9) приближенно отвечает смешивание материала в непрерывном режиме работы смесителя с постоянной скоростью

его рабочих органов. Для этого режима уравнение (7.7), с учетом ядра (7.8), принимает следующий вид:

$$\theta(t) = \frac{N}{W} \left[t - \frac{1}{T} \int_0^t \exp\left(-\frac{t-\tau}{T}\right) \tau d\tau \right]. \quad (7.10)$$

Вычислив интеграл, находим

$$\theta = \frac{N}{W} \left\{ t - (t-T) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right] \right\}. \quad (7.11)$$

Полученная зависимость есть не что иное, как уравнение кинетики смешивания. От предлагавшихся ранее эмпирических зависимостей, полученное отличается в первую очередь тем, что содержит энергетические параметры N и W .

На рис. 7.6 даны кривые кинетики смешивания, построенные по уравнению (7.11). Как видно, в начальной стадии процесса однородность смеси увеличивается весьма интенсивно, затем стабилизируется, достигая максимума. В это время достигается динамическое равновесие процессов смесеобразования и разделения компонентов. Дальнейшее продолжение смешивания бесполезно и даже вредно, поскольку приводит к некоторому уменьшению однородности смеси при дополнительных затратах энергии.

При низком уровне ввода энергии в смешиваемый материал (например, при малой скорости рабочих органов) кривые кинетики смешивания носят такой же характер, но достижения требуемой по зоотехническим нормам однородности смеси не происходит.

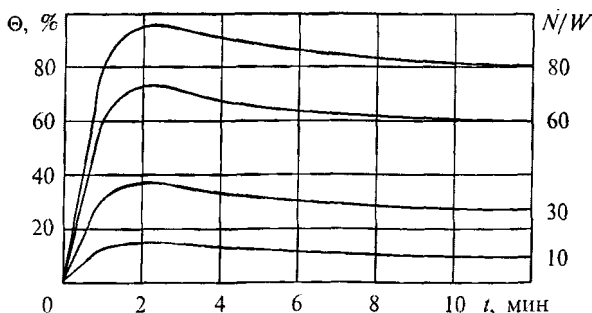


Рис. 7.6. Кривые кинетики смешивания

Уравнение (7.11) можно представить в другом виде:

$$\theta(t) = \frac{N}{W} \left[T + (t - T) \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right]. \quad (7.12)$$

Если ввести обозначения: $\frac{N}{W}T = \theta_{\max}$; $\frac{N}{W}t = \theta_0$, то выражение (7.12) можно переписать в следующем виде:

$$\theta(t) = \theta_{\max} + [\theta_0(t) - \theta_{\max}] \cdot \exp\left(-\frac{t}{T}\right). \quad (7.13)$$

Эту форму давно применяют для аппроксимации экспериментальных данных по кинетике смешивания. Это указывает на адекватность рассматриваемой математической модели смешивания.

Чтобы найти оптимальное время смешивания t^* продифференцируем выражение (7.11) и приравняем производную нулю:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{N}{W} \left(\frac{2T - t^*}{T} \right) \exp\left(-\frac{t^*}{T}\right) = 0. \quad (7.14)$$

Поскольку $N/W \neq 0$, а сомножитель $\exp(-t^*/T)$ стремится к нулю лишь при $t^* \rightarrow \infty$, остается предположить $(2T - t^*)/T = 0$, откуда

$$t^* = 2T. \quad (7.15)$$

Следовательно, оптимальное время смешивания соответствует удвоенному характерному времени разделения смеси (см. рис. 7.6). Для некоторых материалов, у которых силы молекулярного притяжения между частицами много больше сил тяжести (типа майонезов), значение T очень велико ($T \rightarrow \infty$).

При подстановке предела в уравнение получаем:

$$\theta = \frac{N}{W}t \quad (\theta \leq 100).$$

Таким образом, для материалов с большими силами молекулярного притяжения понятие оптимального времени смешивания имеет мало смысла. Теоретически для них можно получить 100-процентную однородность смеси.

Полученные зависимости позволяют рассчитать все необходимые показатели процесса смешивания. Например, для полу-

жидких кормов на основе комбикорма влажностью 65 %, применяемых в животноводстве, при смешивании в вибрационном смесителе установлено, что $W = 0,133$ Дж/(кг · %), $T = 2,9$ мин. Тогда, учитывая полученные данные, возможно решение следующих задач.

1. Определение оптимального времени смешения:

$$t^* = 2T = 2 \cdot 2,9 = 5,8 \text{ мин.}$$

2. Предсказание максимальной однородности смешивания $\theta_{\max}$. Значение $\theta_{\max}$ определяется из уравнения (7.11) при подстановке в него $t = 2T$:

$$\theta_{\max} = \frac{NT}{W} \cdot 1,135 = \frac{3,7 \cdot 2,9}{0,133} = 91,5 \, \%.$$

3. Определение однородности кормосмеси θ_k при неограниченном увеличении времени смешения, т. е. при $t \rightarrow \infty$. При подстановке $t \rightarrow \infty$ в уравнение (7.11) и раскрытии неопределенностей имеем

$$\theta_k = \frac{NT}{W} = \frac{3,7 \cdot 2,9}{0,133} = 80,6 \, \%.$$

Как видно, длительное ($t > 2T$) смешивание бесполезно, и даже вредно, поскольку уменьшает достигнутую однородность кормосмеси. При этом впустую затрачивается энергия на смешивание.

Интересно сопоставить $\theta_{\max}$ и θ_k :

$$\theta_{\max} / \theta_k = 1,135,$$

т. е. различие составляет всего 13,5 %. Во многих экспериментальных исследованиях эта разница не улавливается, тем более что время наблюдения, необходимое для получения θ_k , ограничено ($t \ll \infty$).

4. Определение удельных энергозатрат на смешивание. Например, если смешивание длится оптимальный период времени ($t^* = 2T$), то

$$A^* = 2NT = 2 \cdot 3,7 \cdot 2,9 \cdot 60 = 1,288 \text{ кДж/кг.}$$

Таким образом, применение интегральных уравнений позволило учесть одновременно идущие процессы смесеобразования и сегрегации компонентов и получить закономерности процесса, подтверждаемые эмпирическими данными.

■ 7.7. Конструктивные особенности смесителей

Смесители для рассыпных влажных кормов. Для приготовления влажных кормовых смесей из стебельных кормов и корнеклубнеплодов применяют одно- или двухвальные смесители порционного действия. Промышленность выпускает двухвальные унифицированные смесители нескольких типоразмеров, согласованных по технологической схеме и основным конструктивным параметрам. Смеситель С-12 является базовой моделью. Цифра после буквы в марке смесителя указывает на полезную вместимость корпуса (м^3).

Для небольших свиноводческих ферм и индивидуальных хозяйств выпускаются одновальные смесители ЗС-Ф-1, ЗС-Ф-2, СКО-Ф-3 и СКО-Ф-6, предназначенные для запаривания и приготовления кормосмесей из концентрированных и зеленых кормов, а также пищевых отходов (используют пар низкого давления до 0,07 МПа).

Наряду с этим промышленность выпускает варочные котлы-смесители ВК-1 и ВКС-3М. Они имеют теплоизоляцию и отличаются более высокой степенью герметизации, что позволяет варить в них каши и супы для молодняка (ВК-1) и стерилизовать пищевые отходы (ВКС-3М). Варочный котел-смеситель ВКС-3М оснащен одновальной лопастной мешалкой и рассчитан на работу с острым паром.

Смеситель С-12 предназначен для приготовления сырых и запаренных кормовых смесей. Он выпускается в двух модификациях: для использования в поточных линиях кормоцехов типа КЦС без пускозащитной аппаратуры (она входит в строительную часть кормоцеха); с полным комплектом пускозащитной аппаратуры для применения в кормоцехах других типов.

Смеситель состоит из корпуса 1 (рис. 7.7), парораспределителя 2 с кранами, двухлопастных мешалок 3, выгрузного шнека 4,

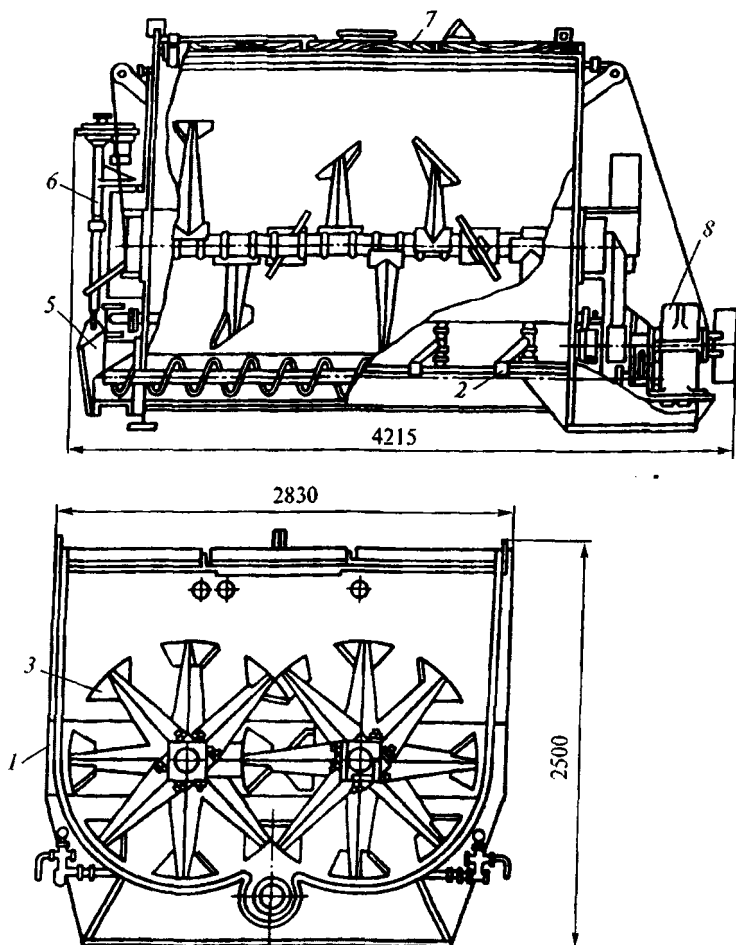


Рис. 7.7. Смеситель С-12:

1 — корпус; 2 — парораспределитель; 3 — лопастная мешалка; 4 — выгрузной шнек; 5 — выгрузная горловина с клиновой задвижкой; 6 — система управления; 7 — крышка; 8 — привод

выгрузной горловины 5, крышек 7 и системы управления 6 задвижкой и включением шнека. Мешалки и шнек приводятся в движение от привода 8.

Корпус смесителя вместе с рамой и двумя поперечными кронштейнами является базовым узлом, на котором устанавли-

вают все механизмы, и одновременно емкость для приготовления кормов. Между торцевыми стенками корпуса вварены три трубы, служащие для подачи воды и растворов. Внутри корпуса установлены две лопастные мешалки. Каждая состоит из вала с восемью лопастями и подшипниковых блоков, закрепленных на торцевых стенках корпуса. Лопасти установлены на валу по винтовой линии под углом 45° и крепятся стремянками. Лопасти правой мешалки, если смотреть со стороны привода, перемешивают и направляют корм в сторону приводной станции, а лопасти левой мешалки — в сторону выгрузной горловины, что обеспечивает хорошее перемешивание корма.

В нижней части смесителя расположен шнек диаметром 320 мм и шагом 250 мм, подающий перемешанную массу к выгрузному патрубку. Сверху корпус герметически закрыт крышками. В одной из них установлен люк с шиберной задвижкой и тягой, а в другой — смотровой люк. Сбоку крышки на кронштейне прикреплен конечный выключатель, который отключает механизм смесителя при открытии крышки.

Система подачи пара в смеситель состоит из коллектора с манометром и двух распределительных труб, каждая из которых пятью муфтовыми кранами соединяется с паропроводящими патрубками. Подачу пара регулируют при помощи переключателя. Чтобы корм не попадал в распределительные трубы, краны после окончания запаривания должны быть закрыты.

Первыми в смеситель подают корма, которые необходимо запаривать. Измельченные грубые корма загружают с одновременным увлажнением. Мешалки включают не позднее, чем при заполнении $1/3$ технологического объема и продолжают загрузку. При этом коэффициент заполнения емкости смесителя не должен превышать 0,6–0,7 для густых смесей с включением соломы и 0,8 — для кормов влажностью более 70 %. Затем плотно закрывают крышки люков, открывают вентиль на паропроводе и муфтовые краны на распределительных трубах. Давление подаваемого пара и температуру смеси контролируют по манометру и термометру. В среднем время запаривания в смесителе С-12 составляет 1...3 ч. По окончании запаривания необходимо перекрыть муфтовые краны и вентили на паропроводе и в течение 40...60 мин выдержать корм для разваривания. После этого доливают воду для охлаждения корма и загружают другие компоненты. При

приготовлении кормосмесей без запаривания все компоненты, входящие в смесь, можно подавать одновременно. Корма перемешивают 10 мин, а при обогащении их карбомидными и другими химическими растворами — 15 мин.

Смесители-измельчители для рассыпных влажных кормов. Измельчитель-смеситель кормов ИСК-10 (рис. 7.8) предназначен для измельчения и смешивания корма. Он состоит из ножевого ротора 5, приемной I, рабочей II и выгрузной III камер, расположенных одна над другой, бункера 11, выгрузного транспортера, пакетов противорезов, зубчатых дек 3, электродвигателя 7 и клиноременной передачи 9, снабженной натяжным роликом. Для введения в обрабатываемую массу жидких добавок предусмотрено по две форсунки 4 на приемной и на выгрузной камерах. Приемная и рабочая камеры соединены откидными креплениями. В стенках рабочей камеры шесть окон, в которых устанавливают пакеты ножей-противорезов и зубчатые деки. Окна закрывают с наружной стороны кожухами 12.

На рабочем органе — роторе размещены ярусами ножи измельчителя, выполняющие также роль смесителей, и молотки. В нижней части ротора, расположенной в выгрузной камере, находится двухлопастная швырляка. Ножи и молотки размещены в

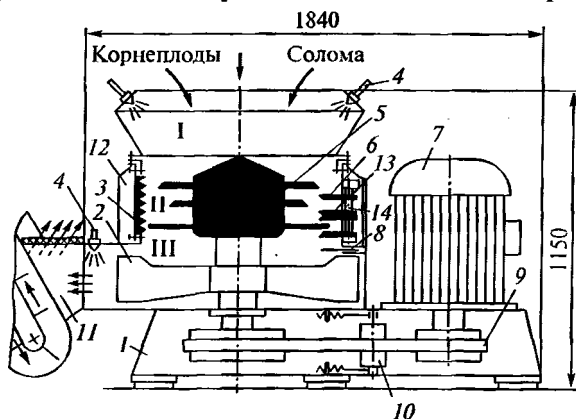


Рис. 7.8. Измельчитель-смеситель ИСК-10:

I — рама; 2 — швырляка; 3 — зубчатая дека; 4 — форсунка; 5 — ротор; 6 — нож противореза; 7 — электродвигатель; 8 — шибер; 9 — клиноременный привод; 10 — натяжной ролик; 11 — бункер выгрузного транспортера; 12 — кожух; 13 — основание; 14 — вал; I — приемная камера; II — камера измельчения и смешивания; III — выгрузная камера

пазах между фланцами, установленными на шлицах головки ротора при помощи специальных болтов и пальцев.

Пакет ножей-противорезов собран на валу 14, который установлен шарнирно на основании 13, прикрепляемом болтами к корпусу рабочей камеры. Основание и кронштейн вала 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.

При работе измельчителя-смесителя корма загружаются в камеру I и попадают в зону взаимодействия ножей 6 верхнего яруса с режущими элементами ротора 5, где частично измельчаются. Затем частицы кормов увлекаются на гладкий участок внутренней поверхности камеры и под действием силы тяжести по спирали несколько перемещаются вниз. На пути своего движения частицы кормов встречают зубчатые деки 3, и их скорость уменьшается.

Ножи следующего яруса, являясь более длинными, осуществляют дополнительное измельчение и дальнейшее продвижение частиц кормов. Благодаря этому одна часть измельченных кормов приобретает большую скорость, чем другая, что способствует проникновению одних частиц кормов в массу других и эффективному их смешиванию. При выходе на гладкий участок внутренней поверхности камеры измельченные частицы кормов опять перемещаются вниз, встречая на своем пути зубчатые грани ножей 3 и режущих элементов 6 нижнего яруса, взаимодействующих между собой. В этом месте происходит окончательное измельчение частиц кормов вдоль волокон.

В процессе измельчения режущие элементы под действием силы резания постоянно колеблются, поворачиваясь на валу 14, автоматически выбирая оптимальные углы резания и обеспечивая равномерный износ режущих частей измельчителя-смесителя. При попадании в камеру I твердых посторонних предметов режущие элементы 6 отклоняются на большую величину, выходя за пределы внутренней поверхности камеры, обеспечивают свободное прохождение твердых предметов, предотвращая поломку режущих частей и их заклинивание.

В машину на смешивание подают предварительно измельченные компоненты, причем перед этим снимают диаметрально

расположенные пластины с противорезами и устанавливают деки. При необходимости доизмельчения компонентов смеси на месте оставляют три пакета противорезов и три зубчатые деки, чередуя их в окнах рабочей камеры. При измельчении одного вида корма или нескольких компонентов, подлежащих измельчению и смешиванию, в окнах устанавливают все шесть пакетов противорезов.

Производительность машины, работающей на смешивании, может составлять до 25 т/ч, на смешивании с частичным доизмельчением — до 15 т/ч, на измельчении, например, соломы — до 3...4 т/ч при длине резки до 30 мм и 4...8 т/ч при длине резки до 50 мм. Степень измельчения регулируют, изменяя число ножей на роторе, число противорезов и время нахождения продукта в рабочей камере (при помощи кольцевого шибера, установленного над швырлялкой).

Машина обеспечивает смешивание силоса, соломы, корнеплодов и комбикорма со степенью равномерности 80...90 %; установленная мощность двигателя 39,2 кВт; частота вращения ротора 17 с^{-1} ; габаритные размеры машины 1600×1090×1150 мм; масса с выгрузным транспортером 2200 кг. Обслуживает измельчитель-смеситель один рабочий.

Мобильные смесители-измельчители-кормораздатчики. Такие смесители-измельчители-кормораздатчики широко распространены в США, Канаде, странах Западной Европы. При их использовании подготовка грубых и сочных кормов должна производиться в хранилищах кормовой зоны или в период подготовки в поле.

Технологический процесс подготовки кормосмеси осуществляется следующим образом. Кормораздатчик-смеситель подъезжает к навесу, где в него подают погрузчиком предварительно измельченные грубые корма. В корнеклубнехранилище предварительно вымытые и измельченные корнеклубнеплоды загружаются в кормораздатчик транспортером. Подобным образом загружаются силос, сенаж, концентраты, меласса и т. д. Во время транспортирования до фермы компоненты тщательно перемешиваются и доизмельчаются. В результате получается однородная масса, которая затем равномерно распределяется вдоль кормушек.

Раздатчики-смесители по типу рабочих органов подразделяются на шнековые, лопастные и барабанные. До недавних пор

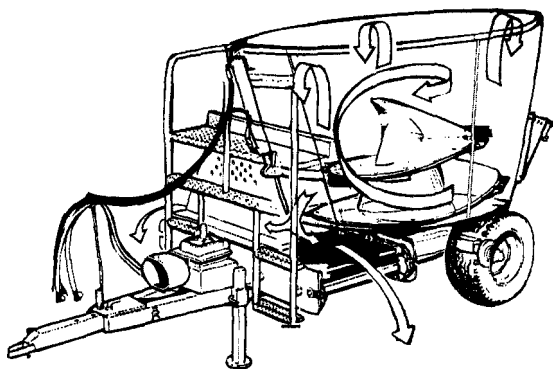


Рис. 7.9. Схема технологического процесса смесителя-измельчителя-раздатчика

чаще других использовались раздатчики с горизонтальными шнеками. В последнее время за рубежом и в России получают распространение мобильные смесители-измельчители с вертикальным конусообразным шнеком, расположенным в центре бункера конусообразной формы (рис. 7.9). Шнек снабжен ножами, установленными на его витках. Такой рабочий орган обеспечивает разрыхление грубых кормов в рулонах и больших тюках, измельчение длинных стеблей, равномерное смешивание всех компонентов влажности 20...60 %.

Кроме названных, преимуществами этих машин также являются: простота конструкций (имеется только один вращающийся вертикальный шнек); возможность загрузки бункера со всех сторон; большая приспособленность к переработке грубых кормов. Однако по сравнению со смесителями-раздатчиками с горизонтальными шнеками они потребляют на 30...40 % больше энергии и требуют высоту ворот для проезда не менее 2,3...2,7 м, а ширину кормового прохода — не менее 2,4 м. Время измельчения и смешивания кормовой смеси составляет 10...15 мин. Агрегатируются с тракторами класса 14 кН. Обслуживаются трактористом.

Смесители для сыпучих кормов. Представлены в основном лопастными и шнековыми рабочими органами.

В последние годы АГАУ разработал несколько моделей смесителей вибрационного типа. На рис. 7.10 показана принципиальная схема работы смесителя периодического действия, предназначенного для подготовки кормолекарственных смесей. Сме-

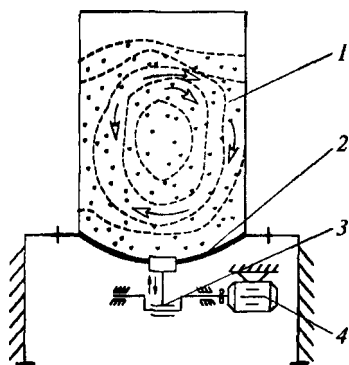


Рис. 7.10. Принципиальная схема вибрационного смесителя:

1 — загрузочная камера; 2 — виброднище; 3 — вибровозбудитель; 4 — электродвигатель

ситель состоит из загрузочной камеры 1, эластичного виброднища 2, энцетрикового вибровозбудителя 3 и электродвигателя 4.

Смеситель работает следующим образом. В загрузочную камеру 1 подают предварительно отвешанные препараты и наполнитель, затем включают электродвигатель 4. За счет вибрации виброднища 2 смешиваемый материал приходит в псевдооживенное состояние, наполняется воздухом, в слое возникают различные циркуляционные движения составляющих смеси. Это и приводит к смешиванию компонентов.

Один цикл смешивания составляет 3...5 мин. Чтобы не допустить расслоения смеси, ее выгрузка должна осуществляться на ходу смесителя (выгрузное устройство на рис. 7.10 не показано).

Смесители для жидких компонентов. Рассмотрим в качестве примера оборудование для приготовления мелассы — смеситель мелассы СМ-1,7 (рис. 7.11). Он является комплексной установкой для приготовления водного раствора мелассы с карбамидом, который добавляется в жом и грубые корма на фермах КРС. Смеситель состоит из комплекта технологического оборудования, в который входят смеситель, цистерна для приема и хранения расходного запаса мелассы, приемная воронка для слива мелассы из транспортных средств, фильтр, насос, трубопроводы, арматура и электрооборудование.

Смеситель представляет собой металлическую емкость цилиндрической формы с одновальной мешалкой. На нем расположены патрубки для подключения трубопроводов горячей воды, мелассы, отбора готового раствора и горловина с крышкой для доступа в смеситель и загрузки карбамида. Количество раствора в смесителе контролируют по указателю уровня.

Цистерна мелассы оборудована внутри радиаторной батареей для подогрева и разжижения мелассы. Заполнение цистерны контролируют по указателю уровня.

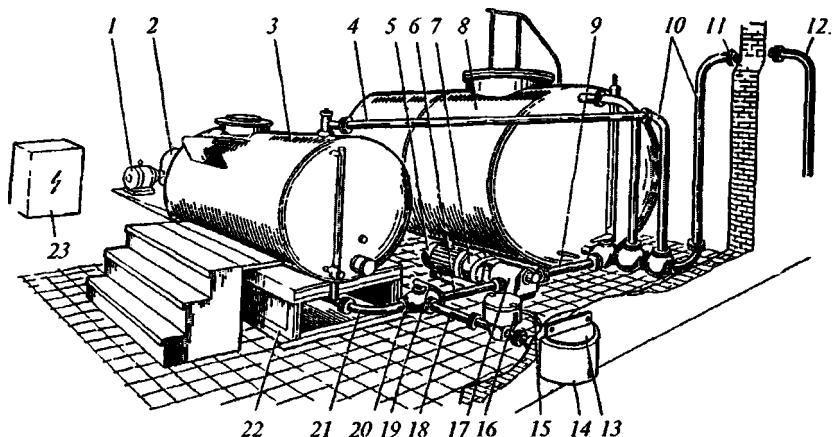


Рис. 7.11. Смеситель СМ-1,7:

1, 5 — электродвигатели; 2, 7 — редукторы; 3 — смеситель; 4 — трубопровод мелассы; 6, 9 — трубопроводы питания насоса; 8 — емкость; 10 — трубопроводы перекачки мелассы и раствора; 11 — трубопровод выдачи раствора; 12 — шланг; 13 — специальный болт; 14 — воронка; 15, 21 — колена; 16 — фильтр мелассы; 17 — шестеренный насос; 18 — трубопровод очищенной мелассы; 19 — рычаг; 20 — кран; 22 — рама; 23 — электрошкаф

Приемную воронку устанавливают снаружи здания в месте, удобном для приема. Воронка имеет два корпуса, между которыми расположена паровая рубашка для подогрева корпуса и фильтр грубой очистки мелассы. Фильтр тонкой очистки состоит из двойного корпуса для подогрева паром, фильтрующей сетки и крышки с резиновой прокладкой.

Мелассу и готовый раствор перекачивает насос НШП-20-59, работающий от собственного электродвигателя, смонтированного на одной плите с насосом. Для подогрева рабочей камеры насоса и его сальников при засахаривании предусмотрен подвод пара через резьбовые отверстия в крышках.

8. ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРИГОТОВЛЕНИЮ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ (КОРМОЦЕХИ)

■ 8.1. Классификация кормообработывающих предприятий

Кормообработывающие предприятия в сельскохозяйственном производстве по свойствам приготавливаемых кормов делятся на две группы (рис. 8.1). Предприятия группы I (заводы, цехи, агрегаты) предназначены для подготовки в рассыпном, гранулированном или брикетированном виде сухих кормов, пригодных для длительного хранения (комбикорма, кормовых добавок, травяной муки, полнорационных кормосмесей). Предприятия группы II (цехи) готовят влажные кормосмеси непосредственно перед скармливанием животным.

Работа технологических линий кормоцехов группы I не согласовывается с распорядком дня животноводческой фермы или комплекса. Кормосмеси, приготовленные в таких кормоцехах, должны иметь все ингредиенты, предусмотренные рецептом. Отклонения от принятой технологии не допускаются. Работа технологических линий кормоцехов группы II согласовывается с распорядком дня животноводческой фермы или комплекса. Кормосмеси в своем составе могут иметь разное количество ингредиентов в соответствии с зоотехническими нормами кормления животных, поэтому отказ одной из технологических линий не всегда приводит к прекращению выпуска готовой продукции.

Кормообработывающие цехи группы II различаются по виду обслуживаемых животных (для ферм и комплексов КРС, свиноводческих ферм и др.), они также бывают универсальными. На фермах и комплексах КРС для подготовки влажных полнорационных кормосмесей применяют кормоцехи двух типов:

- с использованием соломы, прошедшей термическую обработку;
- без такой обработки.



Рис. 8.1. Классификация кормообрабатывающих предприятий в сельскохозяйственном производстве (по В.И. Земскову)

Первый тип кормоцехов отличается более сложным схемно-конструктивным исполнением: в комплекте машин и оборудования имеются агрегаты или установки для термохимической обработки соломы, например, смесители С-12 и др. Технология подготовки кормов в таких кормоцехах позволяет полнее использовать возможности механизации для увеличения производства животноводческой продукции. Кормоцехи свиноводческих ферм и комплексов по технологическим признакам также делятся на два типа: для подготовки влажных или жидких кормосмесей из кормов собственного производства и для подготовки жидких кормосмесей с использованием пищевых отходов. В первом случае в зависимости от типа кормления (концентратно-корнеплод-

ный или концентратно-картофельный) кормоцехи имеют значительно отличающиеся наборы машин.

В соответствии с номенклатурой, разработанной Гипрони-сельхозом, для удовлетворения потребности в кормах молочных ферм и комплексов требуются кормоцехи четырех размерных групп, для свиноводческих — семи.

■ 8.2. Кормоцехи для приготовления влажных кормосмесей крупному рогатому скоту

Из множества разработанных проектов кормоцехов для приготовления влажных кормосмесей рассмотрим в качестве примера комплект оборудования КОРК-5, изготавливаемый серийно.

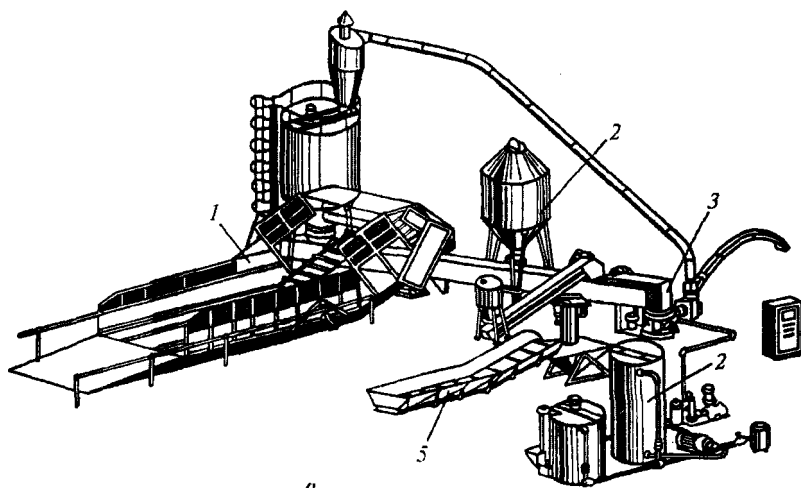
Для приготовления влажных кормосмесей, в состав которых входят солома (россыпью, в рулонах, в тюках), сенаж или силос, корнеклубнеплоды, концентраты, химические растворы и другие добавки, предназначен комплект оборудования КОРК-5. Его можно использовать на молочных фермах с поголовьем 200–400 коров и откормочных фермах — до 1000 голов КРС.

Комплектация КОРК-5-1 для откормочных ферм выпускается без линии корнеклубнеплодов.

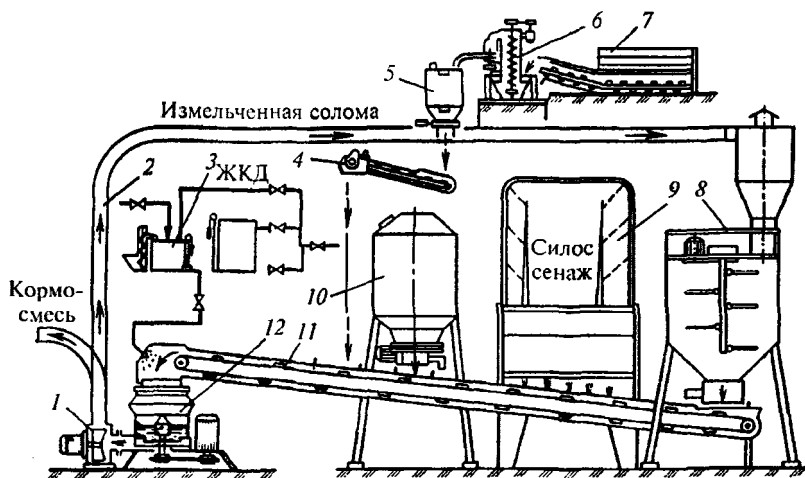
Комплект оборудования КОРК-5 имеет пять технологических линий: грубых кормов (сено, солома, силос или сенаж) 1 (рис. 8.2, а), корнеклубнеплодов 5, концентрированных кормов 2, жидких кормовых добавок 4 и смешивания кормов 3.

Грубые корма самосвальным транспортом загружают в приемный лоток питателя-дозатора 9 (рис. 63 б), где они разрыхляются, дозируются битерами, подаются на сборный транспортер 11 и в измельчитель-смеситель 12, затем в пневмошвырляку 1 и по пневмопроводу 2 — в циклон бункера-дозатора 8. В освободившийся от сухих грубых кормов питатель-дозатор 9 загружают силос или сенаж. Концентрированные корма загрузчиком ЗСК-10 (или другим) подаются в бункер-дозатор 10.

Корнеклубнеплоды с самосвальных транспортных средств выгружаются в приемный бункер 7 скребкового транспортера, проходят через измельчитель-камнеуловитель 6, промываются, измельчаются, поступают в бункер-дозатор 5 и скребковым тран-



a



б

Рис. 8.2. Комплект оборудования рассыпных кормосмесей КОРК-5:

a — общий вид: (1 — линия грубых кормов; 2 — линия концентрированных кормов; 3 — линия смешивания; 4 — линия жидких кормовых добавок; 5 — линия корнеклубнеплодов); *б* — технологическая схема (1 — пневмошвырялка; 2 — пневмопровод; 3 — оборудование жидких кормовых добавок; 4 — транспортер ТС-40; 5 — бункер-дозатор корнеклубнеплодов КОРК-15.03.01; 6 — измельчитель-камнеуловитель ИКМ-Ф-10; 7 — приемный бункер ПБ-15; 8 — бункер-дозатор грубых кормов; 9 — питатель-дозатор ПДК-Ф-3-2; 10 — бункер-дозатор концкормов; 11 — сборный транспортер ТС-40М; 12 — измельчитель-смеситель ИСК-ЗА-1)

спортером 4 подаются на сборный транспортер 11. Жидкие кормовые добавки от оборудования 3 подаются в приемную камеру измельчителя-смесителя 12.

Комплектом КОРК-5 управляют с пульта управления. При включении пневмошвырляки, измельчителя-смесителя ИСК-ЗА-1 и сборного транспортера на последний подаются: измельченные грубые корма, силос или сенаж, концентрированные корма, измельченные корнеклубнеплоды. Многослойная масса одновременно с жидкими добавками направляется на смешивание в измельчитель-смеситель ИСК-ЗА-1, откуда при помощи пневмошвырляки через перекидной клапан выгружается в кормораздатчик.

Комплект оборудования КОРК-5 имеет номинальную производительность 5 т/ч, установленную мощность 106,7 кВт и массу 13,3 т.

■ 8.3. Кормоцехи для приготовления влажных кормосмесей свиньям

Комплекты оборудования кормоцехов типа КЦС предназначены для механизированного приготовления на свиноводческих фермах и комплексах запаренных или сырых кормовых смесей влажностью 60...80 %.

Разработано несколько модификаций кормоцехов типа КЦС. Комплекты оборудования кормоцехов КЦС-10/1000 и КЦС-200/2000 используют на смешанных свинофермах соответственно на 100 и 200 свиноматок со шлейфом 1000 и 2000 голов на откорме, а КЦС-2000, КЦС-3000 и КЦС-6000 («Маяк-6») — на откормочных фермах с поголовьем соответственно 2000, 3000 и 6000 свиней. Все унифицированные кормоцехи аналогичны базовому КЦС-6000 («Маяк-6»), включают в себя пять поточных технологических линий: концентрированных кормов, силоса и зеленой массы; травяной муки; корнеклубнеплодов; приготовления и выдачи готовых смесей.

Линия концентрированных кормов предназначена для приема, хранения и дозированной загрузки концентрированных кормов в смеситель. Она состоит из приемного бункера вместимостью 15 м³ и питателя 1 (рис. 8.3).

Концентраты по мере необходимости подаются питателем в сборный загрузочный шнек 8 и далее — в запарник-смеситель 9.

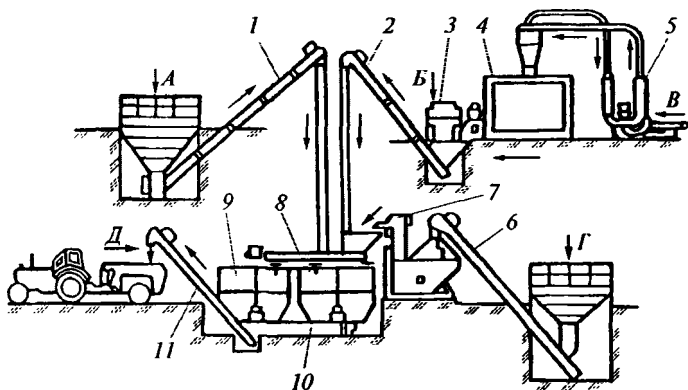


Рис. 8.3. Технологическая схема кормоприготовительного цеха КИС-6000 («Маяк-6»):

1 — питатель концентрированных кормов ПК-6; 2 — транспортер ТС-40С; 3 — измельчитель «Волгарь-5»; 4 — питатель сеной муки ПСМ-10; 5 — дробилка КДУ-2; 6 — транспортер корнеклубнеплодов ТК-5Б; 7 — мойка-измельчитель кормов ИКМ-5; 8 — шнек ШЗС-40М; 9 — запарник-смеситель С12; 10 — шнек ШВС-40; 11 — выгрузный транспортер ТС-40М; А — концентрированные корма; Б — зеленая масса; В — сено; Г — корнеклубнеплоды, Д — готовая кормосмесь

Дозирование кормов определяют продолжительностью работы питателя 1.

Линия силоса и зеленой массы включает измельчитель кормов 3, загрузочный скребковый транспортер 2 и загрузочный шнек 8. Подача линии 5...10 т/ч.

Линия приготовления травяной муки содержит универсальную дробилку КДУ-2, питатель ПСМ-10 и транспортер ТС-40С. Сено подают в дробилку 5 вручную. Сенная мука воздушным потоком, создаваемым вентилятором дробилки, подается в циклон и через шлюзовой затвор поступает в бункер питателя 4. Из последнего она высыпается на транспортер 2, который направляет ее в шнек 8 или непосредственно в запарник-смеситель 9. Производительность линии составляет 1,5 т/ч.

В линию подготовки корнеклубнеплодов входят приемный бункер вместимостью 9 м³, который расположен на уровне пола, скребковый транспортер ТК-5Б со шнеком и мойка-измельчитель ИКМ-5. Корнеклубнеплоды доставляют самосвалом к цеху и выгружают в приемный бункер, из которого они подаются выгруз-

ным шнеком и наклонным скребковым транспортером 6 в мойку-измельчитель 7. Здесь они отмываются от почвы, измельчаются и подаются в сборный загрузочный шнек 8 или непосредственно в запарник-смеситель 9. Подача линии на свекле составляет 3...4 т/ч, на картофеле — 1...2 т/ч.

Линия приготовления и выдачи готового корма включает загрузочный сборный шнек ШЗС-40М, два запарника-смесителя вместимостью по 12 м³ (КЦС-6000, КЦС-3000) или запарник С-12 и варочный котел ВК-1 (КЦС-200/2000), или запарник-смеситель С-7 и варочный котел ВК-1 (КЦС-100/1000), выгрузной сборный шнек ШВС-40; транспортер готового корма ТС-40М.

Со всех технологических линий корнеклубнеплоды, концентрированные и зеленые корма, травяная мука поступают в загрузочный сборный шнек 8, который находится над запарником-смесителем, и загружается. Одновременно с загрузкой смесителя корм перемешивается вращающимися мешалками. Приготовленные корма из запарников-смесителей подаются на выгрузной транспортер 11 для загрузки в кормораздатчик или другое транспортное средство.

■ 8.4. Кормоцехи для производства комбикормов и сухих кормосмесей

Принципы построения технологического процесса. Производство комбикормов непосредственно в коллективных или фермерских хозяйствах позволяет экономить на транспортных расходах, избежать потерь зерна при перевозках, в нужной мере использовать собственное сырье. Если при этом еще использовать покупные БВД, то можно получить комбикорм высокого качества, в полной мере отвечающий физиологическим потребностям КРС, свиней, овец и других сельскохозяйственных животных.

Себестоимость комбикормов собственного производства в 2–3 раза ниже, чем стоимость покупных комбикормов, произведенных на крупных комбикормовых заводах.

Известны три схемы построения технологического процесса.

1. Последовательно-параллельная подготовка всех компонентов и одноразовое дозирование (классический способ). Зерновые компоненты после очистки измельчаются отдельно (за каждой дробилкой

закрепляют зерновые культуры, сходные по своим технологическим показателям) и размещаются в наддозаторных бункерах. Дозирование компонентов осуществляется многокомпонентными весовыми дозаторами с использованием порционных смесителей или батареей объемных дозаторов при непрерывном смешивании (рис. 8.4, а).

Классические схемы из-за многочисленных параллельных технологических линий насыщены основным, вспомогательным и транспортным оборудованием, работа которого требует больших затрат энергии.

2. Формирование предварительных смесей зернового сырья с повторным дозированием. Зерновые материалы измельчают одновременно (после предварительного дозирования и смешивания) и размещают эту смесь в одном наддозаторном бункере. Затем ее и другие компоненты дозируют при помощи многокомпонентных весовых дозаторов в смеситель порционного действия (рис. 8.4, б).

Такая схема позволяет значительно увеличить производительность дробилок и снизить удельный расход электроэнергии, однако она не лишена недостатков рассмотренной выше схемы.

3. Прямоточный метод. Все компоненты обрабатываются в потоке вплоть до выпуска готовой продукции. Зерновые материалы дозируют при помощи многокомпонентного дозатора непрерывного действия с последующим их измельчением и смешиванием в дробилке. Полученная зерновая смесь и другие компоненты подаются в прямоточный шнек-смеситель (рис. 8.4, в), где происходит окончательное смешивание и получение комбикорма.

Такая схема позволяет в полной мере использовать принцип поточности и, следовательно, достичь высокой производительности, а также сократить количество используемого оборудования и снизить удельный расход электроэнергии.

По третьей технологической схеме выполнен комбикормовый агрегат, разработанный в АГАУ.

Цех по производству комбикормов в хозяйствах. В результате проводимых в АГАУ работ по совершенствованию процесса и технологического оборудования для приготовления комбикормов были разработаны малогабаритный комбикормовый агрегат и ряд технологических схем комбикормовых цехов. Основным оборудованием комплекта являются опытные образцы молотковой дробилки-смесителя, вибрационного смесителя и многокомпонентного вибрационного дозатора, описание которых представлено выше.

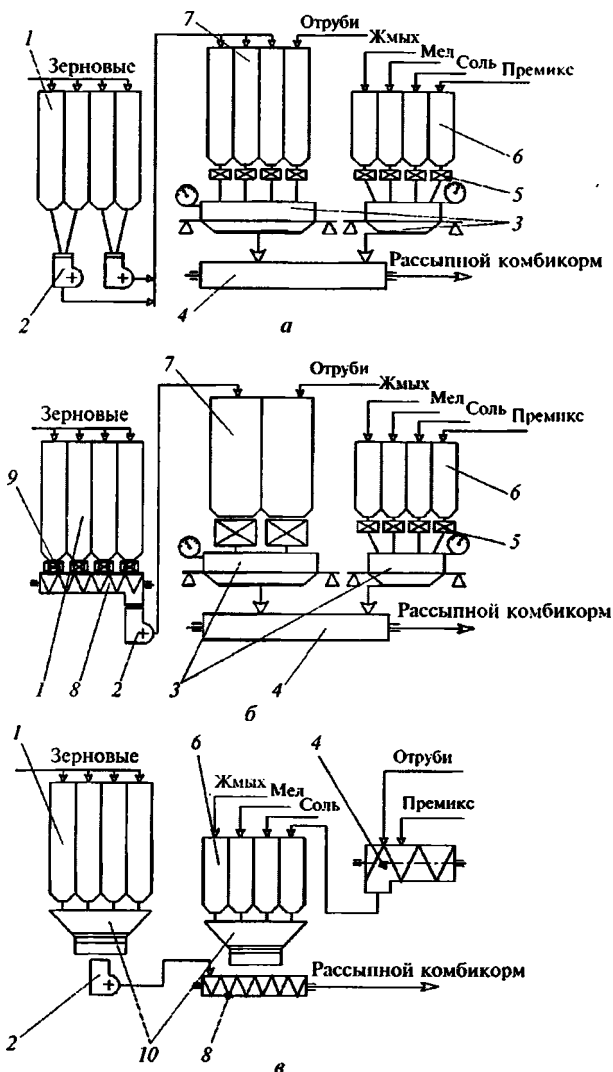


Рис. 8.4. Технологические схемы производства комбикормов:

а — классическая схема с последовательно-параллельной подготовкой компонентов; *б* — классическая схема с формированием предварительной смеси; *в* — прямоточная схема; 1 — бункер исходных компонентов; 2 — дробилка; 3 — многокомпонентный весовой дозатор; 4 — порционный смеситель; 5 — питатель; 6 — бункер с добавками; 7 — бункер-накопитель; 8 — шнек-смеситель; 9 — однокомпонентный дозатор объемного типа; 10 — многокомпонентный дозатор объемного типа

Комплект оборудования комбикормового агрегата предназначен для приготовления комбикормов в условиях фермерского хозяйства или другого сельскохозяйственного предприятия из местного сырья с использованием покупных ингредиентов (БВД). В состав комбикорма могут входить любые зернофуражные компоненты, жмых, отходы зерноперерабатывающих и крупяных производств, сыпучие материалы, а также гранулированные корма. Комплект оборудования для виброударной технологии приготовления комбикормов может обеспечить производительность до 2,5 т/ч рассыпных комбикормов.

Технологический процесс построен на следующих основных принципах:

- максимальное сокращение транспортных операций и совмещение их с технологическими;
- поточная технология обработки основных ингредиентов, обеспечивающая требуемую производительность и минимальные затраты энергии, металла, топлива, труда;
- применение объемного принципа дозирования при приготовлении комбикорма и весового — при подготовке БВД, что позволяет выполнить зоотехнические требования при использовании несложного по устройству оборудования;
- широкое использование интенсифицирующих рабочих органов вибрационного и ударного принципа действия.

Технологический процесс приготовления рассыпных комбикормов включает следующие основные операции:

- прием, очистка исходного сырья;
- подача и распределение компонентов по отсекам наддозаторного бункера;
- объемное непрерывное и одновременное дозирование всех ингредиентов комбикормов;
- взвешивание, подача в смеситель витаминно-белкового сырья и его смешивание с наполнителем (при необходимости);
- измельчение ингредиентов с их одновременным смешиванием;
- подача полученного комбикорма в бункер готовой продукции;
- хранение и выдача комбикормов.

Цех (рис. 8.5) включает следующее основное оборудование: бункер 1 для накопления исходных зерновых компонентов, включающий коническую и цилиндрическую части; два четырех-

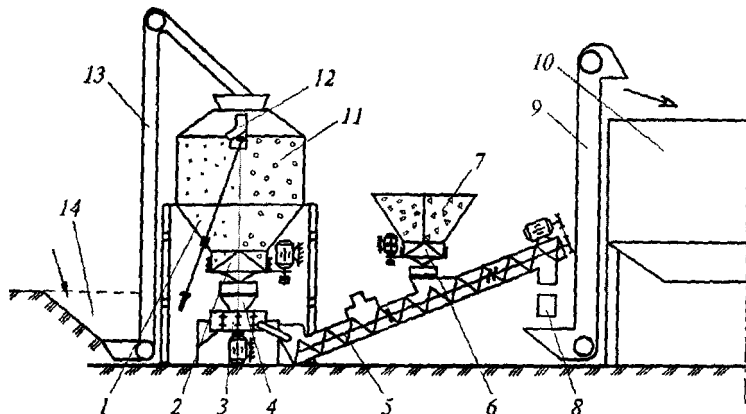


Рис. 8.5. Технологическая схема цеха по производству комбикормов, разработанная АГАУ:

1, 7, 10, 11 — бункеры; 2, 6 — дозаторы; 3 — дробилка; 4 — пробоотборник; 5 — шнек-смеситель; 8 — колонка; 9, 13 — нории; 12 — распределительное устройство; 14 — завальная яма

компонентных дозатора 2 и 6 вибрационного типа; молотковую дробилку 3 с вертикальной осью ротора; пробоотборник 4; шнек-смеситель 5; бункер 7 для сыпучих компонентов; магнитную колонку 8; нории 9 и 13; бункер готовой продукции 10, распределительное устройство 12, завальную яму 14.

Прием зернового сырья осуществляется от самосвального автотранспорта, при разгрузке которого компоненты поступают в завальную яму 14, где происходит очистка от крупных примесей. С этой целью завальная яма снабжена в верхней части решеткой. Затем норией 13 компоненты распределяются по четырем отсекам бункера 11. Распределение осуществляется при помощи поворотного устройства 12.

Объемное дозирование компонентов обеспечивает вибрационный четырехкомпонентный дозатор 2. Все компоненты выводятся через одно центральное отверстие виброднища дозатора, благодаря чему они предварительно смешиваются между собой. Под действием гравитационных сил эта смесь попадает в дробилку фуражного зерна 3, где измельчается и одновременно перемешивается.

Подача каждого из четырех зерновых компонента регулируется независимо друг от друга. Проверка настройки дозатора осуществляется при помощи взятия проб с помощью пробоотборника 4.

В дозатор 6 подаются измельченные компоненты (жмых, отруби), а также БВД. С этой целью наддозаторный бункер 7 разделен также на четыре отсека.

При необходимости смешивания БВД с наполнителем или приготовления кормолекарственного премикса используют вибрационный смеситель. Он работает автономно, поэтому на рисунке не показан. Полученный в этом смесителе материал засыпается вручную в этот же бункер 7.

Окончательное смешивание всех без исключения компонентов осуществляется шнеком-смесителем 5. Выходящий из него комбикорм проходит через магнитную колонку 8, очищается от металломагнитных примесей и поступает в бункер готовой продукции 10, откуда идет ее отгрузка на фермы.

При производительности 2,5 т/ч данный цех имеет установочную мощность всего в 23 кВт. Качество измельчения, дозирования и смешивания соответствует зоотехническим требованиям. Комбикормовый агрегат прошел длительную производственную проверку в хозяйствах Алтайского края, Новосибирской области и в Башкирии, и рекомендуется для использования в коллективных и фермерских хозяйствах.

■ 8.5. Основы расчета кормоцехов

Кормоцехи для приготовления влажных кормосмесей должны отвечать следующим зоотехническим требованиям:

- грубые корма, подлежащие переработке, должны храниться на кормовой площадке, связанной с кормоцехом дорогой с твердым покрытием; люцерновое либо клеверное сено (для рационов свиней) необходимо хранить в скирдах в рассыпном виде, в тюках, либо в скирдооформителях;
- при кормоцехе следует иметь механизированное хранилище для целых и слабоповрежденных корнеклубнеплодов емкостью из расчета 3–4-недельного расхода кормов и хранилище мелассы на 50...100 т;
- оборудование кормоцеха должно надежно работать при температуре окружающей среды от +5 до +35 °С и относительной влажности воздуха до 95 %;

- оборудование кормоцеха в соответствии с назначением должно быть изготовлено из материалов, устойчивых к коррозии, воздействию кислот, щелочей и дезинфицирующих средств и не должно образовывать с ним вредных соединений;

- дозирующие устройства вспомогательных линий кормоцеха должны иметь регулируемую производительность, отклонения при дозировании компонентов допускаются в таких пределах: комбикормов и концентратов $\pm 1,5\%$, грубых и сочных кормов соответственно 10 и $3,5\%$, жидких питательных смесей $2,5\%$, минеральных добавок 1% от количества дозируемого по массе корма;

- время, необходимое для переключения всех дозирующих устройств кормоцеха на другой режим работы, не должно превышать 5 мин;

- показатель качества однородности смешивания кормосмеси должен быть не менее 80% , а при вводе карбонида — не менее 90% ;

- неравномерность подачи грубых кормов, силоса и корнеклубнеплодов не должна превышать $10\ldots 15\%$, концентрированных кормов — 5% ;

- в составе готовых кормосмесей $70\ldots 75\%$ измельченной массы должно состоять из частиц до $10\ldots 12$ мм (для КРС), а частиц крупнее 12 мм должно быть не более 30% , причем размер этих частиц для откормочного молодняка не должен превышать 20 мм, а для молочных коров 50 мм;

- запаренные корма необходимо охлаждать до температуры $+40^\circ\text{C}$ перед смешиванием с витаминными или белковыми добавками и до $+70^\circ\text{C}$ перед смешиванием с комбикормом.

Расчет технологического процесса. Оборудование в кормоцехе неодинаково загружено как в течение суток, так и в различные периоды года. Поэтому, чтобы рассчитать технологические линии, необходимо знать структуру поголовья животных на ферме, тип кормления, рационы животных, физико-механические свойства кормов, а также техническую характеристику машин и оборудования и технико-экономические показатели выбираемого комплекта.

Расчет технологических линий целесообразно проводить в два этапа. На первом этапе необходимо разработать схему технологического процесса, определить суточную и часовую производительность отдельных линий и кормоцеха в целом, рас-

считать потребное количество раствора, чтобы получить требуемую влажность кормосмеси, найти расход пара, электроэнергии, емкость накопителей, производительность и число машин кормоцеха, выбрать схему технологических линий кормоцеха и установить площадь кормоцеха. На втором этапе уточняют расчет и строят графики загрузки машин и оборудования кормоцеха.

Учитывая поголовье животных по группам и рационы, определяют потребность фермы в кормах, а также объем питательных растворов (воды), добавляемых к кормам. Суточную производительность технологических линий для обработки отдельных видов кормов рассчитывают по следующим формулам:

$$Q_{л1} = a_1 N_1 + a_2 N_2 + a_3 N_3 + \dots + a_n N_n;$$

$$Q_{л2} = b_1 N_1 + b_2 N_2 + b_3 N_3 + \dots + b_n N_n;$$

$$Q_{лn} = z_1 N_1 + z_2 N_2 + z_3 N_3 + \dots + z_n N_n,$$

где $Q_{л1}, Q_{л2}, \dots, Q_{лn}$ — суточная производительность технологических линий, равная суточному потреблению различных кормов, т/сут.; $N_1, N_2, \dots, N_n$ — число животных в каждой группе; a, b, z — масса различных видов кормов, расходуемых по максимальному суточному рациону на одно животное, т/сут.

Разделив общий суточный объем линии на принятое время работы кормоцеха, определяем его часовую производительность:

$$Q_{ол} = \frac{Q_{л1} + Q_{л2} + Q_{л3} + \dots + Q_{лn}}{T} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{ли}}{T},$$

где T — время работы кормоцеха в сутки, ч.

Технологический расчет основных и вспомогательных линий, выбор машин и оборудования следует начинать с ведущей машины. Ее параметры являются определяющими для расчетов остальных линий кормоцеха.

В технологическом процессе кормоприготовления основной операцией является смешивание кормов. Поэтому, выбирая тип смесителя, необходимо заранее знать влажность и объем кормовых рационов.

Количество кормов, которое необходимо приготовить для разовой выдачи животным, определяется с учетом принятой кратности кормления.

Исходную влажность кормовой смеси определяем по формуле, %:

$$W = \frac{W_1\Pi_1 + W_2\Pi_2 + \dots + W_n\Pi_n}{100},$$

где $W_1, \dots, W_n$ — влажность компонентов рациона; $\Pi_1, \dots, \Pi_n$ — содержание компонентов в рационе.

Для лучшей организации процесса кормления рационы группируют, объединив животных в укрупненные группы, например: 1-я группа — коровы, нетели и телки старше года, 2-я группа — молодняк моложе 12 месяцев. Определим количество питательного раствора, которое необходимо добавить в смесь, л:

$$P_{\text{в}} = \frac{G_{\text{в}}(W_0 - W)}{100 - W_0},$$

где $G_{\text{в}}$ — масса смеси рациона без раствора (воды), кг; W_0 — заданная влажность, %.

Разделив суточную потребность кормов, подлежащих переработке в кормоцехе, на допустимую длительность приготовления (для молочных ферм 7...8 ч), находим потребную производительность кормоцеха. Таким образом, можно установить часовую производительность основной линии кормоцеха — линии смешивания.

Вычислим число смесителей:

$$n_{\text{см}} = Q_{\text{ол}} / q_{\text{см}},$$

где $q_{\text{см}}$ — производительность смесителя, т/ч.

Часовая производительность технологических линий кормоцеха

$$Q_{\text{ол}} = \frac{\Pi_i Q_{\text{пл}}}{100},$$

где $Q_{\text{ол}}$ — производительность технологических линий кормоцеха по переработке соломы, силоса, корнеклубнеплодов и др., т/ч; Π_i — содержание компонента в кормосмеси, %.

По часовой производительности выбираем тип и число машин кормоцеха.

Число машин в каждой линии

$$n = \frac{Q_{\text{ол}}}{\Pi q_{\text{м}}},$$

где C — число циклов работы машины; q_m — производительность машины вспомогательной технологической линии, т/ч.

Необходимое количество бункеров, накопителей-дозаторов для каждой технологической линии кормоцеха должно соответствовать тому виду и количеству корма, который хранится и перерабатывается на данной линии. Вместимость бункеров:

$$V = \frac{Q_{\text{л}} t_{\text{д}}}{\gamma \varphi},$$

где $Q_{\text{л}}$ — суточный расход корма, т; $t_{\text{д}}$ — число дней хранения компонента в бункере (1–3 суток); γ — объемная масса (плотность) продукта, т/м³; φ — коэффициент заполнения бункера (для мунистых кормов $\varphi = 0,80\text{--}0,85$).

Вместимость бункеров для концентратов следует рассчитывать не менее чем на трехсуточную норму их расходования. Это позволит исключить работу складов и транспорта в выходные и праздничные дни. Транспортирующие устройства для сочных кормов выбирают и рассчитывают исходя из опыта эксплуатации и параметров накопителей (для силоса емкость бункера должна соответствовать 15...25 м³).

Суточный расход пара $M_{\text{сут}}$ для кормоцеха определяют по его потребности для тепловой обработки кормов, подогрева воды и центрального пароводяного отопления помещений, пользуясь формулой:

$$M_{\text{сут}} = M_{\text{ук}} G + M_{\text{ув}} B_{\text{г}} + M_{\text{уо}} V,$$

где $M_{\text{ук}}$ — удельный расход пара на единицу массы корма, кг/кг (табл. 8.1); G — масса обрабатываемого корма, кг; $M_{\text{ув}}$ — удельный расход пара на единицу массы холодной водопроводной воды, кг/кг; $B_{\text{г}}$ — суточное количество горячей воды, кг; $M_{\text{уо}}$ — удельный расход пара на отопление 1 м³ помещения, кг/м³; V — объем отапливаемого помещения, м³.

Таблица 8.1. Расход воды и пара на обработку кормов

Вид операции	Количество продукта, кг	Расход воды, л	Расход пара, кг
Мойка и запаривание корнеплодов	1	0,1–0,8	0,15–0,20
Запаривание концентратов	1	1,0–1,5	0,20–0,25
Приготовление смесей для свиней	1	0,5–1,0	–

По часовому расходу пара выбирают тип и число установок для получения электротепла (вместо паровых котлов).

При расчете потребности электроэнергии находят общую установленную мощность электродвигателей, максимально потребляемую мощность по часам суток и величину суточного расхода электроэнергии кормоцехом. Суточный расход электроэнергии:

$$\mathcal{E}_c = (P_1 t + P_2 t_2 + \dots + P_n t_n),$$

где $P_1, P_2, \dots, P_n$ — мощность электродвигателей и установок, кВт; $t_1, t_2, \dots, t_n$ — время работы электродвигателей и электростановок, ч.

Исходными данными при расчете являются мощность электродвигателей машин и оборудования и часы их работы за сутки. Пользуясь этими данными, строят график потребления электроэнергии по часам суток, по которому определяют максимальную потребную мощность кормоцеха, а также суточный расход электроэнергии.

При проектировании кормоцехов и при размещении машин и оборудования технологических линий необходимо соблюдать следующие условия: путь передвижения каждого компонента должен быть кратчайшим; оборудование надо расставлять в принятой последовательности технологического процесса; затраты на перегрузочные операции должны быть минимальными; коммуникационные линии должны иметь кратчайшие пути; для обслуживающего персонала должны быть созданы удобства и обеспечены условия для охраны труда и соблюдения техники безопасности, а также противопожарной техники.

Площадь кормоцеха определяют по формуле

$$F_k = a \sum F_m,$$

где $\sum F_m$ — площадь оборудования, определяемая по габаритам машин, взятых из технических характеристик, м²; a — коэффициент, определяющий долю площадей здания, потребную для рабочих мест, проходов и вспомогательных помещений, $a = 2-3$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белянчиков Н.Н., Смирнов А.И. Механизация животноводства и кормоприготовления. — М.: Агропромиздат, 1990.

Бондарев В.А. Способы подготовки кормов к скармливанию — М.: Россельхозиздат, 1978.

Вагин Б.И., Побединский В.М. Практикум по механизации животноводческих ферм. — Л.: Колос, 1983.

Завражнов А.И., Николаев Д.И. Механизация приготовления и хранения кормов. — М.: Агропромиздат, 1990.

Кормановский Н.П., Морозов Н.М., Цой Л.М. Обоснование технологий и машин для животноводства. — М.: Аграрная наука. 1999.

Кошелев А.Н., Глебов Л.А. Производство комбикормов и кормовых смесей. — М.: Агропромиздат, 1990.

Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов. — М.: Агропромиздат, 1987.

Кулаковский И.В., Кирпичников Ф.С., Резник Е.И. Машины и оборудование для приготовления кормов: Справочник. В 2-х ч. — М.: Россельхозиздат, 1987.

Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. — Л.: Колос, 1978.

Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич. — М.: Колос, 1999.

Механизация и электрификация животноводства / Л.П. Карташов, А.А. Аверкиев, А.И. Чугунов, Т.В. Козлов. — М.: Агропромиздат, 1987.

Механизация приготовления кормов: Справочник / В.И. Сыроватка, А.В. Демин, А.Х. Джалилов и др. — М.: Агропромиздат, 1985.

Наумов И.А. Совершенствование кондиционирования и измельчения пшеницы и ржи. — М.: Колос, 1975.

Особов В.И., Васильев Г.К., Голяновский А.В. Машины и оборудование для уплотнения сеносоломистых материалов. — М.: Машиностроение, 1974.

ОСТ 70.19.2–83. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов: Программа и методы испытаний. — М., 1984.

Приготовление, хранение и раздача кормов на животноводческих фермах. — М.: Колос, 1977.

Производство и использование комбикормов в коллективных и фермерских хозяйствах: Учебное пособие / С.Н. Васильев, И.Я. Федоренко, А.А. Эленшлегер и др.: Под общей ред. И.Я. Федоренко. — Барнаул: Изд-во АГАУ, 2003.

Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. — М.: Машиностроение, 1975.

Соминич Н.Г. Механизация животноводческих ферм. — М.: Сельхозиздат, 1959.

Справочник зоотехника / А.П. Калашников, О.К. Смирнов, Н.И. Стрекозов и др. — М.: Агропромиздат, 1986.

Технологическое оборудование кормоцехов / П.И. Леонтьев, В.И. Земсков, В.И. Потемкин. — М.: Колос, 1984.

Федоренко И.Я. Проектирование технических устройств и систем: принципы, методы, процедуры: Учебное пособие. — Барнаул: Изд-во АГАУ, 2003.

Федоренко И.Я., Золотарев С.В. Переработка сельскохозяйственного сырья на малогабаритном оборудовании: Учебное пособие. — Барнаул: Изд-во АГАУ, 1998.

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ТРЕБОВАНИЯ К КОРМАМ, СПОСОБЫ И СХЕМЫ ИХ ПРИГОТОВЛЕНИЯ	5
1.1. Общие сведения о кормах и способах их приготовления	5
1.2. Технологические схемы подготовки кормов к скармливанию	8
1.3. Физико-механические свойства кормов	9
2. ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЗЕРНОВЫХ КОРМОВ	12
2.1. Зоотехнические требования	12
2.2. Технологические свойства фуражного зерна	15
2.3. Способы измельчения	19
2.4. Основные закономерности измельчения зерна ударом	23
2.5. Влияние числа ударов, необходимых для разрушения зерна, на энергетику процесса измельчения	30
2.6. Конструктивные особенности измельчителей ударного действия	33
2.7. Области применения и основные параметры вальцовых станков и плющилок	40
2.8. Оборудование для плющения зерна	46
3. ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ГРУБЫХ И СОЧНЫХ КОРМОВ	49
3.1. Зоотехнические требования	49
3.2. Технологические свойства грубых и сочных кормов	51
3.3. Рабочие органы измельчителей грубых и сочных кормов	53
3.4. Основы теории резания	56
3.5. Параметры режущего аппарата барабанного типа	62
3.6. Конструктивные особенности измельчителей грубых и сочных кормов	65
4. СУШКА КОРМОВ	71
4.1. Зоотехнические требования и технология сушки	71
4.2. Основные закономерности сушки	72
4.3. Конструктивные особенности барабанных сушилок	76
5. ПРЕССОВАНИЕ КОРМОВ	78
5.1. Зоотехнические требования и технология производства прессованных кормов	78
5.2. Реологические свойства кормов	82

5.3. Рабочие органы для гранулирования и брикетирования	
5.4. Основные закономерности рабочего процесса штемпель- ных прессов.....	
5.5. Параметры кольцевых рабочих органов	
5.6. Оборудование для гранулирования и брикетирования кор- мов	
6. ДОЗИРОВАНИЕ КОРМОВ.....	
6.1. Основные понятия и зоотехнические требования.....	
6.2. Технологические свойства дозируемых материалов	
6.3. Оборудование для дозирования кормов	
6.4. Технологические характеристики дозаторов	
6.5. Принцип связного дозирования компонентов кормосмеси	
7. СМЕШИВАНИЕ КОРМОВ.....	
7.1. Зоотехнические требования	
7.2. Основные принципы смешивания	
7.3. Классификация и рабочие органы смесителей	
7.4. Технологические характеристики смесителей	
7.5. Двухстадийное смешивание	
7.6. Теоретические основы смешивания	
7.7. Конструктивные особенности смесителей	
8. ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРИГОТОВЛЕНИЮ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ (КОРМОЦЕХИ)	
8.1. Классификация кормоприготовительных предприятий.....	
8.2. Кормоцехи для приготовления влажных кормосмесей крупному рогатому скоту	
8.3. Кормоцехи для приготовления влажных кормосмесей свиньям	
8.4. Кормоцехи для производства комбикормов и сухих кормо- смесей.....	
8.5. Основы расчета кормоцехов	
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	