

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Дальневосточный государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ)

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ФОРМОВАННЫХ
КОРМОВЫХ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ТЫКВЕННО-ЗЕРНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

С.М. Доценко, А.В. Бурмага,
П.Н. Школьников, С.А. Винокуров

Монография

Благовещенск
Издательство
Дальневосточного государственного аграрного университета
2017

УДК 631.363
ББК 40.729+45.45
Н34

Рецензенты:

*Р.Л. Шарвадзе, д-р с.-х. наук, профессор,
ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ;*

*С.А. Иванов, д-р техн. наук,
директор ООО «Сибирск соя»*

**Н34 Научно-практические основы технологии приготовления
формованных кормовых продуктов с использованием
тыквенно-зерновых композиций / С. М. Доценко, А. В. Бур-
мага, П. Н. Школьников, С. А. Винокуров. – Благовещенск:
Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2017. – 350 с.**

ISBN 978-5-9642-0403-9

Приведены результаты многолетних исследований, позволяющих проектировать технические средства в составе технологической линии приготовления формованных гранулированно-брикетированных кормовых продуктов на основе тыквенно-зерновых композиций. Может быть использована в качестве руководства для широкого круга специалистов.

**УДК 631.363
ББК 40.729+45.45**

Печатается по решению научно-технического совета
ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ
(Протокол №3 от 6 декабря 2017 года)

© Доценко С.М., 2017

© Бурмага А.В., 2017

© Школьников П.Н., 2017

© Винокуров С.А., 2017

© ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, 2017

ISBN 978-5-9642-0403-9

© Оформление. Изд-во Дальневост.
гос. аграрного ун-та, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
Глава 1. Состояние механизации и исследований по процессам приготовления кормовых смесей животным и птице. Цель и задачи исследований.....	8
1.1 Эффективность кормления животных полнорационными кормовыми смесями	8
1.2 Характеристика, способы и технологии подготовки углеводисто-витаминного сырья к скармливанию животным и птице	15
1.3 Характеристика, способы и технологии подготовки зерновых и зернобобовых к скармливанию животным и птице.....	37
1.4 Особенности приготовления и использования прессованных кормовых продуктов в виде гранул и брикетов для животных и птицы	65
1.4.1 Оборудование для гранулирования кормов влажным способом	72
1.4.2 Оборудование для производства формованных амидо-концентратных добавок (АКД).....	74
1.4.3 Оборудование для гранулирования кормов сухим способом	78
1.4.4 Оборудование для брикетирования кормов	86
1.4.5 Технологические операции, осуществляемые в процессе уплотнения кормов прессованием.....	92
1.5 Краткий обзор исследований по изучению процессов подготовки растительного сырья к скармливанию животным и птице	97
1.5.1 Анализ исследований по изучению процесса уплотнения кормов и роль технологических факторов	97
1.5.2 Анализ исследований по изучению процесса измельчения сырьевых продуктов	107
1.5.3 Анализ существующих методов оценки качества смесей.....	118
1.6 Цель и задач исследований	125

Глава 2. Теоретические основы повышения эффективности процесса приготовления формованных кормов с использованием тыквенно-зерновых композиций	128
2.1 Обоснование экономико-математической модели оценки эффективности приготовления кормовых продуктов с использованием тыквенно-зерновых композиций	128
2.2 Теоретические основы повышения эффективности процесса дискретной подачи плодов условно шарообразной формы в системе «Питатель-измельчитель»	140
2.3 Теоретические основы повышения эффективности процесса измельчения продуктов в виде плодов условно шарообразной формы .	148
2.4 Теоретические основы повышения эффективности работы линии приготовления формованных кормовых продуктов в системе «Измельчитель – мобильный питатель»	176
2.4.1 Теоретический анализ рабочего процесса измельчения и подачи кормовых продуктов молотковым измельчающе-распределяющим устройством и обоснование его параметров	180
2.4.2 Теоретические предпосылки к оценке качества формирования кормового монолита в бункере мобильного раздатчика	212
2.5 Теоретические предпосылки к оценке смешивающей способности предложенных технических средств при получении тыквенно-зерновых композиций	222
2.6 Теоретические основы процесса получения гранулированно-брикетированных кормовых продуктов с использованием тыквенно-зерновых композиций	231
2.6.1 Обоснование структурно-функциональной схемы пресса для получения гранулированно-брикетированных смесей	231
2.6.2 Обоснование параметров смешивающе-питающего блока пресса	233
2.6.3 Обоснование параметров процесса дезинтеграции-гомогенизации тыквенно-зерновой композиции решёточно-ножевым аппаратом	235
2.6.4 Обоснование параметров прессующе-формирующего блока	239

Глава 3. Результаты экспериментальных исследований и их анализ.....	250
3.1 Определение физико-механических свойств исходного плодового и зернового сырья	250
3.2 Обоснование параметров питателя плодов тыквы	258
3.3 Обоснование параметров процесса измельчения плодов тыквы дисковым измельчителем.....	259
3.4 Исследование рабочего процесса ИРУ мобильного измельчителяпитателя.....	264
3.5 Обоснование параметров рабочего процесса ИРУ	269
3.6 Обоснование параметров прессы для получения гранулированно-брикетированных тыквенно-зерновых композиций	284
Глава 4. Производственная проверка результатов исследований и их экономическая эффективность и методика расчета предложенной линии.....	302
4.1 Условия проведения производственной проверки результатов исследований	302
4.2 Техничко-экономическая эффективность результатов исследований.....	308
4.3 Методика расчета линии приготовления гранулированно-брикетированных кормовых продуктов.....	313
Заключение.....	320
Список литературы.....	321
Приложения.....	329

ВВЕДЕНИЕ

Главной целью развития сельского хозяйства на ближайшее время и отдаленную перспективу является обеспечение продовольственной независимости России и повышение конкурентоспособности отечественной сельхозпродукции на внутреннем и внешнем рынках в связи со вступлением нашей страны в ВТО. При этом особое внимание уделяется развитию животноводства, путем доведения к 2020 г. производства мяса скота и птицы до 14,07 млн. тонн, а молока до 38,2 млн. тонн. Решение поставленных задач будет во многом определяться за счет совершенствования производственных процессов по приготовлению кормов животным с минимально возможными затратами труда и средств.

Полноценное кормление животных предусматривает выдачу многокомпонентных кормовых смесей в соответствии с их физиологическими потребностями. Наибольшее значение в питании животных имеют сахара, крахмал и витамины, связанные с регулированием обмена веществ в организме животных.

Важнейшими источниками сахаров и витаминов являются бахчевые культуры (плоды тыквы, арбуз кормовой, кабачки, патиссоны), а также капуста, так как обладают хорошими вкусовыми достоинствами, диетическими свойствами охотно поедаются животными и представляют собой особую кормовую ценность.

Проведенный анализ существующих технологических схем, принципов и условий работы технологических линий приготовления сочных кормов показывает, что наряду с их низкой функциональной надежностью, обусловленной сложной структурой, высокой металлоемкостью и энергоемкостью, имеет место невозможность получения с их помощью кормовых смесей, содержащих углеводисто-витаминный компонент в виде тыквы и др. бахчевых культур, а также крупнокочанной капусты в соответствующей зоотехническим требованиям физической форме и композициях, заданного состава и свойств. Плоды тыквы и других бахчевых культур, а также кочаны капусты, из-за своих больших размеров и специфической формы, практически не могут быть подвергнуты механической обработке и раздаче с помощью серийно

выпускаемых машин, а потому, как правило, скармливаются животным в неподготовленном виде и в малых объемах.

Все это, в конечном итоге, не обеспечивает высокой эффективности функционирования системы механизированного кормления животных.

В этой связи, проблема повышения эффективности функционирования процессов и средств механизации кормления животных кормовыми смесями с использованием углеводисто-витаминного компонента в виде тыквы и других бахчевых культур, а также капусты, в соответствующих зоотехническим требованиям физической форме и композициях с заданным составом и свойствами – актуальна и имеет важное народнохозяйственное значение.

Степень разработанности темы. Проблеме приготовления прессованных кормовых смесей с использованием зерна колосовых и бобовых культур посвящены работы Бушуева С.В., Гриба В.К., Гурова Ю.П., Некрашевича В.Ф., Подкозьина Ю.В., Фарбмана Г.Я. и других ученых.

Однако до настоящего времени не было получено данных, позволяющих проектировать процессы приготовления гранулированных кормовых смесей на основе тыквенно-зерновых композиций и конструировать технические средства для их реализации.

Методология и методы исследований. Объектом исследований является технологический процесс приготовления формованных кормовых смесей как трансформирующаяся дискретно-непрерывная потоковая система.

Предмет исследований – закономерности процесса приготовления формованных кормов на основе тыквенно-зерновых композиций.

Общей методологической основой исследований являлось использование системного подхода, обеспечивающего рассмотрение механизированной системы кормления с учетом реальных взаимосвязей системных параметров. В теоретических исследованиях использованы методы и законы механики, математики, теории вероятностей, математического моделирования. В экспериментальных исследованиях применены методы планирования многофакторного эксперимента. Анализ полученного материала осуществлялся с использованием методов математической статистики.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОЦЕССАМ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ ЖИВОТНЫМ И ПТИЦЕ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОРМЛЕНИЯ ЖИВОТНЫХ ПОЛНОРАЦИОННЫМИ КОРМОВЫМИ СМЕСЯМИ

Исследованиями ученых и передовой производственной практикой установлено, что полнорационные кормосмеси удовлетворяют физиологические потребности животных и птицы, способствуют усилению пищеварения и повышению их продуктивности за счет сбалансированности кормов по питательным веществам [39, 40, 97, 99]. При этом посредством кормовых смесей можно скормливать 1,5 - 2 раза больше малоценных кормов, чем при раздельной раздаче, так как в этом случае животные не могут выбрать наиболее «вкусный» корм.

Высокой эффективностью обладают кормовые смеси, содержащие такие углеводисто-витаминные компоненты, как корнеклубнеплоды, бахчевые культуры, капуста и концорма. Включение в кормовую смесь углеводисто-витаминного компонента приводит к значительному усилению пищеварения в кишечнике, к повышению поедаемости кормов и переваримости питательных веществ. В результате увеличивается количество питательных веществ, поступающих в кровь [40].

Правильное соотношение белковых и углеводистых кормов позволяет равномернее нагружать пищеварительный тракт и полнее использовать пищеварительные способности животных. В хозяйствах Хабаровского края изучали влияние уровня легкорасщелимых углеводов в рационах на использование питательных веществ корма, качество молозива, содержание в крови сахара и репродуктивные функции коров. У подопытных животных были лучшие показатели по перевариваемости и использованию протеина, а также БЭВ, что позволило уменьшить затраты кормов на синтез молока. Надой в подопытных группах был выше, чем в контрольной на 15,7 - 21,7%.

Многочисленные исследования и практика показывают, что на современном уровне ведения молочного животноводства, при

концентрации большого количества животных на одной ферме целесообразно использовать смешанный тип кормления и скормливать все корма только в виде многокомпонентных смесей. Тем более, что в последнее время наметилась тенденция к увеличению в рационах крупного рогатого скота объемистых кормов (сено, силос, сенаж). По своему физиологическому действию они наиболее полно удовлетворяют потребности жвачных животных в питательных веществах, так как по химическому составу и содержанию биологически активных веществ близки к зеленой траве.

При интенсивном ведении животноводства повсеместно проводится подготовка кормов в кормоцехах.

Сочные корма хорошего качества не рекомендуется подвергать особой обработке, их лучше всего скормливать в натуральном виде. Однако экспериментальные исследования и анализ практической деятельности показывают, что эти корма даже отличного качества целесообразнее скормливать в смеси.

Кормосмеси готовят с учетом физиологического состояния животных и птицы, а также сложившейся структуры рационов в конкретном хозяйстве.

Исследования и анализ сложившейся структуры рационов ряда хозяйств Приамурья показывают, что для лактирующих коров лучше применять следующие кормосмеси, исходя из общей питательности: сено и травяная мука – 20%, силос, сенаж – 40-42%, бахчевые или корнеклубнеплоды – 8%, зерновые концентрированные корма – 30%.

Скармливание кормосмесей не только способствует более полной поедаемости всех кормов, входящих в состав рациона, но и реализует принцип взаимодополнения кормов по содержанию различных питательных веществ. Питательность кормосмесей, составляющих основу полноценного рациона, всегда выше, чем простая сумма всех кормов, входящих в рацион и скормливаемых животными раздельно. При одинаковом количестве съеденного корма, идентичной структуры рационов при выдаче кормов животным в смеси, их продуктивность увеличилась. Это было обусловлено в основном тем, что животные, получившие корм в смеси, сухое и органическое вещество рациона использовали выше на 8%, протеин на 5%, клетчатку - на 3,6%. При этом в мо-

локе увеличивалось содержание белка, содержание жира практически не изменялось, но тенденция к его увеличению имелаь.

Если животные, получавшие корм в смеси, на образование 1 кг молока 4%-ной жирности затрачивали 1,0 корм. ед. и 96 г переваримого протеина, то получавшие их в раздельном виде – соответственно 1,2 и 98.

Плоды тыквы, а также других бахчевых культур, используемые для кормления животных (в т.ч. капуста), во всех хозяйствах Дальнего Востока хранятся в замороженном виде, что создает определенные трудности для их последующего размораживания и скармливания. Проводят размораживание в кормоцехах, что связано с большими затратами труда и средств. При этом, строительство специализированных хранилищ, обеспечивающих хранение плодов в объеме, равном потребностям животных в них в течение всего зимнего стойлового периода, не является реальной задачей ввиду больших затрат [24].

Углеводы – главная составная часть сухого вещества растительных кормов. В зависимости от вида растений углеводы составляют от 40 до 80% сухих веществ корма. Их роль в организме животных многосторонняя: они входят в состав ядер и клеточного сока, а также составляют основную часть оболочек растительных клеток. В организме животных они покрывают более 50% всей требуемой энергии. Углеводы играют важную роль в сбережении белков в организме за счет синтеза аминокислот из аммиака (конечного продукта превращения белков) и молочной или пировиноградной кислот (продуктов окисления углеводов). Углеводы корма служат материалом для образования жировых запасов в организме, особенно при откорме [76].

При недостатке в корме углеводов жиры в организме окисляются не полностью и выделяются с мочой в полуокисленном состоянии в виде ацетоуксусной кислоты и других соединений. Недостаток углеводов вызывает также нарушение белкового обмена и ведет к ацидозу вследствие повышения в крови кетоновых тел. Легкорастворимые углеводы – сахара и крахмал служат не только питательными веществами для животного, но и пищей для микроорганизмов, населяющих преджелудки жвачных, а также используются для синтеза бактериального белка [2].

В кормах углеводы встречаются в различных формах. В зоотехнии все углеводы делят на две большие группы: клетчатку и безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ) [59].

В состав сырой клетчатки входит собственно клетчатка, или целлюлоза, часть геммицеллюлозы, инкрустирующие вещества - лигнин, кутин, суберин. Целлюлоза составляет основу оболочек растительных клеток. С развитием растений целлюлоза обогащается лигнином и стенки клеток деревенеют.

К БЭВ относятся все углеводы, за исключением клетчатки. Наибольшее значение в питании животных имеют сахара и крахмал. Сахара в кормах больше всего представлены глюкозой, фруктозой и мальтозой. В молоке содержится лактоза, или молочный сахар.

Крахмал – резервный материал в растениях, находится в больших количествах в семенах, ягодах и клубнях. Его мало в листьях и стеблях растений.

У жвачных животных все виды углеводов, поступающие с кормом, в рубце с помощью ферментов микроорганизмов расщепляются до простых сахаров, которые в дальнейшем сбраживаются до уксусной, пропионовой, масляной и других кислот. В то же время, суточная потребность кормов в каротине составляет от 40 до 60 мг/к. ед. При этом, например, плоды тыквы содержат 0,07 к. ед./кг и от 20 до 70 мг/кг каротина [97], который отсутствует в корнеклубнеплодах (табл. 1.1)

В таблице 1.2 приведены данные химического состава и питательности кормового сырья и кормов [59]. Они подтверждают тот факт, что комбинации зерновых или зернобобовых культур с корнеклубнеплодами могут давать высокоэффективные белково-витаминные и другие композиции.

В то же время известно, что естественные свежие цвета разжигают аппетит, усиливают удовольствие от приема пищи, и неудивительно, что потребитель предпочитает продукты более интенсивной окраски.

Таблица 1.1

Сравнительная питательная ценность кормовых компонентов

Кормовой продукт	Корм.ед / кг	Содержание, %					Витамины, мг/кг			Минер-е в-ва, г/кг	
		вода	протеин	жиры	углеводы	минераль-ные в-ва	β-каротин	K/U	C	Ca	P
Тыква сырая	0,07	92,0	1-2	0,7	5,0	1 -2	15 - 70	-	10	0,3	0,4
Арбуз	0,09	91,9	1,2	0,7	5,7	0,4 - 0,6	25	-	25	0,4	0,2
Кабачки и патиссоны	0,09	92	1,2	од	6,1	0,6	5 - 10	-	10	0,6	0,3
Свекла (курузику)	0,09 - 0,11	90	0,9	0,31	7,8	0,98	-	-	10	0,7	0,4
Картофель	0,31	75,0	1,4	0,1	22,9	0,6	-	-	25	0,2	0,9
Капуста	0,10	90	1,8	0,1	5,7	0,7	6,78	50/30	45	-	0,3

Цвет яичного желтка и окраска тушек бройлеров – основные факторы, учитываемые потребителем при оценке качества яиц и бройлеров. В разных странах мира, в зависимости от культуры и традиций, существуют свои представления о том, какая окраска яичных желтков является наилучшей, здоровой и аппетитной. Однако в подавляющем большинстве стран потребители предпочитают яйца с желтком золотисто-желтого цвета, а бройлеров – с приятным желтоватым цветом кожи. Яйца применяются также для производства макаронных изделий, выпечки, соусов и т.д. и должны придавать этим продуктам приятную окраску.

Цвет яичных желтков и кожи бройлеров определяется каротиноидами – пигментами, содержащимися в корме кур и цыплят-бройлеров. Каротиноиды – широко распространенные натуральные пигменты. Разведение домашней птицы, например, невозможно сегодня без адекватного количества каротиноидов, используемых в качестве пищевых добавок. Они выполняют важные биологические функции, вносят значительный вклад в повышение качества и рыночной ценности продукта.

Таблица 1.2

Химический состав и питательность кормов

Корм	Сухое вещество, %	В 1 кг сухого вещества содержится									
		Сырого протеина, гр	жира, гр	клетчатки, гр	БЭВ, гр	сахара, гр	крахмала, гр	зола, гр	ОЭ, МДж	кормовых единиц	переваримого протеина, гр
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Травяная мука											
Бобово- злаковая	88,9	157	29	259	451	78	-	104	9,75	0,834	108,3
Викоов- сяная	90,0	197	20	278	448	111	-	57	10,79	0,848	135,9
Злако- вых трав	90,5	101	16	326	470	94	-	87	8,69	0,706	63,6
Клевер- ная	90,0	166	28	295	417	78	-	94	9,94	0,823	111,2
Люцер- новая	90,0	164	27	264	450	90	-	95	10,41	0,844	114,8
Корне- и клубнеплоды, капуста, бахчевые											
Брюква	21,0	108	32	150	586	415	-	124	10,44	1,073	84,2
Свекла кормовая	14,7	95	22	85	727	460	-	71	11,42	0,966	66,5
Свекла полуса- харная	16,7	101	9	93	715	598	-	82	11,09	1,021	70,7
Турнепс	10,0	130	16	138	600	120	-	116	10,61	10,05 4	118,3
Куузику	7,5	133	9	114	656	513	-	88	11,08	1,79	86,4
Карто- фель	21,6	78	5	58	739	37	646	120	10,73	1,251	65,5
Морковь кормовая	13,8	65	8	103	778	362	-	46	11,07	1,228	43,5
Капуста	10,0	18	1,0	57	444	550	-	7,0	8,0	0,7	1,1
Тыква	8,0	20	7,0	500	400	-	-	200	0,8	0,9	12,0
Арбуз кормо- вой	8,0	12	7,0	570	420	-	-	60	7,0	0,9	8,0

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Кабачки	8,0	12	1,0	610	430	-	-	40	6,0	0,9	8,0
Патиссоны	8,0	14	1,0	600	430	-	-	50	6,0	1,0	8,0
Зерно и продукты его переработки											
Овес	90,0	155	52	150	611	30	450	32	12,13	1,123	119,3
Ячмень	88,8	144	26	68	723	60	550	39	12,48	1,297	108,0
Кукуруза	86,0	117	49	21	779	85	650	23	12,32	1,360	99,4
Пшеница	87,0	162	26	37	767	75	600	18	13,13	1,351	115,5
Мука соевая	89,6	367	33	121	401	39	336	78	11,53	1,240	315,6
Мука ячменная	84,7	152	30	134	643	64	521	41	11,61	1,251	121,6
Дерть овсяная	83,8	145	67	76	678	32	447	34	13,07	1,248	113,1
Мука овсяная	84,4	138	38	110	691	32	475	23	12,33	1,137	114,5
Отруби пшеничные	88,0	158	43	134	608	53	490	57	11,94	0,856	120,5
Зерноотходы ржаные	86,5	115	56	69	708	13	514	52	12,49	0,872	88,5
Соя тостированная	88,0	349	173	43	-	-	-	50	-	1,31	320

Наиболее важными источниками пигментов в корме кур-несушек являются кукуруза, люцерна и травы. Они содержат в основном пигменты каротиноидов типа lutein и zeaxanthin, которые вместе с другими каротиноидами известны под общим названием ксантофилы (xanthophylls). Эти пигменты поглощаются в кишечнике и оседают в яичном желтке. Другие каротиноиды, присутствующие в обычных кормах, либо не используются вовсе, либо, как β -каротин, превращаются в витамин А [60].

1.2 ХАРАКТЕРИСТИКА, СПОСОБЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ УГЛЕВОДИСТО-ВИТАМИННОГО СЫРЬЯ К СКАРМЛИВАНИЮ ЖИВОТНЫМ И ПТИЦЕ

Основными представителями ККП (корнеклубнеплодов) и углеводисто-витаминных сочных кормов являются: свекла, картофель, куузику, бахчевые (тыква, арбуз, кабачки и др.), а также капуста [97].

Свекла кормовая содержит от 9 до 14% сухих веществ, которые в основном представлены углеводами (сахар и пектиновые вещества). Питательность в 1 кг свеклы содержится в среднем 0,12 корм. ед., 0,5 г. фосфора 0,5 г кальция. Крупному рогатому скоту включается в рацион следующее количество: стельным коровам – 5-7 кг, дойным от 8 до 25 кг, или 0,6-0,8 кг на 1 л. молока, молодняку КРС от 1,0 до 12 кг. В свекле практически отсутствует каротин.

Картофель – переваримость составляет 87%. Туберин – основной белок картофеля, отличается высокой биологической активностью. Питательность 1 кг картофеля - 0,31 кормовых единиц, содержит 14 г переваримого протеина, 0,2 г кальция, 0,9 г фосфора. Молочным коровам дают до 25 кг на голову в сутки, скоту на откорме 30 кг. Пригоден для кормления после тепловой обработки в виде варки в воде или на пару.

Куузику – гибрид брюквы с кормовой капустой. Дает урожай корней 80-90 т/га. Питательность куузику составляет 0,11 к.ед., содержит на 1 кг – 7 г переваримого протеина, углеводов – до 12% (в основном сахара - 500-700г/кг и пектиновые вещества), 0,2 г кальция, 0,4 г фосфора. Коровам куузику скармливают в объеме до 20 кг. Как и в свекле отсутствует каротин.

Плоды бахчевых и капуста содержат 92% и более воды. Переваримость доходит до 72%. Так, питательность 1 кг тыквы 0,07 к. ед., содержит 7 г переваримого протеина, углеводов – 500 г/кг, 0,3 г кальция, 0,4 г фосфора и 15 мг каротина. Имеются сорта витаминной тыквы, содержащие 40-70 мг каротина.

Мониторинг цен, проводимый Министерством сельского хозяйства Амурской области (<http://agroamur.ru/>) показывает, что

средняя цена на картофель находится в пределах 33-34 рубля/кг, на морковь-54-55 рублей/кг (по данным на 1.12.2013). Цена плодов тыквы кормовой не превышает 15 рублей/кг, что говорит о хорошей перспективе возделывания последней для нужд кормовой отрасли области [24].

Для подготовки данного вида кормов к скармливанию применяют следующие технологические схемы:

1. Плоды свеклы кормовая, сахарная и полусахарная:
 - 1) прием → **мойка** → выдача;
 - 2) прием → **мойка** → измельчение → выдача;
 - 3) прием → **мойка** → варка → быстрое охлаждение → выдача;
 - 4) прием → **мойка** (сухая очистка) → измельчение → смешивание → выдача;
 - 5) прием → **сухая очистка** → измельчение → смешивание → силосование → выдача;
2. Клубни картофеля:
 - 1) прием → **мойка** → варка → мятие → выдача;
 - 2) прием → **сухая очистка** → измельчение → дозирование → выдача;
 - 3) прием → **мойка** → измельчение → смешивание → силосование → выдача;
3. Плоды кукурузы:
 - 1) прием → **мойка** → выдача;
 - 2) прием → **сухая очистка** → измельчение → дозирование → смешивание → выдача;
 - 3) прием → **сухая очистка** → измельчение → смешивание → силосование → выдача;
4. Плоды бахчевых:
 - 1) прием → **выдача в целом виде в кормушки животным и птице**;
 - 2) прием → **варка** → выдача;
 - 3) прием → **ручное измельчение** → выдача;
 - 4) прием → **ручное измельчение** → дозирование → смешивание → выдача;

5) прием → **разрушение в процессе разравнивания в траншее** → смешивание → силосование → выдача.

Операция по приемке и дозированной подаче исходного сырья, в приведенных технологических схемах осуществляется как с помощью стационарных питателей-дозаторов, выполненных по типу БДК-Ф-10, ПЗМ различных модификаций, по типу кормоприемников КП-10, транспортеров корнеклубнеплодов типа ТК-5, бункеров-дозаторов сочных кормов типа ДС-15, КОРК-15.03.01 так и ряда других технических средств [57].

При этом, анализ приведенных схем показывает, что для схем подготовки бахчевых культур необходимости в операции по их мойке нет. Однако, процессы дозирования и измельчения такого вида сырья, на сегодняшний день не разработаны.

Качество и питательная ценность корнеклубнеплодов и тыквы во многом связаны с условиями их хранения и подготовкой к скармливанию [44, 97]. Анализ технологических схем подготовки плодов тыквы и корнеклубнеплодов показывает, что во всех трех вариантах обработки исходного сырья присутствует прием, мойка и соответственно подача на подготовку и обработку. При этом, для реализации варианта 4 фактически отсутствуют технические и технологические решения. Так, все операции по обработке и подготовке плодов тыквы к скармливанию осуществляются вручную [24].

В этой связи решение вопросов по механизации подготовки корнеплодов, а также плодов бахчевых культур и капусты к скармливанию является актуальной проблемой, требующей своего решения.

Корнеплоды измельчают рубкой в машинах ИКМ-5, ИКМ-10, «Волгарь-5»; ударом молотками в ИКС-5М, КДУ-2, АПК-10; скоблением стружки в машинах типа КПСК-1000 производства Чехии или Ф-120 производства Германии (рис. 1.1).

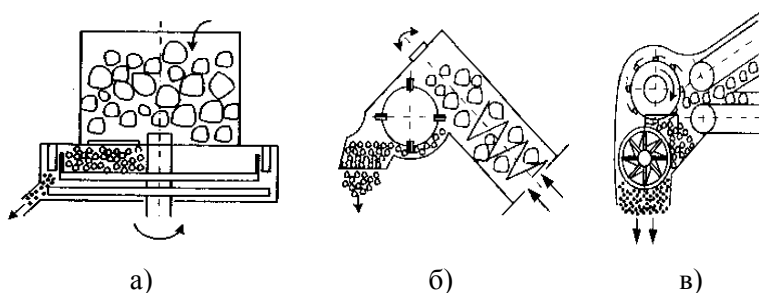


Рис. 1.1. Типы аппаратов для измельчения корнеплодов:
 а – рубящие ножевые; б – ударные;
 в – комбинированные: рубящие и режущие

Лучшее качество измельчения при меньшей энергоемкости обеспечивают измельчители, работающие по принципу рубки и снятия стружки (табл. 1.3) [56].

Последние, однако, более требовательны к состоянию плодов, особенно в части загрязнения их ботвой и другими растительными остатками. Поскольку для соблюдения этих требований в хозяйствах имеются определенные трудности, то большее распространение получили измельчители, со способом измельчения ударом, особенно молоткового типа, например, машины ИКМ-5М (табл. 1.3)

Таблица 1.3

Показатели работы измельчителей корней, клубней и плодов [56]

Марка измельчителя	Способ измельчения	Скорость рабочих органов, м/с	Производительность, т/ч	Содержание частиц 3-15 мм, %	Энергоемкость, кДж/кг
КПСК-1000	Скобление	6-20	4,7	54,0	1,2
ИКМ-5	Рубка	5-25	6,7	86,0	4,1
«Волгарь-5»	Рубка, резание	17,6	13,8	70,0	4,3
ИКС-5М	Удар (молотки)	40,0	5,7	61,0	4,3
КДУ-2	Комбинированный (рубка, удар)	71,3	6,5	46,0	11,9

Мойка-измельчитель ИКС-5М наиболее устойчиво по производительности работает в том случае, если вода в ванне налита до уровня не ниже 180 - 200 мм от верхней кромки и при наличии 0,35 - 0,4 т корнеплодов. Производительность составляет 5 - 5,2 т/ч. Это условие учитывают при использовании ИКС-5М в поточных линиях приготовления кормов, так как специальной регулировки производительности эта машина не имеет. С уменьшением уровня воды в ванне производительность возрастает, достигая 6-7 т/ч при снижении уровня воды до нижнего контрольного патрубка в заполненном корнеплодами бункере.

Мойка-измельчитель ИКМ-5 оборудована камнеотделителем, имеет два режима частоты вращения диска: 500 и 1000 мин⁻¹ для изменения степени измельчения соответственно для крупного рогатого скота и свиней (табл. 1.4) [62]. Испытания показали, что особой надобности в двухрежимном электродвигателе нет. При этом измельчение плодов для крупного рогатого осуществляется без деки, а для свиней – с декой.

Существенный недостаток измельчающего аппарата ИКМ-5 – сравнительно быстрый выход из строя электродвигателя в связи с попаданием на обмотки статора воды и сока, а также неполный забор плодов винтовым конвейером, что вызывает невозвратимые потери, достигающие до 60% (вынос за пределы машины с загрязненной водой).

Таблица 1.4

Технические характеристики измельчающих аппаратов [57]

Показатели	Марка измельчителя		
	ИКС-5М	ИКМ-5	ИКМ-10
Производительность, т/ч	5 – 8,8	5-7,5	8-10
Мощность электродвигателя, кВт	7,5	10,5	14,7
Окружная скорость рабочих органов, м/с	40	5-25	5-25
Число молотков, шт.	54	-	-
Частота вращения винтового конвейера, мин ⁻¹	10,6	15	225
Диаметр винта, мм	400	400	600
Вместимость бункера корнеплодов, м ³	3/0,6	0,5	0,5
Вместимость ванны для воды, м ³	2,5	1,0	1,0
Масса, т	1,2	1,0	1,1

В модернизированном измельчителе ИКМ-5М двигатель вынесен за пределы измельчающего аппарата и связан с ним через клиноременную передачу.

На крупных животноводческих фермах, обрабатывающих в сутки свыше 15 – 20 т. плодов, производительность ИКМ-5М и ИКМ-5 недостаточна.

Поэтому производством был освоен измельчитель ИКМ-10 (табл.1.5).

Таблица 1.5

Показатели работы измельчителя

Показатели	ИКС-5М	ИКМ-5	ИКМ-10
Производительность, т/ч	7,1 - 8,8	7,5 - 7,7	5,1-9,7
Содержание частиц, %			
до 5 мм	90,5 -96,8	83,0-84,5	34,0-84,9
5-10 мм	3,2-6,1	4,1-12,2	12,8-32,0
10 - 20 мм	3,0-3,4	4,8-4,7	2,7-12,1
более 20 мм	-	5,2-6,7	26,9-32,1

Диаметр его винтового конвейера увеличен до 600 мм (шаг – 380 мм), что позволяет перерабатывать более крупные плоды (но не все), выращенные в условиях полива. Измельчающий аппарат приводится в действие через клиноременную передачу. Для крупного измельчения плодов (режим с частотой вращения диска 770 мин^{-1}) на вал привода устанавливается шкив диаметром 280 мм, снимаются дека и вертикальные ножи, для мелкого – шкив диаметром 250 мм (режим 1350 мин^{-1}). При наличии мерзлых плодов устанавливают горизонтальные зубчатые ножи.

Винтовой конвейер мойки и подачи плодов в измельчителе выполнен без вала. На нижней цапфе укреплен крылач для отбрасывания камней в приемник цепочно-планчатого конвейера их удаления. Привод каждого рабочего органа выполнен отдельным электродвигателем.

Производительность ИКМ-10 составляет 8,4 - 9,7 т/ч на плодах с максимальным диаметром 150 мм. Степень измельчения частиц до 15 мм – 100% ($\rho = 705 \text{ кг/м}^3$), частиц до 10 мм – 97,4% ($\rho = 850 \text{ кг/м}^3$).

В кормоцехах крупных свиноводческих комплексов, в частно-

сти в Белгородской области, успешно используют барабанные лопастные каскадные мойки КМЗ-М (одну секцию) и свеклорезку Т1-СЦТБ-12, применяемые в свеклосахарном производстве.

Дальнейшее совершенствование оборудования для мойки и измельчения плодов решают в комплексе с разработкой хранилищ, исключающих загрязнение их соломой, созданием механических очистителей [37, 44].

Технологическая линия подготовки плодов, разработанная ЦНИПТИМЭЖ, включает бункер-накопитель (гидрофицированный лоток ПЗМ-1,5 с поперечным подающим винтовым конвейером), транспортер-очиститель и измельчитель-дозатор. Плоды очищаются на барабанах конвейера. Дозирование измельченной массы при подаче 5 - 10 т/ч осуществляется изменением рабочей длины ножей путем перемещения их по высоте камеры: неравномерность подачи – 15%, остаточная загрязненность в пределах 3%, установленная мощность привода 17 кВт.

Для малых и семейных ферм промышленность не изготавливает пока специальных измельчителей плодов. Приемлемым для этих ферм считают ранее выпускавшийся серийно КПИ-4 [29, 77, 90].

Отличительной особенностью горизонтального измельчителя КПИ-4 является то, что ножевой аппарат состоит из двух частей - верхней и нижней. Верхняя часть режущего аппарата является первой, нижняя - второй ступенью измельчи тела. Она представляет собой устройство ножевого типа с центробежной подачей продукта.

Плоды измельчаются горизонтальным ножом и через горловину диска падают на нижний диск.

Измельченная масса под действием центробежной силы внутренними лопатками отбрасывается к деке. Вертикальные ножи измельчают продукт с интенсивным перетиранием его на деке. Измельченная на аппарате вторичного резания масса швырлякой выбрасывается через горловину [29].

Заслуживают также внимания барабанные измельчители в комплекте с раздаточной тележкой производства Германии, используемые в ряде стран. Ложкообразным рабочим органом, укрепленным на барабане, из плодов, находящихся в бункере, вырезаются куски, напоминающие картофелины, которые транспортером выгружаются в бункер тележки. Перемещая ее вдоль

кормушки и вращая питатель, рабочий выгружает измельченную массу животным. Измельчитель устанавливают обычно в одной из сторон помещения, в начале кормового прохода.

Для измельчения плодов применяются корнерезки, корнетерки, измельчители и пастоизготовители, которые могут быть выполнены в виде отдельных машин или входить в состав кормоприготовительных агрегатов.

По устройству режущего аппарата их подразделяют на дисковые, барабанные и центробежные: по расположению ножей на вертикальные и горизонтальные. Процесс резания у дисковых и барабанных корнерезок осуществляется путем движения ножей относительно продукта, а у центробежных - путем подвода продукта к неподвижным ножам (рис. 1.2) [53].

Корнерезки обеспечивают наименьшее измельчение продукта. Плоды в них нарезаются ломтиками (дольками). Толщина резки составляет: для крупного рогатого скота 8-12 мм, для свиней и телят 5-10 мм; ширина соответственно, не более 50 мм и от 10 до 30 мм.

Корнетерки в отличие от корнерезок измельчают плоды более тонко, выдавая продукт в виде мезги с размерами частиц 3-5 мм. Такая масса в смеси с концентратами и другими добавками идет на корм для птицы.

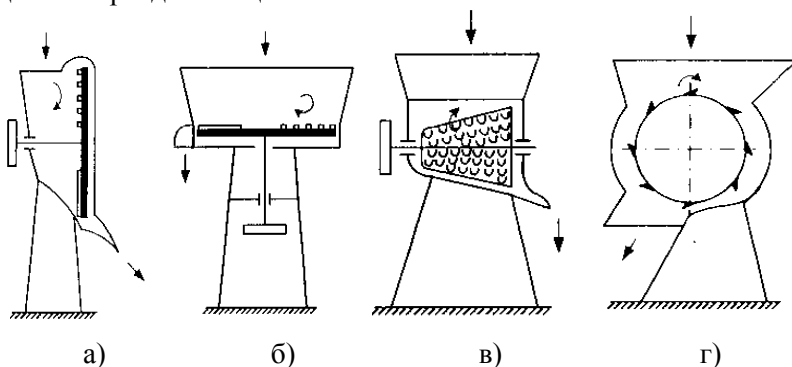


Рис. 1.2. Конструктивные схемы машин для измельчения плодов:
а – вертикально-дисковая; б – горизонтально-дисковая;
в – барабанная коническая; г – барабанная корнетерка-дробилка

По конструкции измельчающего аппарата корнетерки бывают конусными, барабанными, роторными.

В Ульяновском СХИ [33, 34] разработан измельчитель транспортерно-ножевого типа (рис. 1.3).

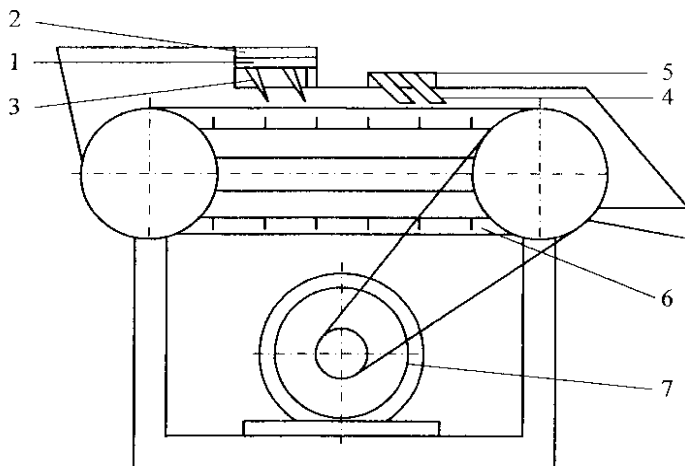


Рис. 1.3. Схема измельчителя плодов (обозначения в тексте)

Его измельчающий аппарат имеет два блока наклонных ножей. Первый состоит из рамы 1 и плиты 2, к которой кронштейнами прикреплены консольные ножи 3. Ножи 4 второго блока набраны попеременно с дистанционными втулками на два стяжных болта, которые крепятся к кронштейну 5. Для уменьшения пути блокированного резания (когда измельчаемый материал проталкивается между ножами) ножи первого блока смещены относительно друг друга, а второго набраны в два ряда.

Цепочно-планчатый транспортер 6 приводится в движение электродвигателем 7 мощностью 7,5 кВт. Для повышения коэффициента трения скорость его движения составляет 2,2 м/с. Угол заточки ножей – 15° , наклон к поверхности может меняться от заданной толщины резки от 26° до 36° .

Наибольший интерес с точки зрения одновременного измельчения и дозирования представляет измельчитель, представ-

ленный на рисунке 1.4 [61]. Он представляет собой модернизированный вариант ИКС-5М, который включает приемный бункер, аппараты первичного и вторичного измельчения, шнековый дозатор. Отличительной особенностью является наличие аппарата первичного измельчения, который размещен в приемном бункере и выполнен в виде валов, расположенных в бункере горизонтально и параллельно друг другу. Валы снабжены режущими элементами, выполненными в виде дисков.

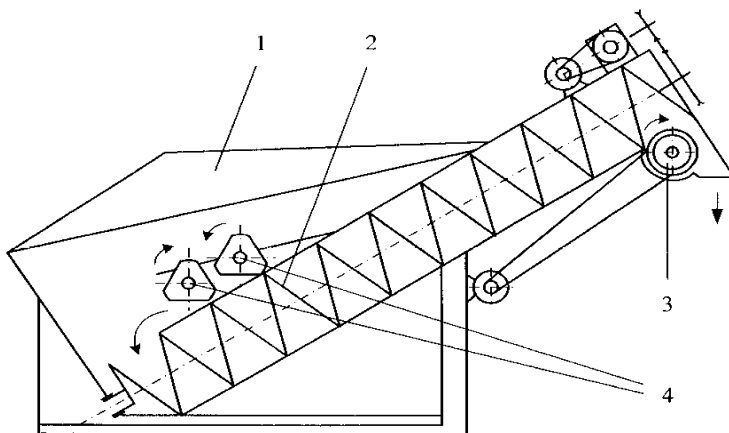


Рис. 1.4. Конструктивно-технологическая схема измельчителя тыквы и кузику: 1 – бункер; 2 – дозирующий шнек; 3 – аппарат вторичного измельчения; 4 – валы аппарата первичного измельчения

Диски режущих элементов имеют режущие кромки, которые удалены на некоторые расстояния от поверхности вала. Это обеспечивает резание продукта со скольжением и, следовательно, с наименьшими затратами энергии. Между режущими дисками аппарата первичного резания установлены гребенки, позволяющие уменьшить нагрузку на валы со стороны измельчаемого продукта.

Известна шнековая терка (рис. 1.5) [89], которая состоит из конического шнека 1, загрузочной воронки 2, трущей решетки 3, рамы 4, цепного привода 5 и электродвигателя 6. Рабочий орган

терки образован цилиндрической трущей решеткой и коническим шнеком, который установлен внутри решетки с зазором, не превышающим 2-3 мм. Трущая решетка выполнена в виде цилиндра с нанесенными на его поверхность ячейками, представляющими собой элементарные ножи, расположенные с таким расчетом, чтобы их края по длине перекрывали друг друга. Для крепления трущей решетки на машине, к ее концам приварены два фланца с отверстиями под болты.

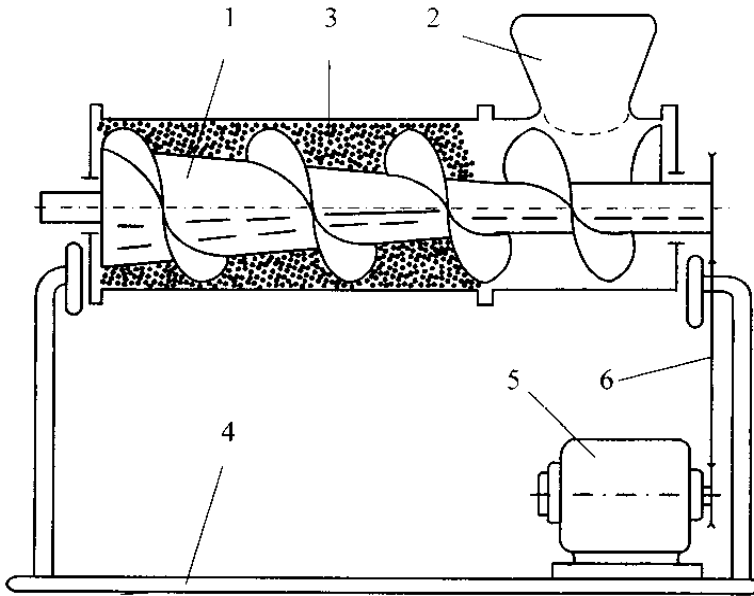


Рис.1.5. Схема механической шнековой терки (обозначения в тексте)

Шнек состоит из двух частей: транспортирующей-цилиндрической и рабочей - конической. Корнеклубнеплоды через загрузочную воронку попадают на транспортирующую часть шнека и перемещаются внутрь трущей решетки. Достигнув конической части шнека, корнеклубнеплоды заклиниваются между решеткой и лопастями конической части шнека, которая предна-

значена для поджимания их к решетке и удерживания от проворачивания. Таким образом, корнеклубнеплоды от начала соприкосновения и до конца истирания проходят внутри трущей решетки по линии, близкой к лопасти шнека. Такое движение корнеклубнеплода сопровождается косым срезом, требующим усилий в сравнении с прямым.

Известен также рабочий орган измельчителя плодов (рис. 1.6) [33], включающий терочный барабан с режущими выступами, расположенными на его поверхности рядами в шахматном порядке, одно из оснований которого выполнено открытым, а другое перекрыто заглушкой.

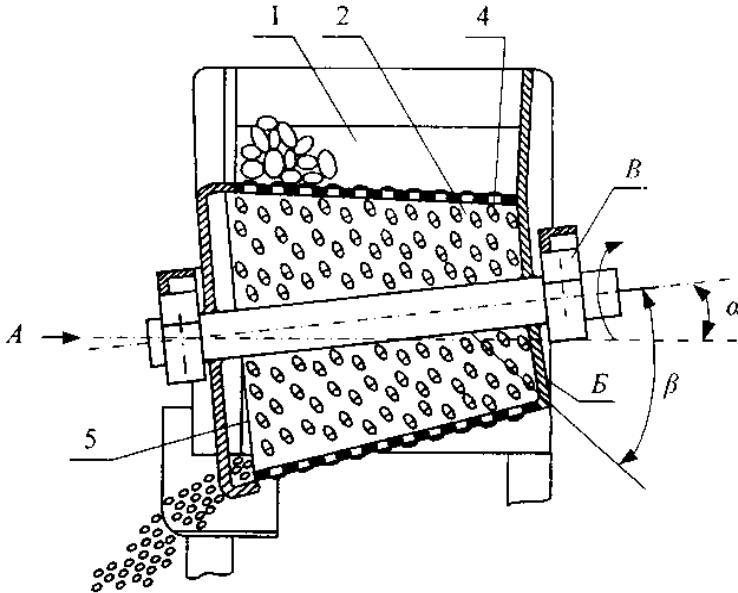


Рис. 1.6. Схема барабанной корнетерки (обозначения в тексте)

Недостатком данного рабочего органа является забивание терочного барабана неизмельченным продуктом, что требует его остановки и очистки внутренней полости терочного барабана. В результате снижается производительность рабочего органа и усложняется его эксплуатация.

Указанные недостатки исключаются путем предотвращения забивания внутренней полости терочного барабана измельченным продуктом при обеспечении равномерного резания плодов по всей его длине.

Поставленная цель достигается тем, что терочный барабан имеет форму усеченного конуса, ось которого установлена к горизонтали под углом, равным углу его наклона образующей к высоте конуса, при этом большее основание последнего выполнено открытым, а его центр размещен ниже меньшего основания.

Известен измельчитель плодов (рис. 1.7) [33] содержащий бункер 1, днище которого образован терочным транспортом 2, на цепях 3 которого закреплены режущие пластины 6. При вращении транспортера цепи перемещают пластины. Режущие выступы 8 пластин внедряются в корнеплоды и срезают частицы материала в виде отдельных стружек, которые через отверстия попадают в место выгрузки. После выхода пластины из бункера 1 она занимает вертикальное положение на нижней ветви транспортера и взаимодействует с демпфером 10. При ударе о демпфер материал стряхивается вниз и пластины очищаются.

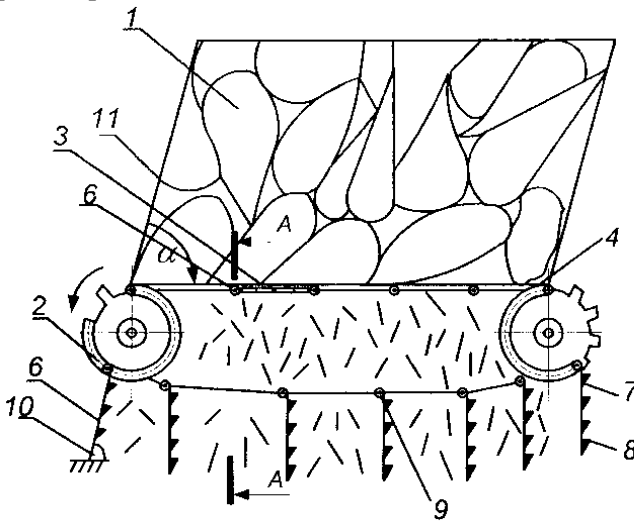


Рис. 1.7. Схема транспортерной корнерезки (обозначения в тексте)

Известен также измельчитель кормов (рис. 1.8 по а.с. №793473, выполненный из цилиндрического корпуса 1, ротора 2 с Г-образной формой ножей 3, приемного бункера 4 и противорежущего элемента 5, установленного внутри корпуса 1 в плоскости вращения ножей 3.

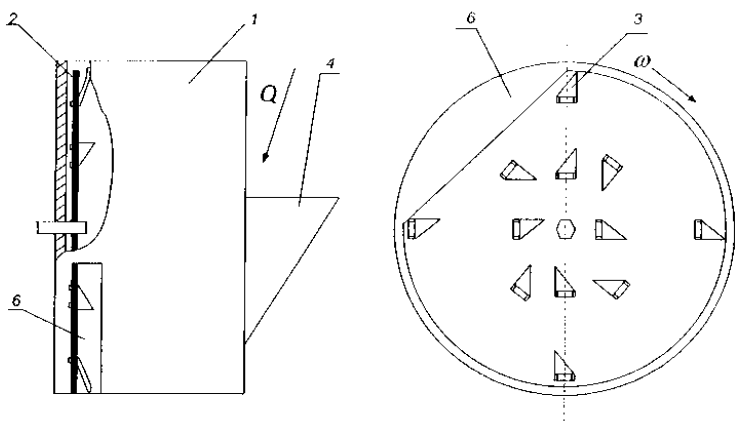


Рис. 1.8. Измельчитель с боковой подачей кормов
(обозначения в тексте)

Ротор 2 и бункер 4 расположены на противоположных концах корпуса 1, снабженного выгрузным окном 6, выполненным в плоскости вращения ротора 2, внешне ножи 3 которого взаимодействуют с противорежущим элементом 5. Ножи 3 ротора 2 установлены на его торце и режущие кромки смежных из них развернуты в противоположные стороны, чем достигнуто более активное их воздействие на измельчаемый материал.

Загружаемый исходный материал в бункере 4 затягивается внутрь корпуса 1 под воздействием воздушного потока, создаваемого ножами 3 ротора 2, измельчается ножами 3 и ими же выбрасывается через окно 6 наружу.

Известен измельчитель кормов по а.с. № 976893, изображенный на рисунке 1.9. Измельчитель кормов содержит корпус 1 с загрузочной горловиной 2, внутри которого установлены вращающиеся в противоположных направлениях внутренний 3 и наружный 4 роторы с закрепленными на них измельчающими

элементами 5. Роторы 3 и 4 выполнены в виде набора концентрично установленных колец, посаженных на пальцы и имеющих рифленую поверхность. Измельчающие элементы 5 расположены между кольцами и имеют как прямоугольную форму, так и клиновидную.

По мнению авторов, предлагаемое выполнение измельчителя кормов позволяет повысить производительность на 20- 25% и улучшить качество измельчения корма на 10-15%. Однако анализ конструкции показывает, что она сложна по устройству, а, следовательно, менее надежна в работе.

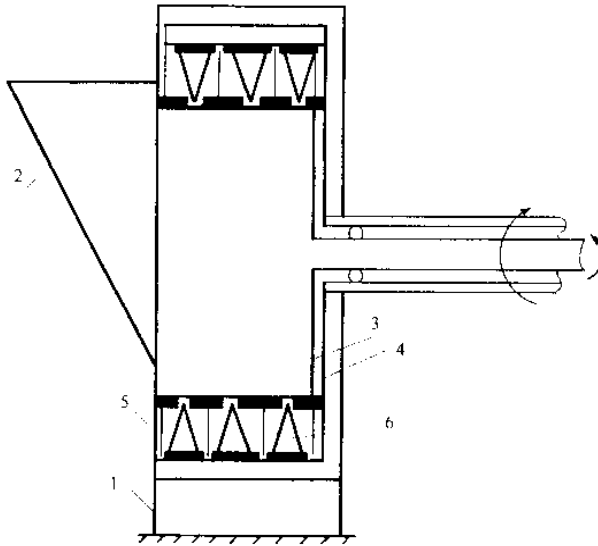


Рис. 1.9. Схема роторного измельчителя кормов
(обозначения в тексте)

Известно также устройство (рис.1.10) для резки плодов, которое включает камеру 1, имеющую в поперечном сечении спиралеобразную форму и снабженную загрузочным бункером 2, прикрепленным к ее торцу, в нижней части которого выполнено всасывающее окно 3.

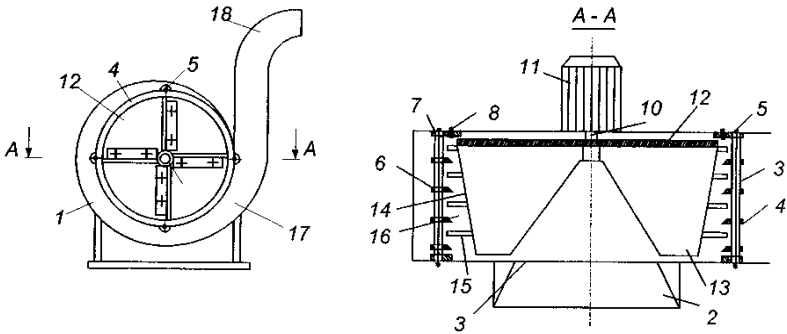


Рис. 1.10. Схема устройства для резки корнеклубнеплодов по а.с. № 1053781 (обозначения в тексте)

В камере посредством фиксирующего приспособления установлен пакет кольцевых ножей 4 с заостренными внутренними кромками, размещенными с зазором относительно друг друга. Фиксирующее приспособление выполнено в виде пальцев 5, вставленных в соосные отверстия 6 кольцевых ножей, расположенных по их периферии. Концы пальцев установлены в опорных кольцах 7, которые при помощи болтов 8 прикреплены к торцам камеры 1. Между кольцевыми ножами 4 размещены прокладки 9 для регулирования резки корнеклубнеплодов. Внутри пакета кольцевых ножей на валу 10, связанном с электродвигателем 11, закреплен диск 12 с консольно присоединенными к нему радиальными лопастями 13. Края 14 лопастей 13, обращенные к кольцевым ножам 4, снабжены зубьями 15, размещенными в зазоре между последними, и расположены с зазором 16 относительно кольцевых ножей, уменьшающимся в сторону диска 12. К камере 1 примыкает выходной патрубок 17, соединенный с напорной горловиной 18 для выгрузки готового продукта. При работе загруженные в бункер 2 корнеклубнеплоды за счет разрежения воздуха, создаваемого лопастями 13, подаются через окно 3 в зону резания, перемещаясь вдоль кольцевых ножей 4. При этом осуществляется прижатие корнеклубнеплодов к заостренным кромкам кольцевых ножей и разрезание их на пластины, которые воздушным потоком и зубьями 15 выбрасываются наружу через горловину 18.

Благодаря расположению краев 14 лопастей 13, обращенных к кольцевым ножам 4, с зазором 16, относительно последних уменьшающимся в сторону диска 12, обеспечивается повышение равномерности резки корнеклубнеплодов. Выполнение фиксирующего приспособления в виде пальцев 5, вставленных в соосные отверстия 6 кольцевых ножей, расположенные по их периферии, уменьшает забивание последних измельченными частицами корнеклубнеплодов.

Известны ножевые измельчители плодов с принудительной их подачей к рабочим органам (а.с. № 869669, а.с. № 1195948, а.с. № 1371611).

Первый из них (рис. 1.11) включает вертикальный конический корпус 1 с загрузной горловиной 2 и рабочей камерой 3, в которой установлен конический шнек 4, снабженный механизмом 5 привода.

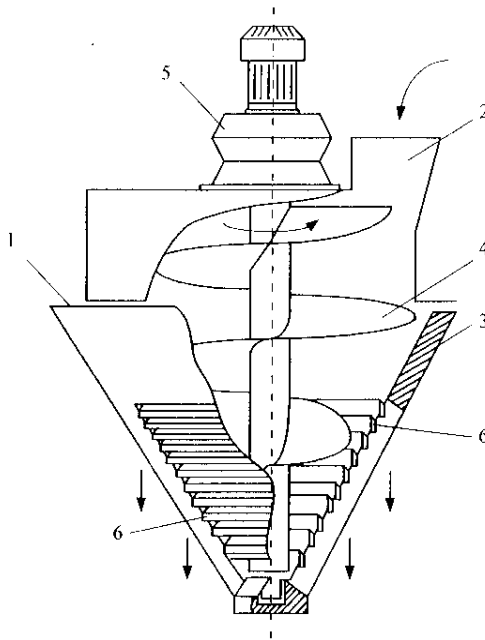


Рис. 1.11. Схема шнекового измельчителя
(обозначения в тексте)

При измельчении плоды загружаются через горловину 2 в корпус 1, где захватываются вращающимся шнеком 4 и перемещаются его навивкой к низу. В верхней части корпуса происходит уплотнение плодов, а в зоне рабочей камеры 3 осуществляется их движение в уплотненном состоянии. Стенка рабочей камеры корпуса выполнена из режущих элементов 6, расположенных между собой с зазором и имеющих форму колец, верхние части которых заострены относительно режущих элементов 6, которыми корнеклубнеплоды измельчаются. Измельченная масса через кольцевые зазоры между режущими элементами 6 выводится из измельчителя.

Благодаря такому выполнению измельчителя предотвращается скольжение перемещаемых шнеком вдоль корпуса плодов без измельчения и обеспечивается их непосредственное взаимодействие с режущими элементами, расположенными поперек направления движения плодов, что существенно повышает качество измельчения и увеличивает производительность.

Второй измельчитель (рис. 1.12) имеет режущий аппарат 1, содержащий каркас 2 с консольными ножами 3, верхняя плита каркаса крепится на шарнирных подвесках 4 к раме 5 транспортера и удерживается от смещения растяжками 6 с предохранительными шпильками 7. Режущий аппарат 1 установлен над цепочнопланчатым транспортером 8 с зацепами 9 и выгрузным лотком. К транспортеру 8 может примыкать приемный транспортер 10.

По пути перемещения плиты каркаса 2 установлен конечный выключатель 11, который связан с электроприводом 12. Ножи 3 установлены под углом к середине транспортера, причем оптимальные углы их установки составляют соответственно 30-42° и 70-135°. В зависимости от перерабатываемого продукта линия ножей может быть установлена как по направлению движения, так и против.

Известен также дисковый ножевой измельчитель (рис. 1.3). Данный измельчитель содержит вертикальную цилиндрическую камеру 1 с загрузочной воронкой 2 с днищем 3, оснащенным выгрузным отверстием 4. Под углом к днищу 3 установлены ради-

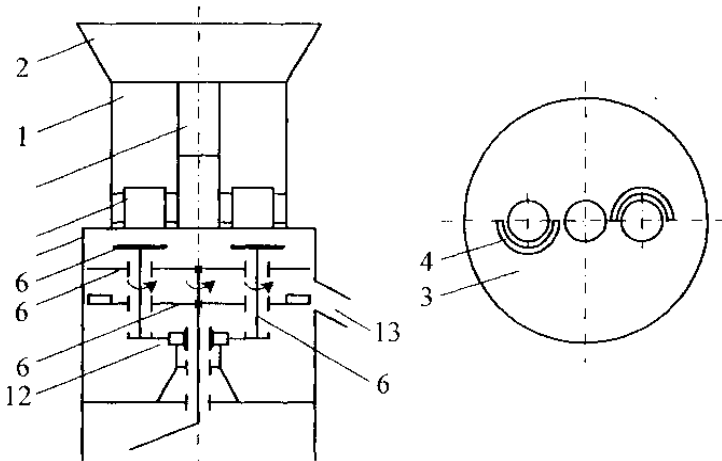


Рис.1.13. Схема дискового измельчителя плодов
(обозначения в тексте)

Под вращающим днищем 3 установлен выгрузной диск 10 с лопастями 11, вращающий привод 12 от вала 8. Измельченный корм выгружается через отверстие 13.

При работе измельчителя загруженные в камеру 1 корнеклубнеплоды направляются к дисковым ножам 6 направляющими лопастями 5, группируясь вокруг цилиндра 9 на траектории вращения днища 3 с ножами 6, установленными с зазором, равным по толщине ломтика. Полученные в результате резания корнеклубнеплодов ломтики через выгрузные отверстия 4 падают на выгрузной диск 10 и лопастями 11 выбрасываются через отверстия 13.

По мнению авторов, предложенная конструкция измельчителя позволяет снизить энергоемкость процесса резания и повысить качество измельчения продукта.

Анализ конструкций ножей измельчителей показал, что плоский нож со сплошным лезвием (рис. 1.14) способен давать стружку в виде широких ломтей толщиной h , зависящей от установки ножа относительно плоскости диска и барабана: шириной b , равной ширине частиц продукта, и длиной l , достигающей

длины частиц продукта. Такая форма и размеры стружки соответствуют требованиям кормления крупного рогатого скота.

Гребенчатый нож (рис. 1.14) [103] отрезает стружку в виде узких полосок шириной b_1 , равной ширине гребня, толщиной h , равной высоте установки, и длиной l , равной длине частиц продукта. Такая стружка соответствует требованиям кормления молодняка крупного рогатого скота и свиней.

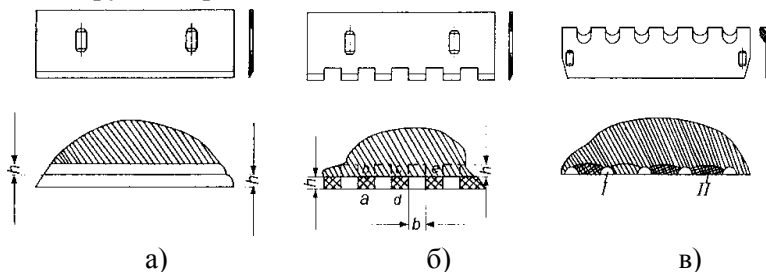


Рис.1.14. Типы ножей корнерезок:

а – прямой нож со сплошным лезвием; б – прямой нож с гребенчатым лезвием; в – совочкообразный нож

Гребенчатые ножи закрепляются на диске или барабане со смещением относительно друг друга на величину, равную ширине b_s , гребня. При такой установке гребни первого ножа снимают стружки сечением $abcd$, а гребни второго ножа срезают по линии bcl остающиеся выступы. Таким образом, характер работы первого и второго ножей различен. Гребни первого отрезают стружку по линии bc и отрывают ее по линиям ab cd , а гребни второго ножа только надрезают ее по линиям cl , то есть ножи выполняют различную по величине работу.

Совочкообразные ножи (рис. 1.14) отрезают стружку в виде узких полосок- полуовального сечения. Высота и ширина стружки здесь зависят только от размеров совочков и установки ножей, а длина равна длине частиц продукта. Ножи этого типа закрепляются на диске или барабане, так же, как и гребенчатые, со смещением по длине один относительно другого. Величина этого смещения должна составлять $b_1/2$, где b_1 – расстояние

между осями соседних совочков. Такие ножи дают две различные по размерам и форме сечения стружки и несут различную по величине нагрузку.

На рисунке 1.15 представлена схема классификации измельчителей кормов.

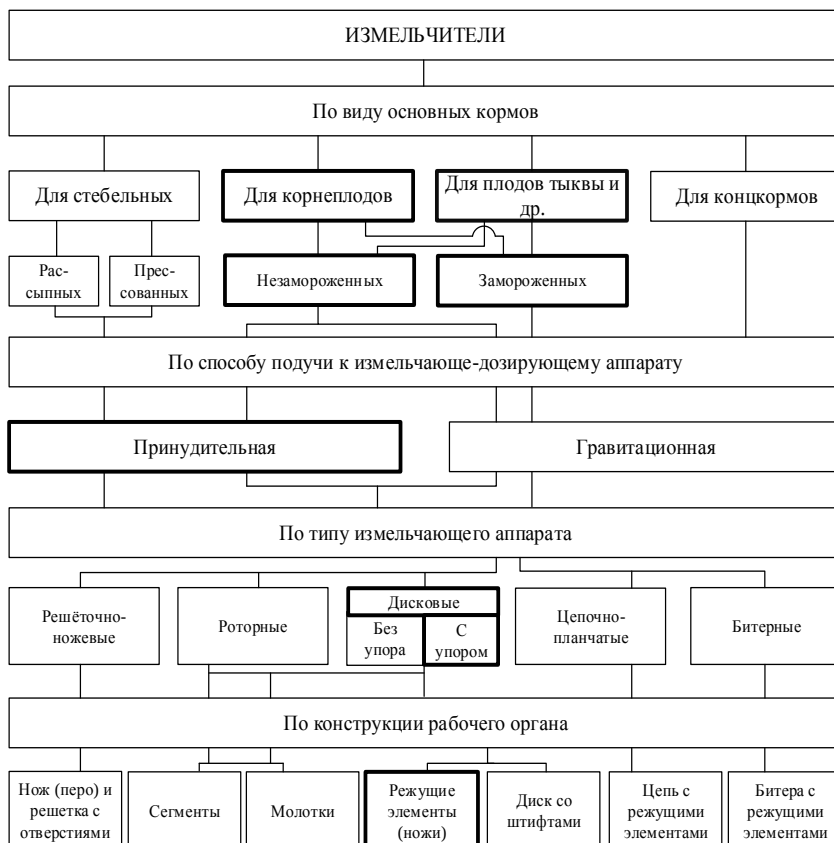


Рис. 1.15. Схема классификации измельчителей кормов

Качество работы совочкообразных ножей выше, чем у гребенчатых, так как здесь лезвия первого и второго ножей только

отрезают стружку, а не отрывают. К недостаткам их можно отнести сложность заточки.

В отличие от соломосилосорезок, в которых перерезание кормов производится лезвием, действие ножей принято рассматривать как действие острых клиньев, перемещающихся в толще перерезаемого материала. При этом в зависимости от расположения лезвия клина (перпендикулярно или под углом к направлению движения) различают два способа резания: рубящее и скользящее. В существующих конструкциях корнерезок применяется главным образом рубящее резание.

На основании приведенной классификации определено перспективное направление в разработке измельчителей плодов тыквы в соответствии с которым для измельчения плодов тыквы наиболее эффективны дисковые измельчители с ножами, а на доизмельчении – решеточно-ножевые аппараты.

1.3 ХАРАКТЕРИСТИКА, СПОСОБЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ К СКАРМЛИВАНИЮ ЖИВОТНЫМ И ПТИЦЕ

Известно, что современное животноводство не может развиваться без производства достаточного количества концентрированных кормов, так как они в единице объема содержат наибольшее количество легкопереваримых питательных веществ. К ним относят все виды зерновых и бобовых культур, а также приготовленные на их основе концентраты [53, 56, 57].

Зерно злаковых (кукуруза, ячмень, пшеница и др.) содержит 50% и более крахмала. Это ценный углевод, однако на его усвоение животное затрачивает много энергии, которая могла бы быть использована для получения мяса, жира, молока. Зерно бобовых (горох, соя, чина, вика и т.п.), кроме крахмала, содержит высокий процент белка. Белок хорошо переваривается в желудочно-кишечном тракте свиней. При скармливании же бобовых жвачным животным растворимый белок, составляющий значительную долю от общего количества протеина, разрушается в рубце находящимися в нем микроорганизмами. Кроме того, особенностью

зерна всех бобовых является наличие в нем вредных веществ, заметно снижающих его ценность для всех животных, а иногда делающих невозможным его переваримость [59].

Улучшить качество белка, преобразовать крахмал до легкоусвояемых форм, обезвредить антипитательные вещества в зерне с целью значительного повышения его питательной ценности можно применением различных способов их подготовки к скармливанию.

Среди основных способов подготовки концентратов к скармливанию следующие (рис. 1.16):

- электрический (микронизация, обработка в СВЧ-поле);
- химический (обработка кислотами и щелочами);
- биологический (осолаживание, дрожжевание);
- гидравлический (увлажнение);
- механический (измельчение, плюшение, смешивание);
- тепловой (гидротермический, баротермический).

Анализ существующих способов показывает, что по характеру процесса способ подготовки концентратов к скармливанию может быть периодическим и непрерывным. При этом подача концентратов на дальнейшую обработку (смешивание) может осуществляться параллельно или последовательно.

В то же время процесс смешивания может происходить во время обработки, до обработки и после обработки. Наиболее эффективным является выполнение процесса смешивания во время обработки кормов.

Микронизация зерна получила наибольшее распространение в сельскохозяйственной практике США, Англии, Японии и других стран. Сущность способа состоит в том, что зерно, в том числе и повышенной влажности, по мере продвижения по транспортеру подвергается инфракрасному облучению (длина волн 2–6 мк). В нашей стране для этой цели применяют кварцевые галогенные лампы КГИ-220-1000. Инфракрасные лучи проникают в зерно и вызывают интенсивную вибрацию молекул, под действием трения быстро вырабатывается внутреннее тепло и за счет испарения воды повышается давление. За время прохождения зерна под инфракрасными лучами, которое измеряется десятками секунд, зерно становится мягким, разбухает и растрескивается. Биополимеры зерна (углеводы, белки) подвергаются тем же

структурным изменениям, которые происходят при тепловой обработке [77].



Рис. 1.16. Схема классификации способов подготовки концентрированных кормов к скармливанию

Основным способом обработки влажного зерна на длительный срок хранения является высушивание. Однако это требует значительных капитальных вложений. Хозяйства, оснащённые сушильными агрегатами и установками, не всегда в состоянии высушить сырое зерно за 3-5 суток. На 2-3-и сутки сырое и влажное зерно начинает самосогреваться, затем прорасти и плесневеть. Особенно поражается фуражное зерно, так как сушат в

первую очередь семенное и продовольственное. В связи с этим в последние годы все большее распространение находит химический способ консервирования влажного зерна и его использование в рационах жвачных животных. Такой способ позволяет начинать уборку зерновых на 8-10 дней раньше обычных сроков, в результате чего сокращаются потери зерна и уменьшается напряженность уборочных работ.

Консервирование основано на тщательном смешивании зерна с химическими веществами, обладающими фунгицидными и бактерицидными свойствами. Консерванты вызывают угнетение жизнеспособности зерна, гибель микроорганизмов и на этой основе устраняют дыхание зерновой массы, ее самосогревание и плесневение [44].

В настоящее время при консервировании влажного зерна наиболее широкое распространение получили органические кислоты: про- пионовая, уксусная, муравьиная и их смеси, так как они относятся к естественным метаболитам жвачных животных и образуются у них в преджелудках.

Осоложивание применяют для улучшения вкуса зерновых кормов (ячменя, кукурузы и других) путем перевода части крахмала в сахар под действием диастазы зерна или солода. Количество сахара достигает при этом 10-12, корм становится сладковатым. Для осоложивания зерновую дерть насыпают слоем не толще 40-50 см и обливают водой, нагретой до температуры 90 °С (на 1 кг корма 5-2 л воды), хорошо перемешивают, накрывают крышкой или мешковиной и оставляют на 3-4 ч, поддерживая температуру, оптимальную для действия ферментов (55-60 °С). Осоложивание идет интенсивнее при добавлении солода в количестве 1-2% от массы корма.

Включают осоложенный корм преимущественно поросётам, а также откармливаемым свиньям, причем в количестве не более половины нормы концентратов. Иногда для поддержания аппетита осоложенный корм дают молодняку крупного рогатого скота и молочным коровам.

При увлажнении процесс проникновения влаги в зерно делится на три этапа: начальный, в течение которого происходит

быстрое насыщение оболочек зерна до полной влажности; подготовительный, связанный с образованием водопроводящей сети микротрещин, в результате чего происходит разрыхление эндосперма; и основной, когда вода по микротрещинам проникает в эндосперм, что приводит к набуханию зерна.

Увлажнение холодной водой приводит к незначительному повышению питательности зерна. Влаготепловая обработка при температуре 60 - 75°C обеспечивает желатинизацию крахмала как следствие разрыва оболочек крахмальных зерен. Питательные вещества зерна становятся более доступными для животных, что увеличивает эффект переваримости ячменя и кукурузы до 13%. Этот эффект возрастает при сочетании операций влаготепловой обработки и плющения.

Желатинизация крахмала зерна в пределах 20% происходит при гранулировании комбикормов и при плющении сухого зерна; в пределах 30 - 60% при сочетании влаготепловой обработки и плющения зерна, а также при экструдировании сухого зерна (до 80%). Наибольшая степень желатинизации достигается экструдированием пропаренного зерна. Полная желатинизация крахмала происходит также при варке зерна в горячем воздухе (102 °C) в течение 2 минут и последующем тонком плющении.

Зерно увлажняется паром быстрее, чем горячей водой. Для увлажнения ячменя от 15 до 30% холодной водой с температурой 15 °C необходимо не менее 1 - 1,5 суток, паром – около 10 мин. Водопоглотительная способность зерна зависит от начальной влажности.

Так, зерно гороха при начальной влажности 14% приобретает влажность 29% за 2 ч; при начальной влажности 16% за 2 ч увлажняется до 38%. С увеличением влажности зерна усилие на его раздавливание уменьшается и зависит от вида зерна.

Применение запаренного и затем плющеного зерна (флакирования) позволяет повысить привесы животных на 5 - 10% по сравнению с использованием просто измельченного зерна в составе комбикормов [53, 56].

Однако все вышеприведенные способы обработки кормов, в силу разнообразных причин, не нашли широкого применения.

Наибольшее распространение получили механический и тепловой способы обработки концентрированных кормов.

Измельчение и дробление зерна - наиболее простые и доступные каждому хозяйству способы, в результате применения которых разрушаются поверхностные пленки и улучшается переваривание питательных веществ зерна, а также увеличивается его поедаемость. По данным Полтавского НИИ свиноводства, питательные вещества целых зерен ячменя перевариваются только на 67 %, размолотых в виде грубой дерти – на 79,2, средней – на 81,7 и мелкой дерти – на 84 %.

Наиболее приемлем для поросят-сосунов до 2-месячного возраста и поросят раннего отъема тонкий помол; для отъемышей – средний, для откармливаемых свиней, хряков и маток - средний и грубый помол. Применение в кормлении свиней зерен чрезмерно тонкого мучнистого помола недопустимо: масса сильно распыляется при смешивании с водой, образует плохо поедаемую комковатую массу. Научными исследованиями установлено, что скармливание зерна тонкого помола существенно влияет на кислотность желудочного сока и активность пепсина, приводит к нарушению функций желудочно-кишечного тракта и сопровождается язвенными заболеваниями желудка у свиней.

Для свиней рекомендуется помол зерна и других концентрированных кормов с размером частиц от 0,2 до 1,0 мм, при этом пылевидных частиц (размером менее 0,2 мм) должно быть не более 20%. Фуражное зерно измельчают преимущественно на молотковых дробилках, а также на вальцовых мельницах,

Плющение зерна – сравнительно новый способ подготовки его к скармливанию. Зарубежный опыт последних лет показывает, что плющенное зерно широко используется в рационах крупного рогатого скота [53].

Влаготепловая обработка зерна с последующим его плющением (фланирование) способствует улучшению вкусовых качеств и поедаемости кормов, повышает питательную ценность углеводного и протеинового комплексов в зернах злаковых и бобовых культур, снижает затраты энергии организма животного на переваривание питательных веществ корма. В процессе переработки

происходит расщепление сложных сахаров, крахмал утрачивает первоначальную структуру и легко подвергается воздействию фермента амилазы.

Скармливание зерновых хлопьев способствует быстрому и полному усвоению крахмала, при этом повышается оплата корма, улучшается качество туш, количество и качество молока; скармливание зерновых хлопьев и кукурузного силоса позволяет в значительной степени сократить сроки откорма бычков [56].

Поджаривание является гидротермическим способом обработки зерна, увеличивающим его питательные и вкусовые качества. Процесс заключается в увлажнении зерна, его нагреве и поджаривании в течение 10-12 мин при температуре 100-180 °С и вновь увлажнении с целью охлаждения и увеличения его влажности.

Варка и запаривание зерна используются при скармливании свиньям гороха, сои, чечевицы с целью инактивации в них антипитательных веществ, снижающих эффективность использования зерна этих культур, особенно сои. Зерно измельчают и варят в течение одного часа или запаривают в течение 30 - 40 мин. При варке и запаривании в зерне изменяется молекулярная структура белка, в результате чего он лучше используется животными. Вареные и запаренные зернобобовые корма скармливают свиньям с другими кормами в количестве, не превышавшем 25-30% по питательности рационов.

Запаливают и другое зерно, при этом улучшаются его вкусовые качества, происходит стерилизация патогенной микрофлоры и плесени

Экструзия – обработка зерна под воздействием высокого давления и температуры, в значительной степени повышающая усвояемость питательных веществ. Для экструдирования зерна используют выпускаемые нашей промышленностью пресс-экструдеры ПЭК-125×8, КМЗ-2 и КМЗ-2М, Процесс экструзии заключается в том, что измельченное зерно, попадая в пресс-экструдер, под действием высокого давления (25-30 атм) и трения разогревается до 150-180°С и превращается в гомогенную массу.

При выходе из пресс-экструдера из-за большого перепада давления гомогенная масса вспучивается (происходит ее «взрыв»). В результате такой обработки крахмал зерна расщепляется до декстринов разной степени сложности и простых сахаров, которые легко перевариваются и усваиваются молодым организмом животного. Экструдированные корма охотнее поедаются животными, при этом уменьшаются случаи желудочно-кишечных заболеваний, повышается продуктивность.

По данным НИИЖ Лесостепи и Полесья Украины, в экструдированном зерно содержание сахара увеличивалось в 2 раза, декстринов – почти в 5 раз.

Обработка зерновых культур методом экструзии позволяет снизить расход дефицитных высокобелковых компонентов животного происхождения при выработке стартерных комбикормов. В комбикормах для поросят-сосунов экструдированным горохом без снижения продуктивного действия можно заменить 50% по массе кормов животного происхождения (сухой обрат, рыбная, мясокостная мука и др.).

Молодняк свиней старше двухмесячного возраста выращивают на комбикормах, в которых корма животного происхождения полностью заменяются экструдированным горохом.

Экструдированное зерно находит применение также как компонент при производстве заменителей молока. Так, Балаклеяский межхозяйственный комбикормовый завод Харьковской области вырабатывает ЗЦМ для телят, в которых по сравнению со стандартными заменителями 30-35% сухого обрата заменяется экструдированным горохом. Опыты НИИЖ Лесостепи и Полесья Украины, проведенные в хозяйстве имени Фрунзе Белгородской области, показали, что использование ЗЦМ подобного типа при выращивании телят с 20-дневного возраста обеспечивает получение среднесуточных приростов живой массы на уровне 700 г.

Таким образом, анализ эффективности способов подготовки концентрированных кормов показал, что наибольший практический и научный интерес представляют механический и тепловой способы подготовки концентратов к скармливанию. В связи с этим был проведен их более углубленный анализ с целью поиска

наиболее эффективного способа.

Анализ литературных источников и практика показывают, что в настоящее время наибольшее распространение получили следующие схемы производства комбикормов:

- классическая схема, которая предусматривает, отдельную подготовку, измельчение и дозирование всех компонентов комбикормов;

- технологическая схема с предварительной выработкой БВД. Построение этой схемы предусматривает приготовление на отдельной технологической линии предварительной смеси из белковых и минеральных трудносыпучих компонентов классическим способом, а затем подачу ее на главную линию дозирования как отдельного компонента. Все остальные процессы ведут по схеме I;

- технологическая схема двухступенчатого дозирования и смешивания всех видов зерна, входящих в рецепт, измельчение его в смеси. Измельченная смесь как один компонент поступает на главную линию дозирования-смешивания. Все остальные компоненты также предварительно дозируют, смешивают и направляют на главную линию дозирования-смешивания как один компонент;

- технологическая схема, предусматривавшая дозирование зерна и всех компонентов, требующих измельчения, без предварительного смешивания, подачу сырья на измельчение. Готовые порции измельченного продукта подаются в смеситель.

Автоматизированные комбикормовые агрегаты ОКЦ предназначены для производства в хозяйствах и на межхозяйственных комбикормовых заводах полнорационных рассыпных комбикормов из собственного фуражного зерна, покупных белково-витаминных добавок (БВД) и добавок своего производства (травяная мука, кормовые дрожжи, соли и др.).

В системе машин на 1976 - 1980 гг. были предусмотрены и промышленностью производились комплекты ОКЦ трех типоразмеров для унифицированной серии кормоцехов со сменной производительностью 15, 30 и 50 т рассыпных комбикормов. Оборудование агрегатов скомпоновано в одном или двух (ОКЦ-50) блоках.

Централизованное управление механизмами, наличие средств автоматизации технологического процесса и контрольно-предупредительной аппаратуры утратило работу обслуживавшего персонала и позволяло получать комбикорм высокого качества.

Наиболее приемлемыми для использования в условиях коллективных хозяйств на сегодняшний день являются малогабаритные комбикормовые установки, анализ которых приведен ниже.

Научно-производственное объединение «Белсельхозмеханизация» разработало комплект комбикормового оборудования К-Н-5 для хозяйств, который предназначен для приготовления рассыпных комбикормов из зерна, белково-витаминных добавок и премиксов (рис. 1.17). В комплекте К-Н-5-1 предусмотрен блок дозирования для ввода травяной (хвойной) муки и бункер-дозатор для ввода обогатительной добавки. По мнению разработчиков, низкая металлоёмкость, простота в изготовлении, небольшие габаритные размеры, высокая точность и равномерность дозирования сырья, благодаря функциональному взаимодействию ворошителей и лопастных роторов блоков дозирования, а также использование серийной дробилки, выгодно отличают предлагаемый комплект от известного малогабаритного оборудования для приготовления комбикормов.

Анализ конструктивно-технологической схемы К-Н-5 показывает, что она не лишена недостатков. Во-первых, необходимость поднятия зерновых компонентов на данную высоту при заполнении бункеров приводит к повышенным затратам энергии. Во-вторых, использование в комплекте серийной дробилки ДВ-5 (ДКМ-5) связано с дополнительным непроизводительным расходом энергии (потребляемая мощность - 30 кВт). Кроме этого, у фермера нет необходимости в такой производительности оборудования (она составляет 2-5 т/ч).

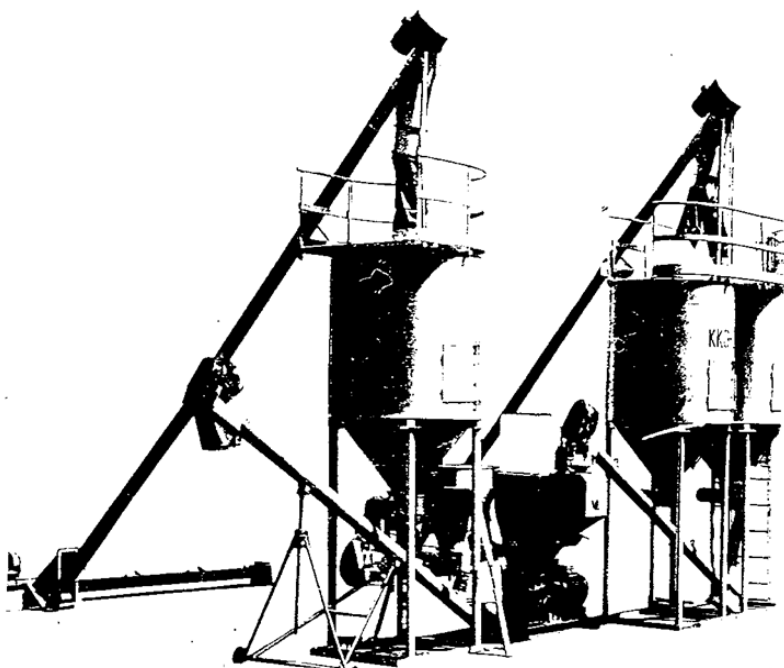


Рис. 1.17. Общий вид комплекта оборудования для приготовления комбикормов К-Н-5

Техническая характеристика комплекта	К-Н-5	К-Н-5-1
Производительность за час основного времени, т	2...5	
Число исходных компонентов:		
зерновых	2	2-3
обогажительных	2	4
Установленная мощность, кВт	44	46,2
Масса, кг	4000	4500

Научно-производственным объединением по животноводческим машинам (ВНИИживмаш, г. Киев) для малых и средних ферм разработана и освоена производством установка УМК-Ф-2.

Она предназначена для приготовления комбикормов из зерна и белково-витаминно-минеральных добавок. Габаритные размеры 1200×5600×7800мм; масса 5800 кг; потребляемая мощность 25 кВт; производительность – 2,5 т/ч. Установка состоит из основных узлов: приемного бункера; механизмов дозирования, измельчения и транспортирования готового продукта; бункера-накопителя; шкафа управления.

Исходные компоненты загружают с помощью загрузчика сухих кормов ЗСК-10, откуда непрерывно (по мере расхода) они поступают в соответствующие секции наддозаторного бункера. Затем через канал в передней крышке их подают в камеру измельчения. Полученный продукт просеивают через решето и с помощью системы шнеков подают в бункер-накопитель. В процессе измельчения компоненты перемешиваются.

По мнению авторов-разработчиков внедрение установки УМК-Ф-2 позволит избежать затрат, связанных с транспортированием на перерабатывающие предприятия зерна и готовой продукции обратно.

Недостатком данного оборудования является необходимость в применении специализированного автомобиля ЗСК-10 что приводит к дополнительным затратам.

В Спасском технологическом институте пищевой промышленности проведены исследования и разработка комбикормового компакт-завода (рис. 1.18). В основу был положен принцип модульного построения технологических производств. В качестве модулей были выбраны те технологические операции, которые позволяют вырабатывать комбикорма широкого ассортимента и повышенной кормовой ценности.

Технологическая схема производства комбикормов на модульном компакт-заводе следующая.

Зерновое сырье поступает в бункер 2. Затем шнеком 1 и норией 3 оно подается в бункер оперативного хранения 4, из которого направляется для очистки от примесей в сепаратор 5. Очищенное зерно норией 7 подается в бункер 8 и измельчается в молотковой дробилке 9. Измельченный продукт поступает в бун-

кер-дозатор 10. Одновременно в бункера-дозаторы 13, 14, 15 норией 11 и шнеком 12 подаются белково-витаминные добавки и другие виды сырья. Отдозированные компоненты непрерывным потоком с помощью шнека 16 направляются в высокооборотный смеситель 17. Рассыпной комбикорм норией 18 подается в бункер 19 хранения готовой продукции. Весовой учет осуществляется с помощью ленточного дозатора 20 непрерывного действия.

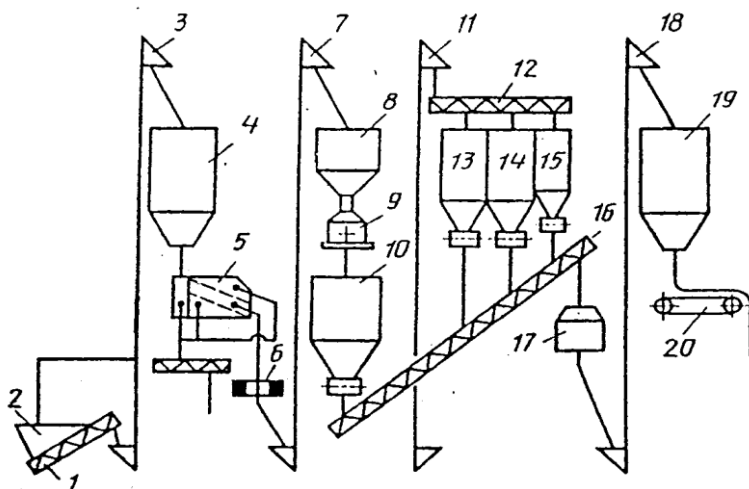


Рис. 1.18. Технологическая схема комбикормового компакт-завода на модульной основе (традиционная технология производства комбикормов): 1 – шнеки; 2 – приемный бункер; 3, 7, 11, 18 – нории; 4 – бункер оперативного хранения; 5 – зерноочистительный сепаратор; 6 – металлоотделительный; 8 – наддробительный бункер; 9 – молотковая дробилка; 10, 13, 14, 15 – бункера-дозаторы; 17 – смеситель; 19 – бункер хранения готовой продукции; 20 – ленточный дозатор

Недостаток данной схемы также очевиден. Применение специального смесителя приводит к дополнительным затратам труда и средств.

По мнению Е.В. Алябьева [4], на животноводческих фермах, где применяют интенсивные методы производства продукции,

затраты на корм составляют 70 - 90% общих затрат, из них на долю зерновых компонентов приходится 60 - 70%. С ростом цен на комбикорма наблюдается тенденция максимального использования более дешевых зерновых компонентов собственного производства с переработкой их непосредственно на фермах.

Для приготовления комбикормов на фермах за рубежом, как правило, выпускают агрегаты в виде единого функционального модуля, в котором смонтированы все основные машины и оборудование. Такое конструктивное решение позволяет поставлять заказчику полностью укомплектованный и практически готовый к работе цех, который можно быстро ввести в действие на месте.

Американская фирма Weigh Tronix разработала комбикормовый агрегат SFM 2000 с программным управлением (рис.1.19). На агрегате можно перерабатывать до 10 видов основных кормов собственного производства и 14 ингредиентов (включая белковые и минеральные добавки) промышленного изготовления.

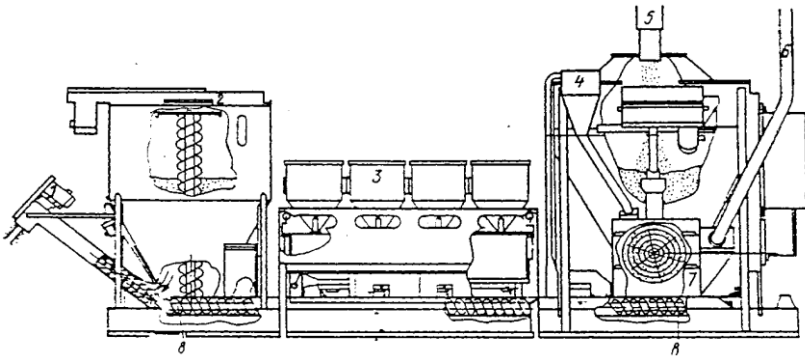


Рис.1.19. Комбикормовый агрегат SFM 2000 с программным управлением: 1 – выгрузной шнековый транспортер; 2 – вертикальный смеситель; 3 – бункеры для микроингредиентов и белковых добавок; 4 – наддробильный бункер; 5 – кормопровод для подачи зерновых компонентов в дробильную камеру; 6 – кормопровод для подачи предварительно измельченных компонентов; 7 – дробилка; 8 – сборный шнековый транспортер.

Агрегат был установлен на свиноводческой ферме (в Великобритании), где содержат 300 свиноматок и откормочные

группы свиней. Для приготовления комбикормов в хозяйстве выращивают пшеницу, ячмень, бобовые, рапс.

Приготавливают корм следующим образом. Оператор выбирает необходимый рецепт, объем каждого компонента и вводит данные в программу компьютера. В его памяти откладываются данные по 50 рационам, каждый из них можно запрашивать и обновлять. Введенные в программу данные фиксируются, устанавливается положение «работа», после чего регулируется процесс автоматически, включая операции дозирования, измельчения и смешивания компонентов.

Контрольное устройство отбирает первый компонент рациона в соответствии с принятым рецептом и подает его в один из четырех приемных бункеров для зерновых составляющих смеси. Когда объем этого компонента отгружен, подается сигнал на загрузку следующего, и далее процесс продолжается до тех пор, пока все компоненты не будут взвешены и отгружены.

Неизмельченные компоненты предварительно поступают в над-дробильный бункер 4 (емкость 1,6 м), регулирующий подачу массы на измельчение. Через основной кормопровод 5 зерно поступает в молотковую дробилку 7 (мощность 11 кВт), измельчается и идет на сборный шнековый транспортер 8. Образующаяся при измельчении зерна пылевидная фракция отделяется от мелких частиц в циклоне и возвращается в дробилку. Предварительно измельченные корма, минуя дробилку и над-дробильный бункер, подаются через кормопровод 6 непосредственно на сборный шнековый транспортер 8.

Микро- и белковые добавки перед смешиванием загружаются в бункера 3 (емкость 0,54 м каждый), взвешиваются и подаются на сборный шнек 8. Смешиваются компоненты в вертикальном смесителе 2 (емкость 2,1 м³).

После смешивания корм поступает в линию распределения и загружается в бункер готовой продукции. Далее процесс повторяется, пока не загрузятся все 32 бункера готовой продукции. Продолжительность одного цикла приготовления 15 мин. Весовое устройство обеспечивает точность дозирования компонентов + Н. Производительность агрегата – 4 т/ч, габаритные размеры

(мм) – 6080×2020×2380, масса – 1721 кг.

Агрегат работает в основном ночью по льготному тарифу (присутствие оператора не обязательно), что позволяет значительно снизить затраты на электроэнергию.

Ежемесячно в хозяйстве приготавливают около 100 т комбикормов. Стоимость 1 т на 35 фунтов стерлингов меньше, чем покупных. Предполагается, что ежегодная экономия может составлять около 36 тысяч фунтов стерлингов. При стоимости агрегата 19 тысяч фунтов стерлингов его окупаемость составит немногим более 6 месяцев.

В странах Западной Европы и США накоплен большой опыт внутрихозяйственного получения комбикормов из собственных запасов фуражного зерна и добавок промышленного производства. Выбор из большого и разнообразного количества машин и оборудования определяется размерами ферм, видом животных, наличием исходного сырья уровнем механизации и другими факторами.

В Швеции производством компактных комбикормовых агрегатов заняты фирмы Meton и Swegma. Основой их являются молотковые дробилки для переработки зерновых компонентов (ячмень, овес, горох). В состав цеха входят бункеры для хранения компонентов готовой продукции, весовые дозаторы, системы транспортеров (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Характеристика оборудования комбикормовых цехов

Показатели	Молочные фермы		Свиноводческие фермы	
	30 коров	60 коров	40 свиноматок	600 голов на откорме
Вместимость бункерных накопителей для зерновых компонентов, м ³	5,8	10,1+8,1	5,8	10,0
Их количество	2	2 1	2	1
Вместимость бункеров для готовой продукции, м ³	1,5	2,5	1,4	2
Их количество	1	2	1	1
Общая мощность электродвигателей, кВт	3	7	3	7,5
Стоимость оборудования, тыс. крон	23,8	41,7	21,4	32,4

Фирма Swegma, кроме перечисленного оборудования для молочных ферм таких же размеров, включает в комплект сушильные установки, причем в отделении кормоцеха для фермы на 30 голов используют бункерную сушилку вместимостью 35 м с вентилированием холодным воздухом, а для фермы на 60 коров – нагретым воздухом.

В Италии фирма Seko для небольших хозяйств выпускает унифицированную серию малогабаритных агрегатов для приготовления кормовых смесей из зерна собственного производства, початков кукурузы, грубых кормов, витаминных и минеральных добавок (в стационарном и мобильном вариантах). В зависимости от условий смесь может поступать в раздатчики, силосные башни или бункеры-накопители с помощью пневматических или механических транспортеров. Агрегаты могут быть оборудованы системой автоматизации основных технологических процессов.

Для измельчения и смешивания только концентрированных кормов та же фирма выпускает малогабаритные установки производительностью 350-550 кг/ч (дробилка с двигателем мощностью 5,5 кВт) и 450-750 кг/ч (дробилка с двигателем мощностью 7,5 кВт). Смеситель вместимостью 1000 кг работает от двигателя мощностью 3,0 кВт. Установка имеет автоматическое устройство, отключающее дробилку по окончании размола зерна, при этом не требуется присутствия оператора. Установка снабжена весами с автоматической выгрузкой взвешенного корма и питающим шнеком.

Фирма Seko оснащает кормоприготовительные линии грануляторами типа РН 10 и РН 25. Отличительная особенность конструкций установок заключается в том, что они могут работать без пара или связующих добавок. Это расширяет возможность производства гранулированных комбикормов на малых фермах. Если влажность поступающих на обработку зерновых смесей или травяной муки ниже, их доводят до 14 - 17%-ной влажности. Полученные гранулы сразу же поступают на охлаждение. Модель гранулятора РН 25 снабжена смесителем для введения в кормосмесь 5% мелассы. Обе модели могут работать от ВОМ трактора или от электродвигателя. В зависимости от диаметра гранул

производительность модели РН 10 от 200 до 400кг/ч.

Таким образом, анализ существующего отечественного и зарубежного оборудования для приготовления комбикормов показал, что в условиях коллективных и фермерских хозяйств наиболее целесообразно, с технико-экономической точки зрения, применение малогабаритных установок, имеющих производительность 100 – 500 кг/ч. При данной производительности установка обеспечивает потребность имеющегося у фермера поголовья животных (табл. 1.6) в комбикормах собственного производства.

Отдельные изготовители в России и странах СНГ выпускают дробилки производительностью 100 – 500 кг/ч (табл.1.7). Однако вопросы механизации приготовления с их помощью кормовых смесей не решены.

Таблица 1.7

Технические характеристики дробилок

Показатель	Марка машин			
	МКД-Ф-1	ДЗТ-Т-1	ИЗМ-Т-1	Таврия 1
Производительность, кг/ч	85-150	40-100	57 (по ячменю)	35-70
Мощность, кВт	0,75	1,1	-	1
Габаритные размеры, мм				
длина	420	620	590	575
ширина	2750	450	470	560
высота	500	980	300	1125
Масса, кг	24,5	42	19	42
Цена, руб.	–	160	60	165
Изготовитель	Литовское ПО «Нерис»	Завод с.х. машин (г. Новоград- Волынский)	Опытный завод КТИСМа (г. Запорожье)	Машиностро- ительный за- вод (г. Болеславск)

Наиболее эффективными по степени преобразования питательных веществ зерна являются баротермические методы обработки.

Гидротермическая обработка зерна, заключающаяся в пропаривании зерна, на мукомольных и крупяных заводах применяется для направленного изменения его исходных технологиче-

ских свойств с тем, чтобы обеспечить в дальнейшем максимальную технологическую и экономическую эффективность переработки зерна в муку и крупу. В сельскохозяйственном производстве такая обработка зерна применяется для преобразования крахмала зерна в более усвояемую форму (клейстеризации, декстринизации) и повышения степени его усвояемости животными.

Для обработки зерна таким способом применяют агрегаты ПЗ-3, на которых зерно не только пропаривают, но и плюшат. Проводят ее также с использованием аппаратов АСК-5, АСК-10 конструкции Г.С. Неруша и др.

Большая степень преобразования питательных веществ зерна достигается при его обработке горячим воздухом. Для этого служат специальные обжарочные агрегаты А9-КЖА в сочетании с другими машинами, составляющими линию. При обработке зерна по этому способу зерно очищают на решетном сепараторе, затем подвергают шелушению, вновь очищают на воздушном сепараторе, подают через накопительный бункер и весы в обжарочные агрегаты и после обработки направляют на измельчение или другую обработку. Предложенная линия, разработанная Одесским СКТЕ «Продмаш», усовершенствована во ВНИИ КП. Для повышения эффективности обработки (рисунок 1.20) линия дополнена средствами для гидротермической обработки зерна на линии осуществляется аналогично описанной выше и отличается тем, что зерно перед обработкой горячим воздухом увлажняют до 17 - 21%. За счет этого существенно повышается степень декстринизации крахмала зерна и при скармливании повышаются привесы молодняка животных на 5 - 8% по сравнению с использованием непропаренного, обработанного горячим воздухом зерна [99].

Для обработки зерна на нагретой поверхности применяют линии со специальными обжарочными агрегатами.

Комбикорма для молодняка животных (комбикорма марки СК) готовят на технологической линии, в которой зерно норией подается из склада в бункер с реечной задвижкой. Из него зерно самотеком поступает в сепаратор, затем в шелушитель, аспирационную колонку и второй норией поднимается в бункер

шелушенного зерна, из которого самотеком подается в обжарочный агрегат. Обжаривание повышает вкусовые качества корма. При обжаривании также возрастает питательная ценность зерна и уменьшается его зараженность вредными грибами.

Совмещение процессов гидротермической обработки зерновых кормов с плющением позволило повысить эффективность их подготовки к скармливанию.

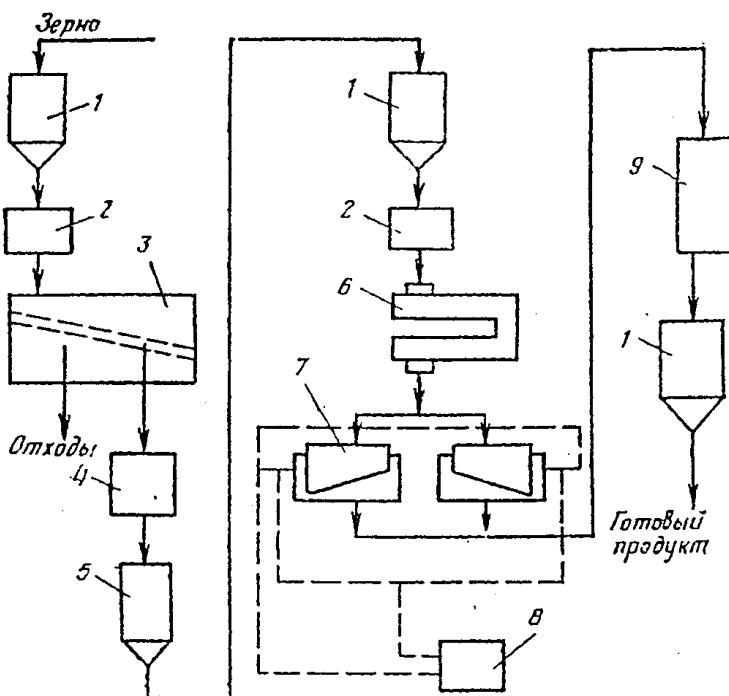


Рис. 1.21. Схема тепловой обработки зерна [99]:

- 1 – бункер; 2 – дозатор; 3 – сепаратор; 4 – шелушитель; 5 – отделитель пленок; 6 – кондиционер; 7 – обжарочный агрегат; 8 – диатермический котел; 9 – охладитель

В настоящее время промышленностью выпускается агрегат для приготовления хлопьев из зерна ПЗ-3,0 с предварительной

гидротермической обработкой. Агрегат для приготовления хлопьев из зерна ПЗ-3,0 предназначен для влаготепловой обработки и плющения фуражного зерна влажностью 17 - 35%.

Агрегат состоит из следующих основных сборочных единиц: загрузочного шнека, шнека-эжектора, пропаривателя, плющилки, шнека плющилки, выгрузного шнека, электрошкафа [53, 56].

Технологическая схема работы агрегата ПЗ-3,0 показана на рисунке 1.21.

Зерно, подлежащее плющению, из завальной ямы загрузочным шнеком 1 подается в шнек эжектора 2, а затем - в эжектор 3. Из эжектора зерно, увлекаемое потоком пара, транспортируется в пропариватель 8. В процессе транспортирования происходит предварительный подогрев и увлажнение зерна.

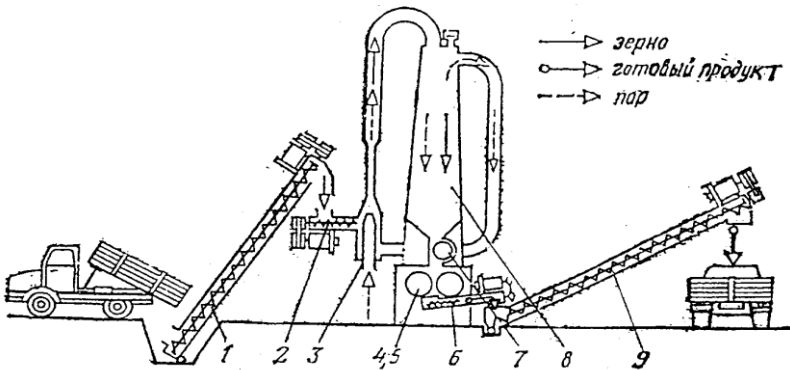


Рис. 1.21. Схема технологического процесса гидротермической обработки и плющения: 1 – шнек загрузочный; 2 – шнек эжектора; 3 – эжектор; 5 – валки плющилки; 6 – шнек плющилки; 7 – дозатор; 8 – пропариватель; 9 – шнек выгрузной

По мере продвижения зерна в пропаривателе сверху вниз происходит его влаготепловая обработка и завершается процесс подготовки зерна к плющению. Из пропаривателя зернодозатором 7 подается на валки 4 и 5 плющилки, где происходит плющение зерна в хлопья. Шнек 6 плющилки подает хлопья в выгрузный шнек 9, который транспортирует готовый продукт в транспортные средства.

Основная машина агрегата – плющилка – состоит из следующих основных сборочных единиц: рамы, корпуса, двух гладких валков диаметром 450 мм и длиной 600 мм (один подпружиненный, второй подвижный), механизма перемещения валка, приводов валков (на каждый валок отдельный электродвигатель и клиноременная передача) и их ограждений. Валки (подвижный и неподвижный) установлены на цилиндрических штангах, закрепленных в корпусе. Корпуса подшипников подпружиненного валка соединены с корпусом пружинными амортизаторами.

Валки от налипших хлопьев считаются подпружиненными чистиками. При попадании между валками твердого инородного предмета неподвижный валок отжимается, обеспечивая проход инородного предмета. При значительной величине инородного предмета неподвижный валок нажимает на путевой выключатель, который выключает привод плющилки. Подвижной валок перемещают вдоль направляющих (привал – отвал валков), поворачивая рычаг эксцентриков механизма. Нужная величина зазора осуществляется специальным устройством и контролируется по механизму отсчета.

Распространенной является технология производства специальных комбикормов с экструдированной зерновой частью для молодняка животных, включающая прием и накопление оперативного запаса сырья, его очистку, экструдирование зерновых компонентов, охлаждение и измельчение экструдата, дозирование и смешивание компонентов комбикорма, транспортирование сырья и складирование готовой продукции [99]. Схема технологической линии экструдирования зерна представлена на рисунке 1.22.

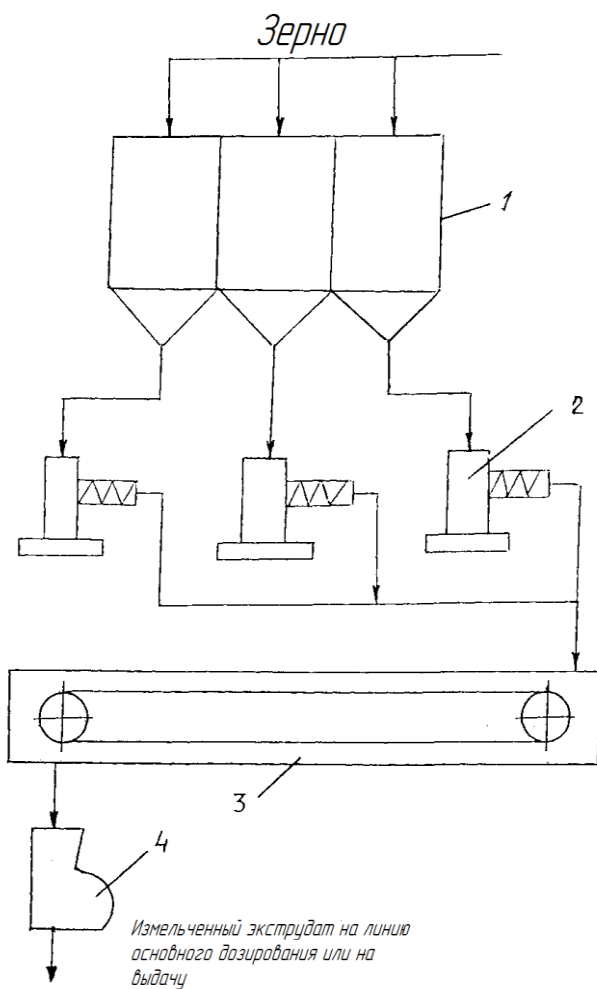


Рис. 1.22. Схема линии экструдирования зерна:
1 – бункер; 2 – экструдер; 3 – охладитель; 4 – дробилка

От качества очистки зерна зависит надежность процесса экструдирования и долговечность экструдера. Поступавшее на переработку зерно должно соответствовать показателям качества,

обусловленным действующими стандартами, техническими условиями. Сырье, подаваемое из автотранспорта или склада, необходимо очищать от посторонних (органических, минеральных и особенно металломагнитных) примесей, содержание которых не должно превышать допустимых норм.

В пресс-экструдере, основной машине технологии производства экструдированного корма, под воздействием высокой температуры, давления и последующего его быстрого снятия биополимеры зерна преобразуются в форму более доступную для организма животного.

Для получения готового продукта хорошего качества необходимо поддерживать оптимальную температуру для каждого вида зерна или зерновой смеси в пределах 120 - 200 °С. Давление в экструдере должно быть 3 - 5 МПа.

Наиболее распространенные в нашей стране пресс-экструдеры КМЗ-2, КМЗ-2М и ПЭКЛ-25×8-75 имеют производительность от 250 до 600 кг/ч [57].

Показатели работы экструдеров зависят от вида и состояния обрабатываемого зерна.

При экструдировании неизмельченного зерна энергоемкость процесса несколько выше, чем при экструдировании измельченного, однако качество экструдата из целого зерна выше. Возрастание влажности зерна выше кондиционной также снижает качество продукта. Так, при экструдировании увлажненного (без тепловой обработки) зерна в экструдере КМЗ-2 с повышением влажности от 12,67 до 24,5% степень клейстеризации и декстринизации уменьшилась от 85 и 73,3% до 40 и 21,6% соответственно. При этом в изломах стренг обнаруживались необработанные и невзорванные частицы зерна. С повышением влажности производительность машины возрастает при одной и той же загрузке двигателя. Рекомендуется экструдировать зерно влажностью не более 16%.

В таблице 1.8 представлены ориентировочные режимы обработки некоторых видов зерна и зерносмеси, обеспечивающие удовлетворительное качество готового продукта.

Таблица 1.8

Оrientировочные режимы обработки некоторых видов, зерна
и зерносмеси на пресс-экструдере ПЗК-125 [62]

Зерно и зерно- смесь	Влажность		Температура по зонам, °С			
	исходная (зерна)	конечная (экструдата)	загрузки		гомогенизации	
			при запуске	рабочая	при запуске	рабочая
Горох	12 - 16	8 - 9	145	140	160	180
Пшеница	12 - 14	9 - 10	145	150	160	200
Ячмень	12 - 16	9 - 10	145	150	160	190
Кукуруза	12 - 16	8 - 9	145	140	160	170
Зерно- смесь (пшеница 50% + овес 50%)	12 - 16	9 - 10	145	150	160	180

Качество экструдата должно соответствовать установленным требованиям (табл.1.9). На выходе из машины продукт имеет форму пористых эластичных стренг, которые через 50 - 70 с становятся хрупкими.

Таблица 1.9

Требования к готовому продукту [68]

Наименование показателей	Нормы
	Поверхность стренг гладкая, бугристая с ярко выраженными пластическими течениями. В изломе видна однородная пористая структура. При разминании в руке образует чешуйчатые частицы без пылевидных фракций. Цвет более светлый, чем сырья. Приятный хлебный вкус и запах.
Степень взорванности (коэффициент взорванности)	Не менее 2 - 4
Влажность, %	Не более 12
Гигроскопичность	Не гигроскопичен до относительной влажности воздуха 96%
Ферромагнитных примесей, % по массе	Не более 0,01
Степень декстринизации крахмала, %	Не менее 55

Основным показателем качества экотрудата, который можно контролировать в процессе работы, считается степень взорванности, которая определяется как отношение массы одинаковых объемов размолотого зерна и размолотого экструдата.

В связи с дефицитом белковых добавок в комбикормовом производстве в последние годы начали применять синтетическую мочевины – карбамид. Карбамид при правильном его использовании может заменить в комбикормах для жвачных животных до 30% протеина в рационе. Однако использование его в чистом виде сопровождается быстрым расщеплением в пищеварительном тракте с образованием аммиака в количестве, большем, чем его усваивают микроорганизмы рубца. Избыток аммиака может быть токсичным, при этом животные болеют, в некоторых случаях может наступить их гибель. Поэтому карбамид следует вводить в комбикорм только в составе таких кормов, которые при переваривании медленно освобождают аммиак. Один из таких видов корма – карбамидный концентрат, представлявший собой обработанную в экструдере смесь карбамида, зерна, бентонита.

Главное достоинство карбамидного концентрата заключается в том, что карбамид концентрата в пищеварительном тракте животных расщепляется гораздо медленнее, чем чистый. Кроме того, баротермическая обработка зерна повышает питательную ценность кормов.

Основным источником белка в Амурской области является соя. Однако использование сои на корм скоту сдерживается отсутствием рациональных способов и технических средств ее обработки. В зерне сои содержатся вредные вещества, которые препятствуют нормальному пищеварению животных. Чтобы устранить их вредное действие, необходима тепловая обработка зерна сои. Кроме этого, соя содержит до 17,3% масла, которое может быть использовано на пищевые цели.

Известен ряд способов обработки сои [69]: варка, запаривание, поджаривание, экструдирование, проращивание, обработка в СВЧ-поле и др. Одесским технологическим институтом пищевой промышленности проведен сравнительный анализ экономической эффективности различных способов обработки зерна сои

из которого следует, что самый дешевый из них - влаготепловая обработка. Этим институтом разработан пропариватель непрерывного действия с увеличенной производительностью, который может быть использован в составе поточных линий кормоцехов.

Влаготепловую обработку сои осуществляют насыщенным водяным паром под давлением 0,20 – 0,22 МПа. Время нахождения зерна сои в аппарате – 15 – 20 мин, что позволяет повысить его питательную ценность и переваримость белка до 88,5%. Использование ПТЛ позволяет снизить затраты на обработку 1 т сои до 0,72 – 0,95 руб. [68].

Технологическая линия влаготепловой обработки зерна (рис. 1.23) состоит из нории, скребкового транспортера, бункера, пропаривателя.

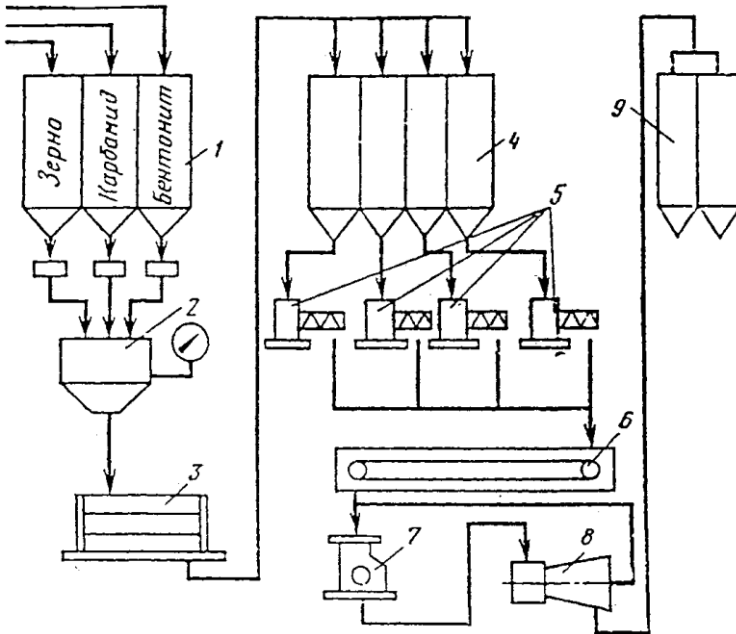


Рис. 1.23. Схема линии карбамидного концентрата: 1 – бункер для сырья; 2 – многокомпонентный весовой дозатор; 3 – смеситель; 4 бункера просеивающая над экструдерами; 5 – экструдеры; 6 – охладитель-сушилка; 7 – дробилка; 8 – просеивающая машина; 9 – бункера для готового продукта

Вибропропариватель имеет герметичный корпус, помещенный в нем вибратор, шлюзовые затворы, вертикальные металлические жестко связанные с демпферными устройствами.

В Венгрии предприятием «Manori Allami Gazdasad» выпускаются прессы (по типу экструдеров) модели «MONEX-75/700» для производства соевого масла. Необходимая тепловая способность таких прессов обеспечивается дополнительными нагревателями. По данным исследований, эксплуатационная производительность изменяется в пределах 817 - 1025 кг/ч. Прессующее воздействие оборудования вполне удовлетворительно при обработке 900 кг соевых продуктов в час и температуре материала, превышающей 15 °С. Расход энергии в этом случае составляет 81,7 кВт·ч/т. При прессовании кукурузного зерна производительность установки равнялась также 900 кг/ч, а при обработке початков кукурузы – 600 кг/ч. Расход энергии составлял соответственно 83,3 и 114 кВт·ч/т. Структура обработанного продукта отвечала технологическим стандартам.

Основные технические данные: мощность привода 75 кВт; мощность нагревателя 5,2 кВт; масса 1780 кг [99].

Анализ существующих способов и технических средств подготовки концентрированных кормов к скармливанию животным показал наиболее полно, с зоотехнической и технико-экономической точки зрения, отвечают предъявляемым требованиям тепловой и механический способы обработки кормов.

Однако тепловой способ обработки требует использования пара, воды и топлива. Традиционные механические способы обработки новых кормов позволяют их измельчать и смешивать, однако они обеспечивают требуемой переработки такой высокобелковой культуры как соя.

1.4 ОСОБЕННОСТИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕССОВАННЫХ КОРМОВЫХ ПРОДУКТОВ В ВИДЕ ГРАНУЛ И БРИКЕТОВ ДЛЯ ЖИВОТНЫХ И ПТИЦЫ

Расширение производства кормов связано в значительной мере с проблемами их транспортировки и рационального хранения. Для улучшения транспортабельности, уменьшения потребности в складских помещениях и полного завершения механизации технологического процесса применяют прессование кормов [56].

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

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 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.

Гранулометрический состав корма при гранулировании или фракционный состав при брикетировании обусловлен назначением корма. Остальные факторы – влажность и температура – сообщаются корму при подготовке его к прессованию. Эту операцию называют кондиционированием, или нормализацией материала.

Так, для нормального протекания процесса гранулирования травяной муки или комбикормовых смесей оптимальные значения влажности составляют 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 мелком измельчении, так как при этом коэффициенты трения меньше, чем при более 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 и 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 следствия переплетения частиц. В работах профессора В.И. Особова [62] отмечено, что при брикетировании стебельной массы с длиной частиц менее диаметра камеры ($l < d$) брикеты менее прочны, чем в случае $l > d$. Прочность брикетов зависит от продолжительности релаксации напряжения 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°C 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 с увеличением числа срезов, времени их охлаждения и зависит от способа кондиционирования.

Приготавливать гранулы можно и скатыванием 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 мень-

шей плотности (500 - 600 кг/м³), что позволяет скармливать их животным непосредственно без дополнительной подготовки [62].

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

В качестве связующих веществ для брикетов Вологодский молочный институт рекомендует экструдат смеси размолотого зерна и карбамида. Выходящая из экструдера масса поступает в кольцевую фильеру матрицы штемпельного процесса, где наносится на поверхность сформированного брикета и движется далее с брикетированной массой в матрице большего диаметра до остывания. Толщина экструзионной пленки на поверхности брикета 2...3 мм, плотность брикетов 550 - 560 кг/м³, крошимость 5 - 6% (плотность без оболочки при такой крошимости из того же материала должна быть не менее 800 - 1200 кг/м³). Белорусский сельскохозяйственный институт рекомендует в качестве связующих веществ применять осахаренный торф в количестве 8... 10% к массе брикетируемой смеси. Опыты, проведенные на прессе ПБС-3 ВИМ по уплотнению кормовой, состоящей из 50% соломы, 32 - 35% зерносмеси и 5% хвойной муки (остальное СВ), позволили получить брикеты плотностью 440 - 520 кг/м³ с крошимостью 5 - 8%. Применение в кормосмеси осахаренного торфа позволяет уплотнять в брикеты при более высокой влажности соломы (32%). Режимы прессования: давление 50 - 100 мПа, температура нагрева материала в матрице 75 - 95 °С, в брикетах на выходе - 63 - 68 °С.

По данным специалистов из Германии, прочность гранул диаметром 13 мм из смеси 50% соломенной муки и 50% концентратов возрастает в пределах 2% при добавлении до 2,5% воды, в пределах 12% при вводе 4 - 6% мелассы. При дальнейшем увеличении доли воды и мелассы прочность гранул снижается.

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 14 - 15%, температура 60 - 70 °С. При этом брикеты после снятия нагрузки увеличиваются в объеме за счет упругих деформаций, Процесс этот продолжается в основном в пределах 15 мин [63].

При выдержке брикетов после прессования в помещении при температуре ниже нуля они в течение 2 - 3 ч разрушаются. Поэтому в цехах для приготовления брикетов или в помещениях их начального хранения следует поддерживать плюсовую температуру не ниже 13 - 14 °С. Это указывает на целесообразность преимущественной загрузки брикетных прессов в летний период.

При гранулировании кормовых смесей, включающих солому и дерть зерносмеси, отмечено снижение содержания клетчатки на 3 - 4% (при включении карбамида на 7 - 8%), повышение привесов на 7% и снижение расхода зерна на 5% по сравнению с рассыпными кормосмесями одинакового состава [56]. При уборке всего 1 биологического урожая фуражных культур в восковой спелости зерна наиболее целесообразно мелкое измельчение и гранулирование кормов, обеспечивающее высокую эффективность их использования. Брикетирование таких смесей неприемлемо в связи с недостаточным совместным дроблением зерна. Для устранения этого явления зерно перерабатывают отдельно.

При скармливании полнорационных гранул с включением измельченной соломы и в сочетании с силосом (в сутки до 5 - 15 кг на 1 голову скота) или неизмельченными грубыми кормами (до 1 кг на 1 голову скота) обеспечивается увеличение привесов на 7 - 14% по сравнению со скармливанием рассыпных смесей аналогичного состава и до 12 - 25% по сравнению с традиционными многокомпонентными рационами. Установлено, что при включении более 40% соломы эффективность гранул снижается.

При скармливании брикетов из бобовых трав искусственной сушки представляется возможным снизить долю зерна в рационе до 15 - 20% питательности и увеличить привесы на 10 - 16% по сравнению со скармливанием рассыпных смесей аналогичного состава, а в сравнении с традиционным рационом – до 25%.

Содержание питательных веществ, в частности каротина, после трех месяцев хранения в брикетированной травяной резке на 11% выше, чем в гранулах, и на 18%, чем в рассыпной резке. При увеличении сроков хранения свыше 5 месяцев потери каротина в брикетах и рассыпной резке возрастают и превышают потери 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 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 портятся [62].

С учетом приведенных данных установлено, что гранулирование и брикетирование кормосмесей будет экономически оправданно, если при их использовании суточные привесы по сравнению с рассыпной кормосмесью такого же состава будут выше на 80 и 90 г. Учитывая сравнительно высокую энергоемкость процессов прессования, превышающую в 2,5 - 3 раза затраты на приготовление и раздачу рассыпных кормосмесей, гранулированные и брикетированные корма целесообразно применять лишь на заключительном откорме с целью его интенсификации. При этом гранулировать предпочтительно кормовые смеси с включением соломы до 35 - 40%, брикетировать – травы и травосмеси [56].

Способы прессования различают, так же в зависимости от значения приложенного давления: прессование без связующих добавок малых давлениях (15 - 20 МПа); прессование без связующих добавок при высоких давлениях (30 – 35 МПа); прессование присадки связующих веществ при малых давлениях (5 - 10 МПа).

Наиболее совершенными способами прессования являются брикетирование и гранулирование, позволяющие получить наиболее высокую степень уплотнения [62].

Анализ конструкций рабочих органов прессующих машин

позволяет разделить их на семь основных групп (рис.1.24) поршневые 1, 2, рулонные 5 - 7, транспортерные 8, шнековые (экструдеры) 9, вальцовые 11, 12 и кольцевые, или матричные, 13 - 18. Для брикетирования и гранулирования кормов наиболее широко используются кольцевые (матричные) и штемпельные 3, 4, а для производства амидоконцентратных добавок – экструдеры 10.

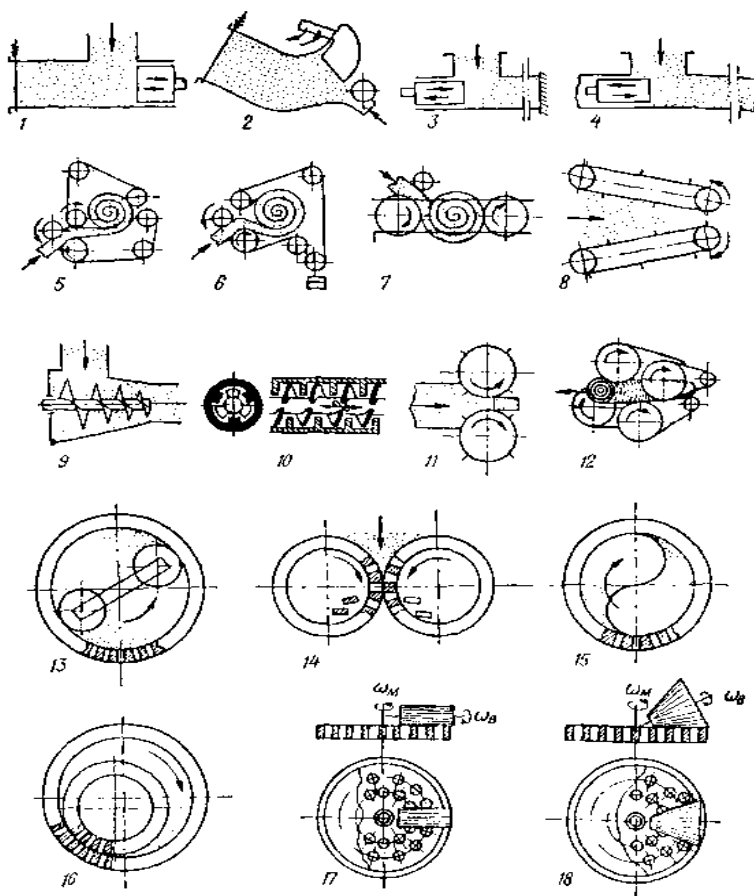


Рис. 1.24. Типы рабочих органов прессов, брикетировщиков и грану-

ляторов кормов: 1, 2 – поршневые; 3, 4 – штемпельные; 5, 6, 7 – рулонные; 8 – транспортерные; 9 – шнековые; 10 – экструдеры (шнеки высокого давления); 11, 12 – вальцовые; 13, 14, 15, 16 – вальцовые с кольцевой матрицей; 17, 18 – вальцовые с плоской матрицей

1.4.1 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГРАНУЛИРОВАНИЯ КОРМОВ ВЛАЖНЫМ СПОСОБОМ

В зависимости от влажности исходных материалов способ гранулирования прессованием в свою очередь подразделяют на влажный и сухой. Влажным способом гранулируют кормовые смеси влажностью 35 - 50%, которые по классификации акад. П.А. Ребиндера откосятся к группе гидрофильных гелей и занимают промежуточное положение между вязкими жидкостями и твердыми телами; им свойственны упругость и эластичность. Гранулы из таких кормовых смесей (в основном комбикорма с микродобавками) получают на шнековых прессах-грануляторах. Такие гранулы после прессования требуют сушки и последующего охлаждения. Они весьма прочны и водостойки, т. е. способны длительное время не разбухать в воде, сохраняя свою форму и удерживая питательные вещества. Используя это свойство, ученые и специалисты рыбоводных хозяйств разработали производство гранул способом влажного прессования, которые широко применяют для кормления рыб в прудах и малых водоемах [62].

Научные исследования в этой области кормоприготовления проводили И.И. Полунина, В.К. Гриб, В.Я. Лысенко, И.Ш. Тютяев и др. Учеными-рыбоводами доказано, что гранулы влажного прессования позволяют сократить расход корма при выращивании рыб в прудах на 25% по сравнению с кормлением их тестообразными комбикормами и на 19% по сравнению с гранулами сухого прессования.

Всесоюзным научно-исследовательским институтом прудового рыбного хозяйства (ВНИИПРХ) разработана технологическая линия производства гранулированных комбикормов способом

влажного прессования производительностью 100 т в сутки с приводом от электродвигателя мощностью 90 кВт. Основным элементом линии является смеситель-гранулятор СНГ-300 «Корм» конструкции Укрниихиммаша, приспособленный для гранулирования кормовых смесей для рыб.

Одновременно с комбикормом, поступающим через дозатор, в гранулятор подается вода насосом-дозатором. Сушка гранул в линии осуществляется в кипящем слое горячим воздухом, поступающим через паровоздушный калорифер.

На рисунке 1.25 представлена схема смесителя-гранулятора типа СНГ, который состоит из корпуса 1, шнека 2, гранулирующей головки 3, планетарного редуктора 4 и электродвигателя 5.

Рабочие органы (два шнека) набираются из насадок с левой и правой нарезкой по определенной схеме. Профиль нарезки и межосевое расстояние рассчитаны таким образом, что витки одного шнека входят во впадины другого шнека с очень малым зазором ($<0,3 - 0,4$ мм).

Это способствует перетиранию частиц, интенсивному смешиванию компонентов и обеспечивает самоочистку шнеков. Два шнека (червяка) 0 300 мм вращаются в одном направлении. Насадки по длине гранулятора образуют четыре зоны: транспортирующую с двухзаходным червяком, смешивающую с однозаходным червяком, нагнетательную с двухзаходным червяком и прессующую, состоящую из двух трехгранных кулачков специального профиля. Заканчивается шнек отбивными витками, препятствующими попаданию тестообразной массы в опорные подшипники. Давление в прессе достигает 5 - 5,5 МПа.

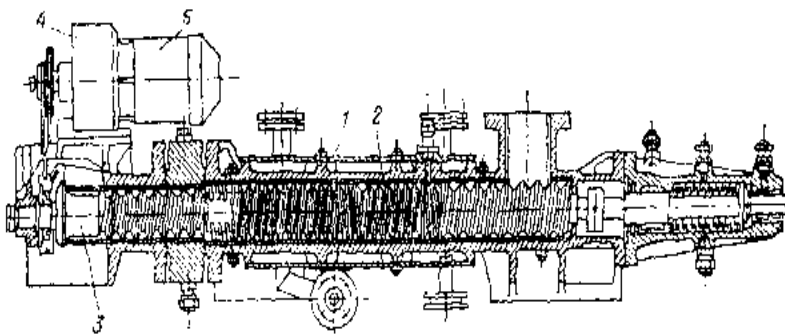


Рис.1.25. Смеситель-гранулятор типа СНГ
для влажного гранулирования

Гранулирующая (прессующая) головка имеет цилиндрическую сменную матрицу с радиальными отверстиями. Гранулы для рыб делают 0 4 - 5 мм. На внешней поверхности матрицы вращается срезающий нож, приводимый в движение электродвигателем с электромуфтой через регулятор скорости, что позволяет регулировать длину гранул.

Получаемые гранулы сохраняются в воде, не размокая, длительное время и отвечают предъявляемым требованиям: время набухания 15 – 20 мин, водостойкость 3 ч и более, экстрагирование питательных веществ (по сырому протеину) за первый час пребывания гранул в воде до 10%, плотность 1000 – 1200 кг/м³.

1.4.2 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФОРМОВАННЫХ АМИДО-КОНЦЕНТРАТНЫХ ДОБАВОК (АКД)

Наукой и практикой установлено, что белковую недостаточность кормовых рационов для жвачных животных можно восполнить путем скармливания карбамида. Карбамид, или мочевина, – белое, кристаллическое, азотсодержащее вещество N_2H_4CO (ГОСТ 2081–63), которое само белка не содержит, но в результате

гидролиза в рубце животного выделяет азот; последний под действием микроорганизмов рубца синтезируется в бактериальный усваиваемый белок.

Однако простая добавка карбамида к кормам может оказаться токсичной вследствие быстрого гидролиза его и интенсивного образования аммиака, поэтому карбамид на фермах применяют в весьма ограниченных дозах; эффективность от такого использования оказывается невысокой [62].

Физико-химическая основа технологического процесса производства АКД сводится к следующему. Материал в экструдере подвергается давлению до 1,4 - 1,5 МПа при продавливании его шнеком (червяк) через узкие калиброванные щели (2,5 - 5 мм), образованные специальными диафрагмами, поставленными в двух-трех местах на пути движения обрабатываемой смеси. От трения смесь нагревается до 400 - 430 К. Под влиянием высокого давления и температуры происходят клейстеризация крахмала, плавление карбамида, абсорбция (поглощение) расплавленного карбамида бентонитом и диффузия расплава (молекулярное внедрение азота) в массу клейстеризованного крахмала. В результате такого взаимодействия частицы карбамида оказываются охваченными тонкой пленкой крахмала, как оболочкой капсулы; это играет важную роль в последующем процессе ассимиляции карбамида. Попав в рубец животного, частички карбамида, упакованные в крахмальную оболочку, гидролизуют не сразу, а постепенно в течение 3 - 4 ч, что исключает возможность интенсивного хода образования аммиака и отравления животного. Более того, постепенное усвоение карбамида повышает общую эффективность его использования в несколько раз.

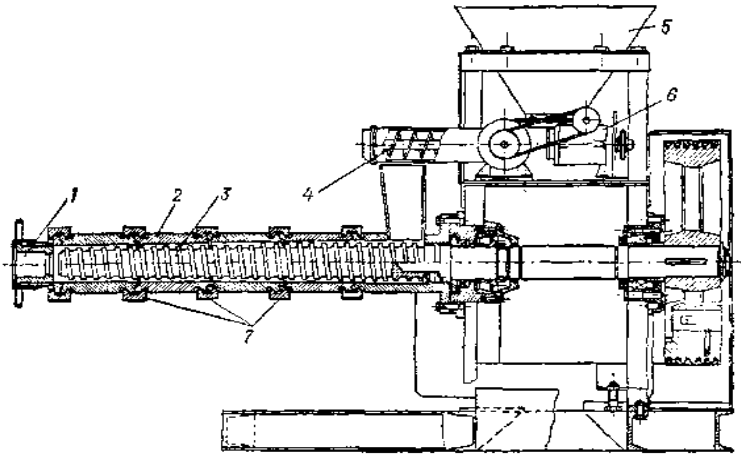
Бентонит натрия – это высушенная в печах и тонко измельченная белая глина, добываемая в Грузии и Армении. Бентонит сильно поглощает воду и другие жидкости (абсорбирует); при производстве АКД он обеспечивает проникновение и равномерное распределение карбамида в крахмале, а также выполняет роль связующего вещества, придавая полученному монолиту высокую прочность.

Экструзия как способ уплотнения сыпучих легкопластифицируемых материалов путем продавливания через узкие щели известен давно и широко применяется в ряде отраслей промышленности, например, при производстве пластополимеров.

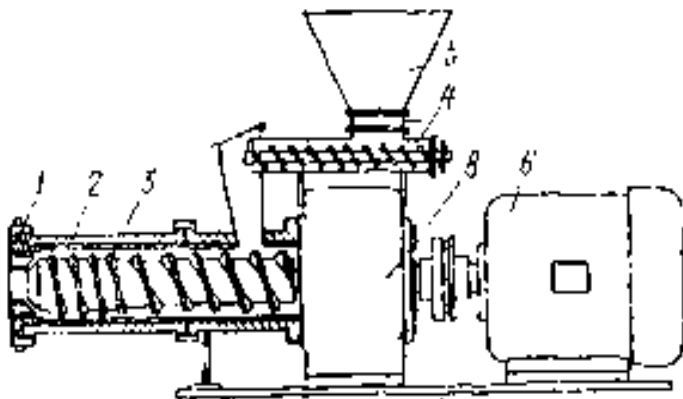
Экструдер – это шнек (червяк) с переменным шагом, заключенный в толстостенный кожух (трубу). Рабочее (калиброванное) отверстие может быть расположено в выходном мундштуке (матрице) или выполняется в виде узкой кольцевой щели между двумя охватывающими полукольцами (диафрагмой) и валом червяка.

Процесс собственно экструдирования, т.е. насыщения крахмала карбамидом, протекает всего лишь за одну минуту, т. е. за время прохождения массы корма через рабочие отверстия.

На рисунке 1.26, а показан экструдер с коническим шнеком марки КМЗ-2 для получения АКД.



а



б

Рис. 1.26. Экструдер для получения карбамидного концентрата (АКД): а – КМЗ-2 с переменным диаметром шнека; б – с двумя навивками; 1 – матрица (насадок); 2 – цилиндр; 3 – шнек высотного давления; 4 – шнек-питатель; 5 – бункер; 6 – электродвигатель; 7 – соединительные хомуты; 8 – редуктор

Наружный цилиндр 2, или корпус экструдера, состоит из пяти секций, соединенных между собой в одно целое хомутами 7 и болтами. Каждая секция состоит из двух полуцилиндров. Полукольца-диафрагмы расположены между 2, 3, 4 и 5-й секциями. Рабочий зазор между полукольцами и валом червяка по ходу материала уменьшается от 5 до 2,5 мм. На выходе червяк оборудован цилиндрической матрицей 1. Спрессованный карбамидный концентрат выходит из него в виде пустотелой трубки (чулок) с толщиной стенки 5 - 6 мм.

Экструдер приводится в работу от электродвигателя 6 мощностью 30 кВт через клиноременную передачу. Шнековый питающий механизм имеет свой электродвигатель мощностью 0,6 кВт. Производительность экструдера 350 - 500 кг/ч.

На рисунке 1.26, б показан экструдер, прессующий шнек которого имеет две навивки: с шагом 72 мм в подающей части и 44 мм в зоне прессования. Из отверстия матрицы выходит АКД влажностью 8 - 14% в виде жгута Ø 10 мм.

Рабочий шнек 3 приводится в работу от электродвигателя мощностью 55 кВт через цилиндрический редуктор 8, а питающий шнек 4 – мотор-редуктором. Производительность этого экструдера до 600 кг/ч.

При эксплуатации экструдеров нельзя останавливать установку, заполненную массой, на длительное время. Масса в экструдере быстро охлаждается, затвердевает, и повторно пустить в работу экструдер без его разборки становится невозможным. В конце смены перед остановкой экструдера необходимо заполнить его не рабочей смесью, а травяной мукой с добавкой небольшого количества жира и дать экструдеру поработать, пока из мундштука не появятся травяная мука.

1.4.3 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГРАНУЛИРОВАНИЯ КОРМОВ СУХИМ СПОСОБОМ

Этот способ по сравнению с влажным прессованием имеет значительные преимущества: не требуется сушка гранул; в гранулах сохраняются все питательные вещества, витамины, и антибиотики; при более простой технологии оборудование может иметь высокую производительность. В настоящее время имеются грануляторы производительностью до 10 - 15 т/ч.

В зависимости от типа рабочих органов прессы-грануляторы делятся на: формующие, в которых образование монолитов ведется в закрытой камере (поршневые, штемпельные, рис. 1.27, 1 - 4); прокатывающие (вальцовые, рис. 1.27, 11 - 12); выдавливающие (экструзионного типа), в которых образование монолитов производится в открытом канале (вальцовые с кольцевой или плоской матрицей, рис. 1.27, 13 - 18) или с помощью решетки противодавления (шнековые, экструдеры, рис. 1.27, 9 - 10).

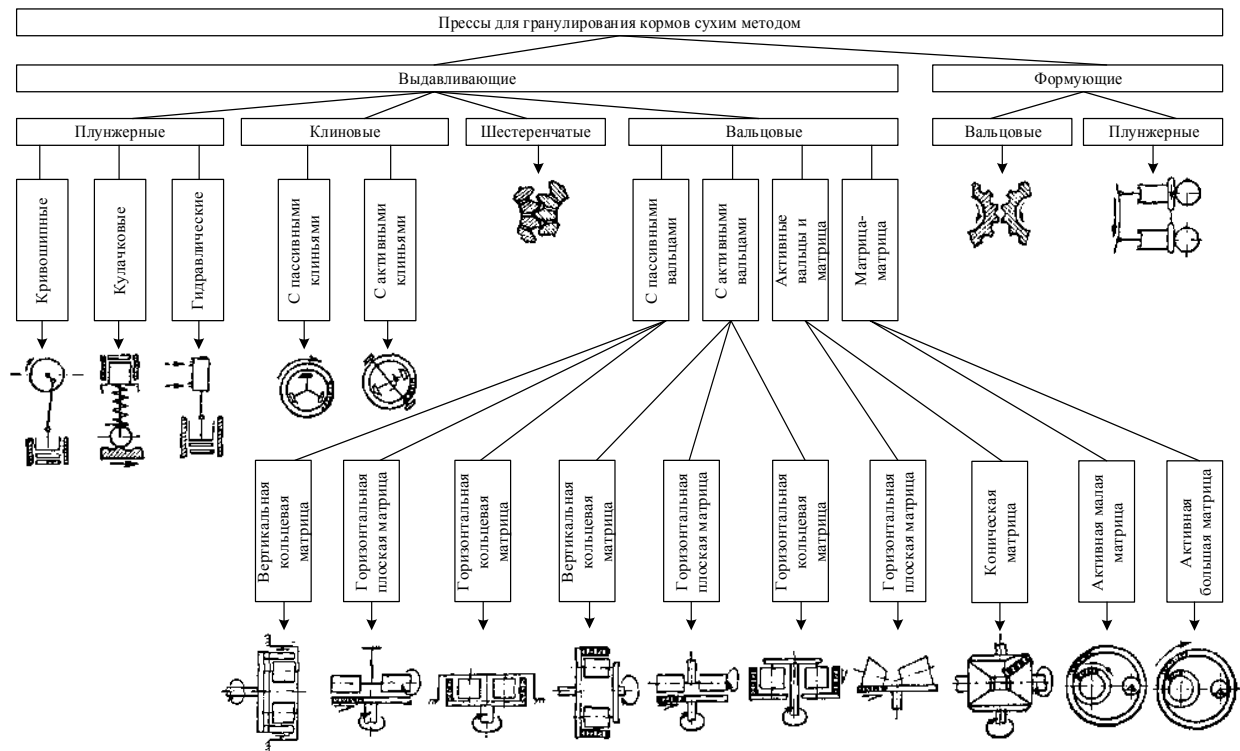


Рис. 1.27. Классификация прессов для гранулирования кормов сухим способом [62]

Классификация прессов для гранулирования кормов сухим способом (рис. 1.28) разработана Г.Я. Фарбманом. Наибольшее распространение получили вальцовые прессы с кольцевой матрицей. Отечественная промышленность выпускает грануляторы - ОГМ-0,8А, ОГМ-1,5, ОГМ-3, ДГ-1. Разрабатываются новые модели, рассчитанные на производительность 5 и 10 т/ч. Все они имеют одинаковую конструктивную схему и отличаются лишь размерами.

Оборудование для гранулирования травяной муки ОГМ-0,8А предназначено для приготовления гранул из травяной муки, вырабатываемой двумя агрегатами АВМ-0,4 или одним АВМ-0,65.

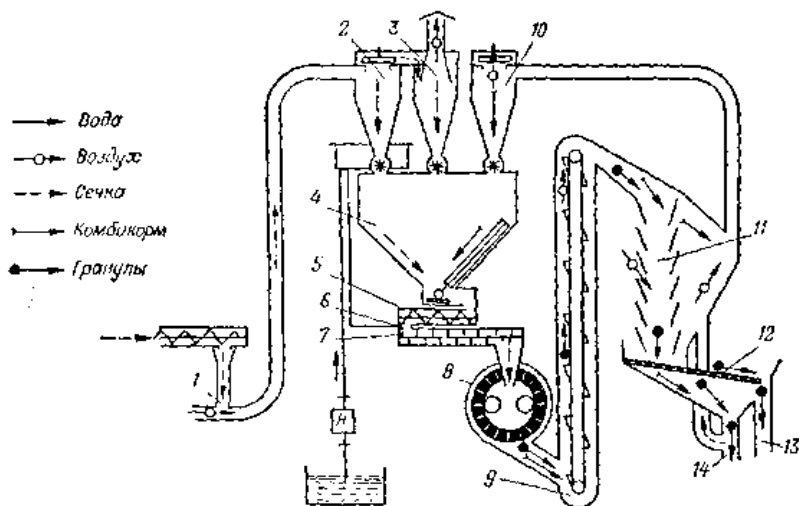


Рис.1.28. Технологическая схема работы оборудования ОГМ-0,8А [57]

Схема технологического процесса оборудования ОГМ-0,8А представлена на рисунке 1.28 Травяная мука из агрегатов поступает через заборник 1 в циклон 2 и из него – в расходный бун-

кер 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 с приводом в движение от вала шнекового дозатора 5 пресса 8. Дозатор регулирует количество муки, поступающей на гранулирование путем изменения частоты вращения, так как он приводится в работу от автономного электродвигателя через клиноременной вариатор. По выходе из дозатора мука увлажняется водой, поступающей через систему ввода воды (через распылитель 6). Вместе с водой могут вводиться антиоксиданты и связующие вещества. Равномерность увлажнения и однородность смешивания обеспечивает быстроходный лопастной смеситель-кондиционер 7, который также имеет автономный привод от электродвигателя.

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 (столбики) спрессованного материала встречаются с неподвижными ножами и обламываются, образуя гранулы. Выходящие из пресса гранулы имеют высокую температуру (350 - 380 К) и непрочны. По лотку они поступают в норию 9, которая поднимает их и направляет в охладительную колонку 11. Просасываемый через колонку вентилятором циклона 10 воздух охлаждает гранулы. Затем гранулы попадают на сортировальное решето 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. Эта мелочь проходит под решето и через отборник 14 воздухом транспортируется в циклон 10 и направляется на повторное гранулирование.

Основным узлом в комплекте оборудования ОГМ-0,8А является гранулятор, который состоит из шнекового дозатора 5, лопастного смесителя 7, пресса 8 и редуктора привода дозатора. Основой гранулятора является пресс, состоящий из своего редуктора и узла прессования с вертикальной кольцевой матрицей и

двумя пассивными вальцами (роллерами). Общее устройство прессы показано на рисунке 1.29.

Электродвигатель ($N = 40 \text{ кВт}$, $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$) 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 от проворачивания зафиксирована шпонками.

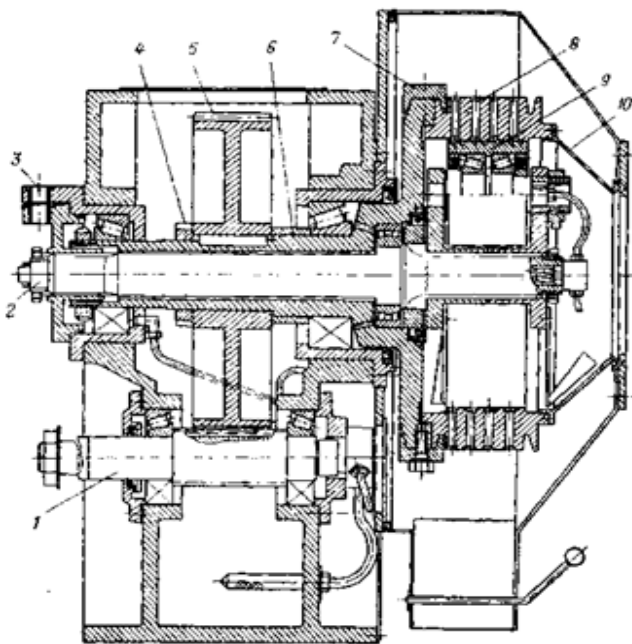


Рис.1.29. Пресс-гранулятор ОГМ-0,8А

К наружному торцу вращающейся матрицы прикреплен конический приемник 10, образующий вместе с ее внутренней полостью камеру прессования. Внутри главного вала размещена ось 2, на конце ее установлены две плиты, между которыми на эксцентричных осях смонтированы прессующие вальцы, или рол-

леры, 9. Зазор между рабочими поверхностями вальцов и матрицы В пределах 0,3 - 0,5 мм регулируется 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. При обычной нагрузке срезной штифт удерживает ось от вращения, и прессующие вальцы вращаются лишь вокруг своих неподвижных осей. Если пресс окажется чрезмерно перегруженным гранулируемой массой или в зазор между вальцом и матрицей попадет посторонний предмет, то валец заклинится, и вращающий момент от матрицы будет передаваться на ось 2, а через нее на срезной штифт 3. После срезания штифта фланец начнет поворачиваться и имеющейся на нем лыской нажмет на толкатель конечного выключателя, который отсоединит от сети все электродвигатели и остановит пресс, предохраняя его от поломки. На рабочие органы пресса (комплект матриц и вальцов) приходится основная часть стоимости пресса, поэтому в процессе эксплуатации требуется надлежащий уход за ними.

Срок службы матрицы и вальцов будет на 15 - 20% больше, а производительность пресса и качество гранул более высокими, если кондиционирование травяной муки производить сухим паром давлением 0,2 - 0,3 МПа. При этом вариатором дозатора увеличивают подачу корма до 1000 - 1400 вместо 800 - 1000 кг/ч при кондиционировании водой.

В кормоцехах с большим объемом производства, создаваемых на основе межхозяйственной кооперации, применяются грануляторы ОГМ-3 для травяной муки, а также ДГ-1 и ОГК-3 для гранулирования комбикормов. Эти грануляторы работают с кондиционированием комбикорма сухим паром [56, 57].

В комплект агрегата входят охладитель ДГ, кроме пресса-гранулятора ДГ-1 (рис. 1.30), входят охладитель ДГ-2, измельчитель ДГ-3, сепаратор ЗСП-10 (решетный стан) и пульт управления.

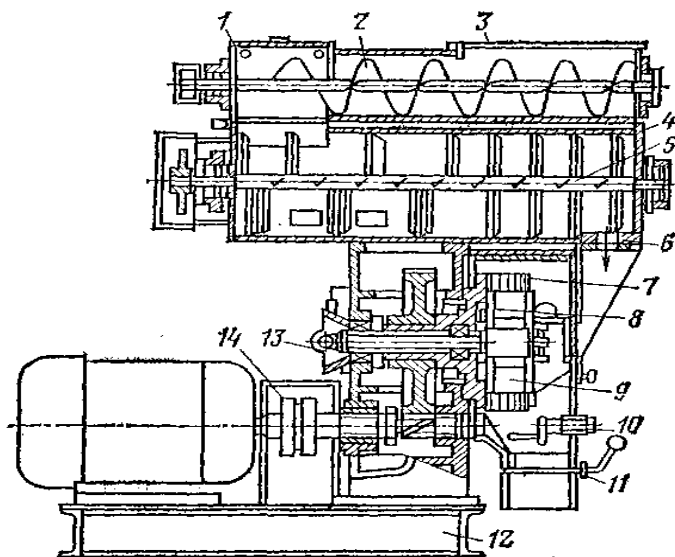


Рис.1.30. Пресс-гранулятор ДГ-1:

- 1, 2 – корпус и винтовой питатель; 3 – загрузочное устройство;
 4, 5 – корпус и битуер смесителя; 6 – окно выгрузное;
 7 – матрица; 8 – планшайба; 9 – ролик; 10, 11 – заслонка и за-
 движка; 12 – станина; 13 – штифт; 14 – муфта

Измельчитель ДГ-II, или вальцовый крошитель, предназначен для измельчения крупных гранул ($\varnothing$ 10–12 мм), преимущественно из травяной муки перед вводом их в кормовые смеси на комбикормовых заводах.

Измельчитель состоит из корпуса, внутри которого размещен двухвальцовый измельчающий аппарат. Ведущий валец приводится в работу электродвигателем мощностью 13 кВт через клиноременную передачу, а ведомый валец получает движение от ведущего через плоскоременную передачу. Диаметр валцов 205 мм. Вальцы выполнены рифлеными с углом наклона рифлей: у ведущего – 2° и ведомого – 87° ведущего вальца – $7,6 \text{ с}^{-1}$, ведомого – $4,66 \text{ с}^{-1}$.

Для подачи воды и пара в зоне разгрузочного отверстия питателя предусмотрены форсунки коллектор. Кроме этого, в верхней части смесителя три форсунки для подачи жидких компонентов.

Пар подается через редукционный клапан, снижающий давление до 0,3 - 0,4 МПа, которое контролируется по показателям манометра. Расход пара 0,167 кг/с, температура гранул после пресса 50 - 80 °С.

Пресс ДГ-1 комплектуют вертикальной охлаждающей колонкой ДГ-II и крошителем гранул ДГ-III, используемым при необходимости измельчения гранул в крупку (для цыплят). Валки крошителя рифленные – на ведущем вальце рифы нарезаны по винтовой с наклоном к оси 2°, на ведомом – 87°. В линию монтируется также просеивающая машина.

Технические характеристики грануляторов приведены в таблице 1.10.

Таблица 1.10

Технические характеристики грануляторов [56]

Параметры	ОГМ-0,8Б	ОГМ-1,5	ДГ-1	ОПК-2А-1
Производительность при диаметре 10 мм на гранулировании: травяной муки комбикорма	0,9 3	1,5 5	2 6 - 10	2,0 6,0
Диаметр отверстий сменных матриц, мм	10,14	10,14	4,7; 9,7; 12,6; 19	5,10 14,20
Внутренний диаметр матрицы, мм	350	480	480	520
Ширина рабочей поверхности, мм	100	120	117	120
Частота вращения матриц, мин ⁻¹	218	140	213	300*
Установленная мощность, кВт	60	98,6	78	102
в том числе пресса	37	75	75	75
Масса оборудования, т.	3,3	5,4	5,0	8,4

*блок вальцов

ОАО «Ростпродмаш» выпускает установки Б6-ДГВ (рис.1.31) производительностью на комбикормах 8-11 т/час, на легковесном сырье – 2,5 - 4,5 т/час, в зависимости от диаметра отверстий в матрицах (от 4,7 до 19 мм).

Установка может поставляться как с автоматической, так и с

ручной регулировкой подачи пара, ввода жира и мелассы, а также отдельными составляющими: пресс, охладитель, измельчитель, просеиватель, электрооборудование и запчасти.

Общая установленная мощность Б6-ДГВ не более 137,5 кВт, вес 8 т.

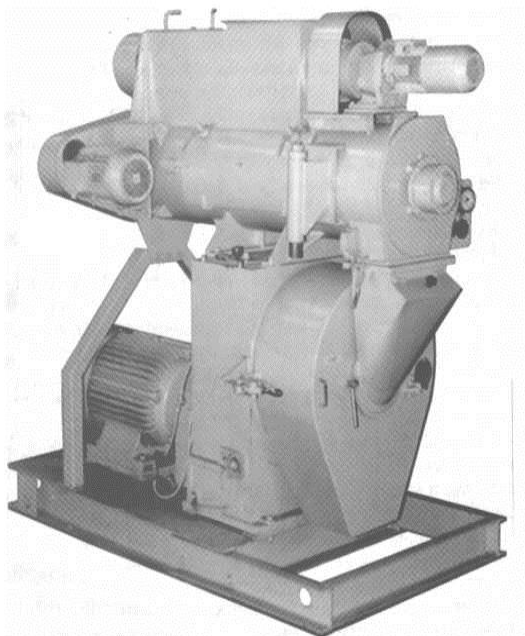


Рис.1.31. Общий вид установки Б6-ДГВ

1.4.4 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ КОРМОВ

Несмотря на общность законов уплотнения кормов и единую конструктивную схему, брикетировочные прессы составляют самостоятельную группу машин, отличающуюся от прессов-грануляторов. Эти отличия обусловлены разнообразием свойств уплотняемых кормов, широкой их номенклатурой и различиями в требованиях, предъявляемых к кормовым брикетам и гранулам. В частности, необходимость иметь брикеты разной плотности

привела к созданию регулируемых каналов прессования, у которых может изменяться площадь поперечного сечения или длина канала. Брикеты, предназначенные для крупного рогатого скота (в состав входят грубые корма), имеют размеры, во много раз превосходящие размеры гранул. Матрицы брикетных прессов также имеют большие размеры и делаются неподвижными (вертикальные или горизонтальные), а активным рабочим является блок прессующих валцов с ведущим водилом [62].

Пресс брикетный четырех штемпельный ПБС-3 конструкции ВНИИКОМЖа состоит из рамы, приемной камеры, брикетирующего механизма, камеры прессования, увлажнителя и электрооборудования. Брикетирующий механизм сдвоенный (рис. 1.32, а), является основным узлом пресса и состоит из двух параллельно работающих кривошипно-шатунных механизмов и делительной камеры 6. Крейцкопф 4 каждого шатуна несет на себе по два штемпеля 5, формирующих брикеты цилиндрической формы 0 6,5 мм при средней плотности 710 - 750 кг/м³. Мощность электродвигателя 55 кВт. Производительность пресса до 3 т/ч.

Шестиштемпельный пресс-брикетировщик конструкции Калининского политехнического института и Донского СХИ в основе имеет звездообразный кривошипно-шатунный механизм (рис. 1.32, б) и систему подачи корма в камеры прессования. Опытный образец такого пресса проходит производственные испытания на кормобрикетном заводе «Дон-7», его производительность 8 - 10 т/ч при диаметре брикетов 60 - 100 мм и высоте до 20 мм.

Экспериментальный вальцовый пресс-брикетировщик формующего типа (разработан В. Ф. Некрашевичем в Рязанском СХИ) работает по принципу прокатки. Пресс состоит из прессового кольца-матрицы (рис. 1.33, а) с коническими отверстиями, вращающегося между ведущим 5 и опорным 1 вальцами. Вальцы имеют на своих рабочих поверхностях ячейки, которые располагаются против отверстий матрицы и вместе с ними образуют камеру прессования. Прессовое кольцо проходит через приемный бункер 3, оборудованный вибропитателем 2. Внутри кольца на неподвижном основании установлен роликовый выталкиватель брикетов 6, а снаружи – опорный ролик 7.

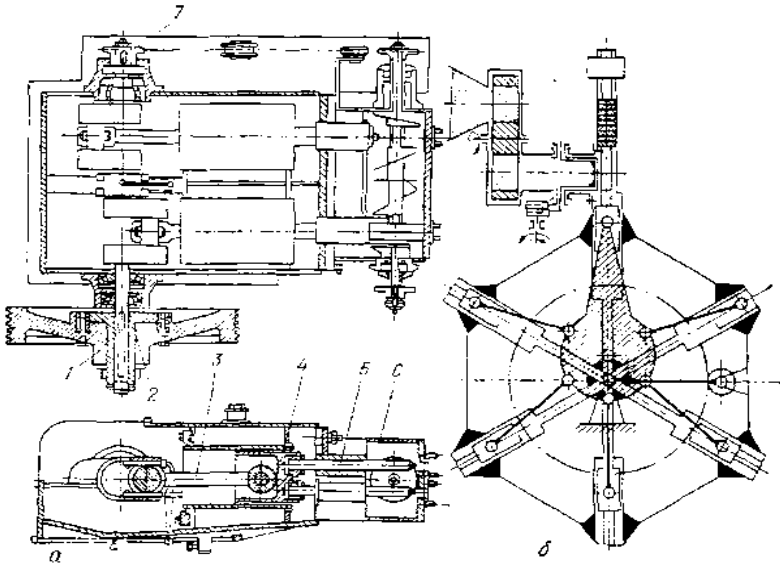


Рис. 1.32. Брикетные прессы штемпельного типа [62]:
 а – пресс ПБС-3: 1 – маховик; 2 – коленчатый вал; 3 – шатун; 4 – крейцкопф; 5 – штемпель; 6 – делительная камера;
 7 – звездочка привода шнека; б – схема звездообразного шестиштемпового прессы

Данный пресс позволяет получать брикеты без острых кромок, с галтелями по периферии, что уменьшает крошимость. Матрица имеет высокий коэффициент перфорации (0,7 - 0,75), что позволяет уменьшить суммарную площадь перемычек, а вместе с тем и затрату энергии на сталкивание материала с перемычек, в ячейки камеры прессования.

Вальцовый пресс-брикетировщик «Ланделл 450» с кольцевой матрицей выдавливающего типа (фирма «Ланделл», США) имеет неподвижную горизонтальную матрицу 1 (рис. 1.33, б) с 45 регулируемыми по сечению каналами.

Плотность брикетов регулируется поворотом боковых стенок прессовальных каналов с помощью пневмоцилиндров 5, расположенных на периферии матрицы между каналами 6. Для повышения

срока службы матрицы входная часть каналов оснащена сменными наконечниками 4. Каналы имеют сечения 32×32 мм. Пресс выдает брикеты плотностью 530 кг/м^3 при производительности 5 т/ч.

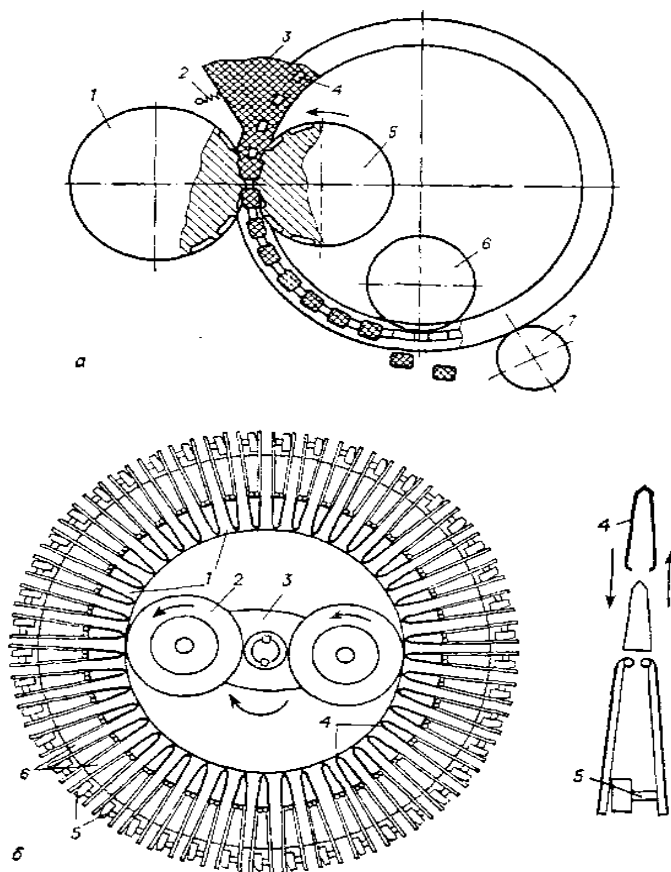


Рис.1.33. Схемы вальцовых прессов:

- а – формующего типа: 1 – опорный валец; 2 – вибропитатель; 3 – приемный бункер; 4 – матрица плавающего типа; 5 – валец ведущий прессующий; 6 – выталкиватель брикетов; 7 – ролик опорный;
- б – выдавливающего типа фирмы «Ланделл» (США): 1 – матрица; 2 – валец; 3 – водило; 4 – наконечник сменный; 5 – пневмоцилиндр; 6 – регулируемая часть каналов прессования

Брикетный пресс ОПК-2 конструкции ГСКВ по машинам для приготовления витаминизированных кормов (г. Вильнюс) представляет собой комплект оборудования для прессования кормов с номинальной производительностью 2 т/ч. Оборудование ОПК-2 предназначено для приготовления брикетов из кормовых смесей, включающих сечку из высушенных на агрегатах АВМ естественных и сеяных трав, измельченную солому, комбикорма и балансирующие добавки, а также для приготовления гранул из травяной муки или комбикормов, получаемых от агрегатов типа ОКЦ. В соответствии с назначением комплекты оборудования ОПК поставляются в трех модификациях: ОПК-2 – универсальные; ОПК-2-1 для гранулирования; ОПК-2-2 – для брикетирования кормов (рис. 1.34).

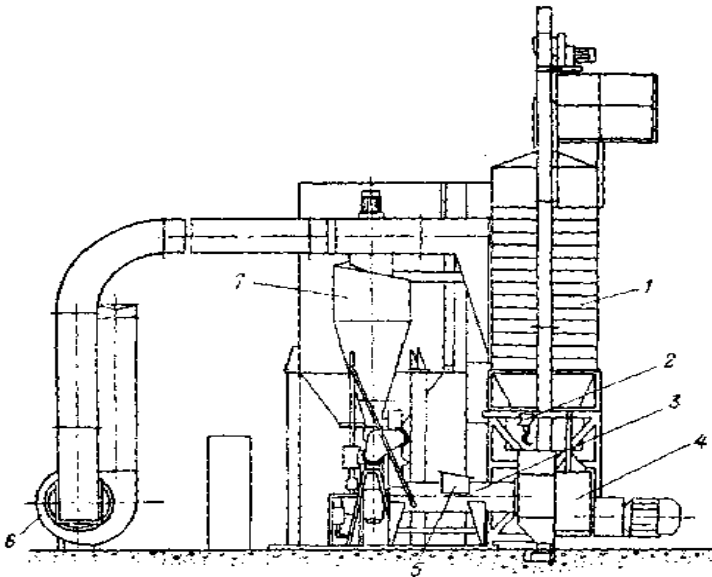


Рис.1.34. Оборудование ОПК-2 для прессования кормов:
1 – охладительная колонка; 2 – подъемник; 3 – питатель-смеситель;
4 – пресс; 5 – горловина для ввода грубых кормов; 6 – вентилятор
системы охлаждения и сортирования; 7 – накопительный бункер

Показатели работы брикетных прессов приведены в таблице 1.11.

Таблица 1.11

Показатели работы брикетных. прессов на брикетировании резки люцерны (по данным Киргизской МИС) [57]

Показатели	ПБС-3,0	ОПК-2	ПБС-3
Производительность, т/ч	2,8	2,5	2,9
Размер брикетов, мм	55×45	35×37	Ø70
Длина брикетов, мм	45	49	118
Плотность брикетов, кг/м ³	766	731	743
Крошимость, %	18-24	7-13	10-11
Фракция частиц 20 - 100 мм, %:			
в исходном материале	32	52	50
в брикетах	8	5	26
Нагрев брикетируемой массы, °С	78-87	68-70	47-50
Удельная энергоемкость, кДж/кг	96	115	61

Конструктивно винтовые питатели-уплотнители к штемпельным брикетным прессам могут быть выполнены в виде вертикальных цилиндрических винтовых конвейеров, например, фирмы FAR (Германия), или наклонных конических фирмы MELEN (Франция) с регулируемой подачей (рис. 1.35). Установка таких питателей-уплотнителей позволяет повысить производительность штемпельного пресса на приготовлении брикетов из стебельных кормов в 1,5 - 2 раза.

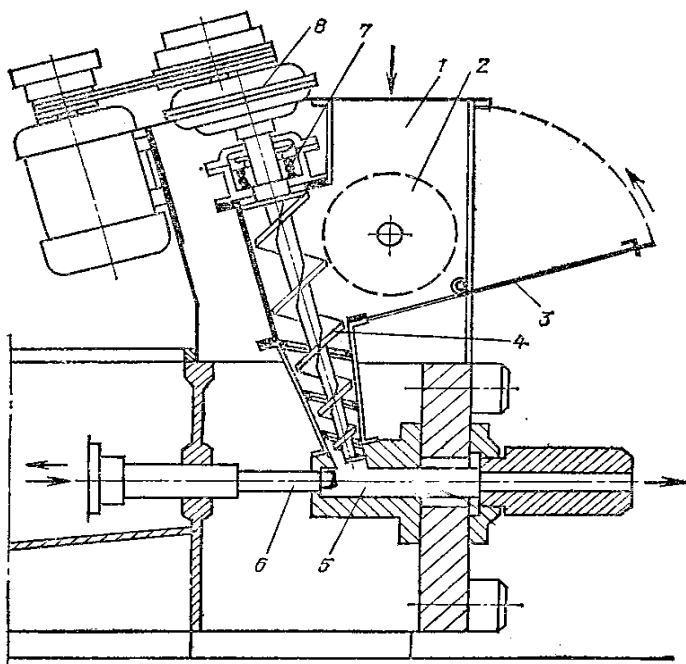


Рис. 1.35. Схема винтового питателя штампового прессы фирмы MELEN (Франция) [56]: 1 – загрузочная горловина; 2 – биту; 3 – откидная крышка; 4 – винтовой конвейер питателя; 5 – матрица; 6 – штамп; 7 – амортизатор; 8 – редуктор привода

1.4.5 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ УПЛОТНЕНИЯ КОРМОВ ПРЕССОВАНИЕМ

Технологический процесс уплотнения кормов сухим способом состоит из трех основных последовательно осуществляемых операций: кондиционирования сырья, прессования, подготовленных материалов и охлаждения готовых монолитов [62].

Кондиционирование исходных сыпучих материалов производится с целью направленного изменения их структурно-механических свойств (плотность, вязкость и др.) и физического состояния (влажность, температура) путем воздействия на частицы водой и теплом, а также введения связующих веществ (меласса,

жиры и др.), повышающих прочность гранул или брикетов. При этом кондиционирование как обязательную операцию, связанную с уплотнением, не следует отождествлять с операцией смешивания, которая нередко проводится перед Уплотнением с целью обогащения рациона питательными веществами.

Прессование, как основная операция в процессе, производится с целью получения из рассыпных материалов монолитов необходимой плотности и прочности путем формирования их в закрытой или открытой камере (канале) прессования под воздействием приложенного усилия.

Охлаждение готовых монолитов после выхода из пресса производится для того, чтобы привести их в тепловое равновесие с окружающей средой и снять внутренние остаточные напряжения. При этом влажность несколько понижается (на 1,5 - 3%) и становится равновесной, что обеспечивает прочность.

Кондиционирование включает операции: дозирование (подачу) сухой смеси кормов, воды, пара или связующих веществ и смешивание их между собой с целью равномерного распределения влаги, тепла и связующих в массе корма.

Обширные научные исследования по вопросам кондиционирования кормов выполнены на кафедре механизации животноводческих ферм (Д.И. Николаев, Ю. П. Гуров) и в проблемной лаборатории по гранулированию кормов Рязанского СХИ под руководством д.т.н., профессора В. Ф. Некрашевича.

Известны следующие способы кондиционирования кормов (рис. 1.36) водой (холодной или горячей), сухим паром, введением связующих веществ и комбинированным способом с электронагревом. В зависимости от принятого способа конструктивные схемы кондиционеров будут различными. Основное технологическое требование, предъявляемое к системе кондиционирования, – способствовать возникновению или усилить действие сил сцепления между частицами материала. Частица, попавшая в кондиционер-смеситель, за минимальный промежуток времени должна быть покрыта снаружи молекулами воды или связующих веществ. Проникновение воды внутрь частиц (адсорбция) нежелательно, так как при набухании их труднее прессовать.

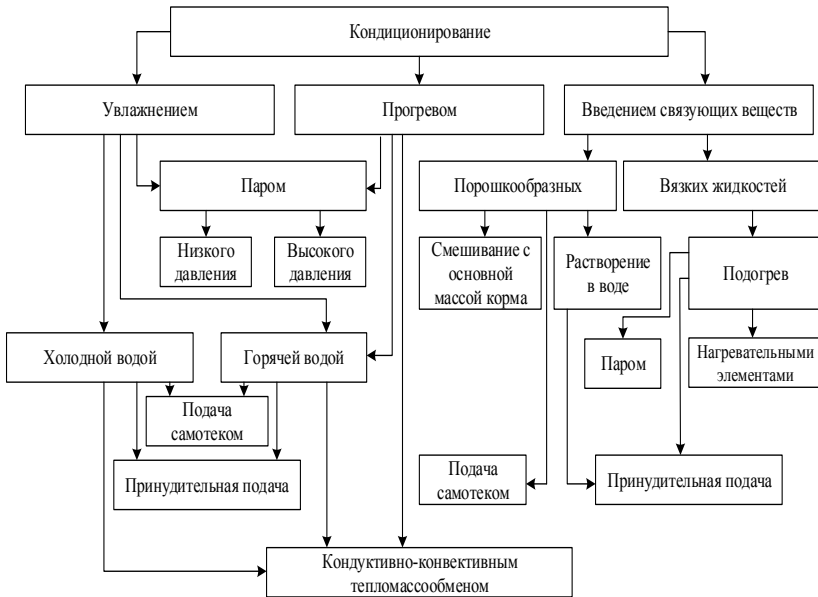


Рис.1.36. Классификация способов кондиционирования кормов перед гранулированием или брикетированием (по М.В. Орешкиной, В.Ф. Некрашевичу)

Для кондиционирования водой или паром применяют быст-роходные лопастные смесители, схемы которых представлены на рисунке 1.37. При вводе связующих (меласса, жиры и др.) конструкция смесителей несколько усложняется.

Горизонтальный лопастной кондиционер-смеситель (рис.1.37, а) с увлажнением корма холодной или горячей водой, применяемый на грануляторе ОГМ-0,8, не обеспечивает равномерное распределение влаги в массе корма; в результате процесс прес-сования требует повышенного расхода энергии.

На второй схеме (рис. 1.37, б) показан кондиционер-смеситель с увлажнением и прогревом корма паром, который подводится че-рез коллектор, расположенный сбоку. Такой смеситель установлен на грануляторе ОПМ-1,5. На третьей схеме (рис. 1.37, с) пар используется не только для увлажнения и непосредственного про-грева корма, но и для нагрева корпуса смесителя.

На рисунке 1.37, е кондиционирование увлажнением и прогревом паром дополнено коллектором с тремя форсунками для ввода подогретой мелассы. Такой кондиционер установлен на прессе марки Д-63 (ГДР) и прессе ДПБ, который производится отечественной промышленностью и применяется на комбикормовых заводах.

Горизонтальный лопастной кондиционер-смеситель, представленный на рисунке 1.37, д, предусматривает два варианта кондиционирования: увлажнением теплой водой и введением мелассы или увлажнением с прогревом корма паром и введением мелассы. Меласса вводится через форсунку, установленную в верхней части смесителя, и разбрызгивается паром, подаваемым в ту же форсунку.

На шестой схеме (рис. 1.37, е) показан вертикальный кондиционер- смеситель, называемый «котлом-смесителем» (гранулятор марки «Орбит» английской фирмы «Ричард сайзер»). Здесь пар используется для увлажнения и прогрева корма и для нагрева корпуса смесителя. Следует отметить, что такая конструкция сложна и требует надлежащего контроля за герметизацией паровой рубашки.

Сравнительный анализ приведенных схем показывает, что в настоящее время основным способом кондиционирования кормов перед прессованием является увлажнение водой или паром с последующим нагревом их и тщательным перемешиванием.

Применение пара позволяет повысить производительность прессов и получать монолиты более прочными. Однако для производства сухого пара давлением до 0,5 МПа требуется иметь специализированную котельную и штат дипломированных кочегаров. В силу этого пар для кондиционирования применяется лишь на предприятиях комбикормовой промышленности и крупны кормобрикетных заводах промышленных комплексов.

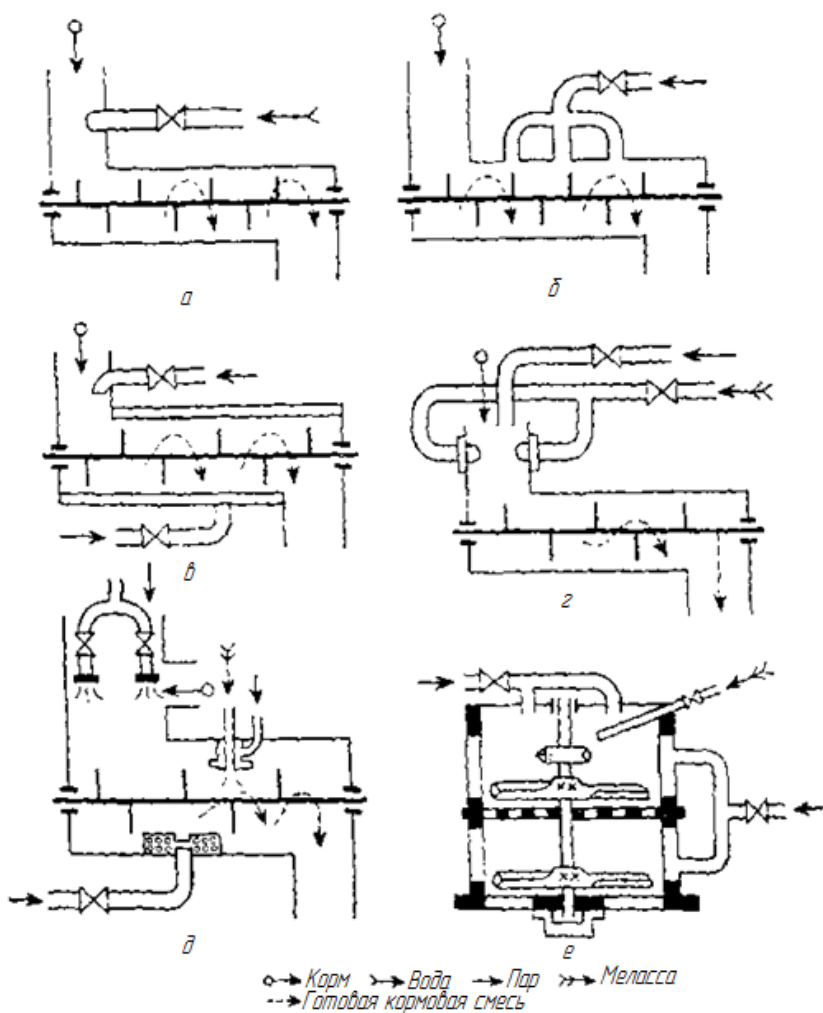


Рис.1.37. Конструктивно-технологические схемы кондиционеров-смесителей кормов [62]

В большинстве хозяйств и на фермах с ограниченным объемом производства уплотненных кормов кондиционирование ведут водой.

Установлено, что качественный эффект кондиционирования водой в значительной мере зависит от способа и места ввода жидкости в поток материала. Исследованиями Ю.П. Гурова установлено, что воду или раствор сантохина (при гранулировании травяной муки) необходимо вводить в тонко дисперсированном состоянии и под давлением порядка 300 - 600 кПа, создаваемым центробежными форсунками низкого давления с выходным отверстием $\varnothing$ 1 - 1,2 мм.

1.5 КРАТКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ К СКАРМЛИВАНИЮ ЖИВОТНЫМ И ПТИЦЕ

1.5.1 АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ КОРМОВ И РОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Физическая сущность прессования сводится к сближению и сцеплению частиц твердой фазы, т. е. к уплотнению и упрочению разрыхленной массы корма путем механического давления.

В качестве характеристики брикетируемости (гранулируемости) корма служит степень уплотнения $\lambda_{упл}$, представляющая собой отношение объема V порции материала до прессования к объему V_k полученного брикета:

$$\lambda_{упл} = V / V_k = h / h_k,$$

где h и h_k – высота стоя до и после прессования в камере постоянного сечения.

Если плотность рыхлого материала обозначить через ρ_0 (кг/м³), а плотность полученного монолита ρ (кг/м³), то степень уплотнения

$$\lambda_{упл} = M\rho / (\rho_0 M) = \rho / \rho_0$$

где M – масса брикета.

Для описания внутреннего механизма процесса уплотнения и раскрытия истинных причин, обуславливающих эффект сцепления частиц в монолите, существует несколько теорий – капиллярная, коллоидная, молекулярная и др.

Наибольшее признание получила молекулярная теория, разработанная В.М. Наумовичем на основе термодинамической теории прилипания Б.В. Дерягина, согласно которой основная причина соединения твердых частиц между собой усматривается в явлении прилипали. По этой теории наличие сил молекулярного притяжения между атомами и молекулами приводит к появлению сил между макроскопическими телами, аналогичных силам прилипания.

Повышение давления способствует упрочению монолита за счет устранения воздушных пор и пустот и увеличения площади контактов между частицами, что приводит к возрастанию сил молекулярного прилипания. При достижении телом беспористого состояния дальнейшее увеличение давления становится неэффективным.

Наличие коллоидов, пластополимеров в растительных материалах, высокая пористость делают их весьма чувствительными к присутствию в системе воды. При этом важнейшее значение имеет не только ее абсолютное количество (влажность), а состояние, в котором она находится. Классификация форм связи воды с веществом растительных материалов разработана академиком П.А. Ребиндером; она учитывает потребное количество энергии, расходуемой на процесс обезвоживания. Основные формы связи воды с материмом следующие: химическая, физико-химическая и механическая.

Механическая связь воды с материалом является наименее прочной и характеризуется неопределенностью количественных соотношений. Сюда относятся капиллярная влага и влага смачивания, обладающие свойствами обычной воды.

Способность капиллярно-пористых тел сорбировать влагу количественно характеризуется их максимальной гигроскопической влажностью, под которой принято понимать то количество воды, которое материал поглощает в атмосфере, насыщенной влагой. По исследованиям М.В. Порилы, максимальная гигроскопическая влажность травяной муки составляет 25 - 26%.

Из молекулярной теории уплотнения вытекает, что наиболее плотная упаковка частиц достигается при более тонком измельчении корма. Оно ведет к увеличению суммарной поверхности частиц и площади контактов, через которую проявляется действие сил сцепления.

В механическом отношении качество монолитов оценивается их прочностью.

Получение статистически достоверных характеристик механической прочности кормовых монолитов связано с необходимостью проведения сложных и многочисленных испытаний поэтому ГОСТ 18691-73 на травяную муку ограничивается характеристикой (прочности), основанной на технологических пробах.

Прочность гранул травяной муки определяют на приборе, представляющем собой коробку в виде параллелепипеда размерами 300×300×125 мм (рис.1.38) [62]. По диагонали одной из больших стенок укреплена пластина (225×50 мм) в качестве стабилизатора. В коробку загружается навеска чистых гранул массой 0,5 кг и вращается в течение 10 мин с частотой вращения 50 мин⁻¹. После этого масса просеивается через сито с отверстиями 0,8 диаметра гранулы; полученный остаток взвешивается. Показатель прочности Pr (%) определяется по формуле

$$Pr = (M_{np} / M_{ep}) \cdot 100,$$

где M_{np} – масса гранул после просеивания, кг;

M_{ep} – масса гранул до испытания, кг.

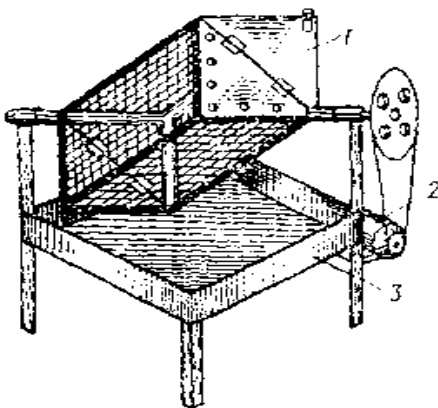


Рис.1.38. Прибор для определения прочности брикетов:

1 – коробка с сетчатыми стенками; 2 – привод;

3 – стол с поддоном для сбора крошки

За окончательный результат испытаний принимается среднее арифметическое из трех основных повторностей. В соответствии с требованиями стандарта прочность гранул должна быть в пределах 80 - 95%. Технологическая характеристика крошимости Kp определяется по разности $Kp = 100 - Pr$ и представляет собой относительное содержание массы разрушенных гранул в процентах.

Для определения прочности брикетов объем параллелепипеда по ГОСТу 18691-73 оказывается недостаточным, поэтому применяют аналогичный прибор (рисунок 1.38), представляющий собой параллелепипед размерами 300×300×450 мм, изготовленный из уголка 25×25 мм и обтянутый сеткой с ячейками 12,5×12,5 мм. Порция из 10 брикетов примерно одинаковой массы (допускаются отклонения $\pm 10\%$ от средней массы) загружается в прибор и прокручивается в течение 3 мин с частотой вращения 13 мин⁻¹. После испытания взвешиванию подлежат все куски, масса которых составляет 20% и более от средней начальной массы брикета.

Прочность брикетов должна быть не ниже 80 - 90%.

Исследованиями установлено, что прочность кормовых монолитов тесно связана с их плотностью ρ и приближенно следует экспоненциальной зависимости (по Ю.В. Подколызину):

$$Pr = 98,5 - 44 \cdot 10^3 \cdot e^{-0,011\rho}.$$

Уменьшение плотности брикетов ниже 800 кг/м³ приводит к резкому снижению прочности. Наименьшей прочностью обладают брикеты из злаковых трав или из кормосмеси с присутствием соломенной сечки. Для таких брикетов оптимальной считается плотность 720 - 900 кг/м³, если в кормовую смесь не вводятся связующие компоненты (меласса, жир и др.) [62].

Влажность уплотняемого материала в значительной мере определяет как качество получаемых монолитов, так и экономичность режимов работы оборудования.

В зависимости от физического состояния вода может выполнять роль пластификатора и связующего вещества, способствующего более тесному сближению частиц и образованию соответствующих связей. Наряду с этим, в других условиях вода может выполнять роль расклинивающего тела и противодействовать

уплотнению материала, делая его более упругим.

В.Ф. Некрашевичем установлено, что зона оптимальных технологических режимов лежит в пределах влажности стебельных кормов 15 - 18%. При увлажнении частиц корма свыше 18% уменьшается плотность и прочность монолитов (показатель крошимости K_p растет). Частицы корма набухают, увеличивается объем кормовой массы. Частицы воды, находящиеся между частицами корма, при уплотнении мешают их сближению и действуют, как клинья. Это приводит к увеличению энергоемкости процесса прессования и ухудшению качества продукта.

Технология производства гранулированной травяной муки и брикетированных кормовых смесей предусматривает сушку зеленой массы до 12 - 14% и последующее увлажнение муки или сечки до 16 - 18%, проводимое при кондиционировании. Полученные монолиты после прессования подлежат охлаждению, в процессе которого часть воды испаряется (до 2 - 3%). Снижение влажности спрессованного корма происходит более интенсивно, если водяная пленка расположена на наружной поверхности частиц.

При уплотнении материала часть механической работы, затрачиваемой на его деформацию и перемещение вдоль канала, переходит в теплоту. Образующаяся теплота расходуется на нагрев материала и матрицы. Ю.Ф. Баранов изучавший тепловой режим пресса-гранулятора ОГМ-0,8, показал, что в процессе гранулирования травяной муки примерно половина образующейся теплоты уходит с гранулами, а остальная идет на нагрев оборудования (главным образом матрицы) и воздуха.

При увеличении температуры прессования наблюдаются уменьшение энергоемкости процесса, увеличение производительности оборудования и уменьшение износа матрицы. Поэтому технологии кондиционирования сырья перед прессованием должно быть уделено большое внимание.

Влага, адсорбированная на поверхности твердых частиц, резко снижает свою вязкость η_v под влиянием температуры $T(K)$, согласно уравнению $\eta_v = 0,01905T^{-0,95}$. При комнатной температуре вязкость воды равна $\eta_v \approx 0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

При температуре свыше 300 K повышение давления также

способствует уменьшению вязкости воды, в результате уплотняемый материал становится более пластичным и легче поддается деформации.

Полученные монолиты должны охлаждаться сразу же после отделения матрицы. Охлаждение способствует сокращению периода упругого последействия, а также завершению релаксационных процессов внутри монолита и повышению их прочности. В результате охлаждения влажность гранул снижается на 1,5 - 3%, и они становятся более прочными. Следует отметить, что кратковременный нагрев травяной муки в процессе гранулирования (до указанных температур) не приводит к потере каротина.

Для тепловых расчетов процесса прессования необходимо иметь численные значения характеристик теплофизических свойств, которые могут быть найдены только экспериментальным путем. К основным теплофизическим характеристикам относятся: коэффициенты теплопроводности λ , температуропроводности α и удельная теплоемкость c . В ходе процесса прессования эти характеристики в значительной степени меняются в зависимости от влажности, температуры и приложенного давления.

Экспериментальное определение теплофизических характеристик проводили Ю.Ф. Баранов, Б.Э. Коппель и Н. В. Хилков и ряд других ученых.

Время, потребное на формирование монолитов, наряду с конструктивными параметрами матрицы и ее кинематическим режимом, определяют пропускную способность матрицы, или производительность пресса, которую в первом приближении определяют по формуле

$$q = S_0 L \rho z_0 \beta / t_{обp}$$

где q – секундная производительность, или подача, кг/с;

S_0 – площадь поперечного сечения канала, м²;

L – длина канала, м;

ρ – плотность монолита, кг/м³;

z_0 – число каналов в матрице;

β – коэффициент использования живого сечения матрицы;

$t_{обp}$ – время обработки, т. е. пребывания единичной порции (слоя) материала в канале прессования, с.

Анализ формулы показывает, что пропускная способность матрицы прямо пропорциональна площади поперечного сечения канала, плотности получаемых монолитов и числу каналов в матрице и обратно пропорциональна времени пребывания монолита в канале, или времени обработки.

Размеры и плотность брикетов или гранул задаются зоотехническими требованиями. Число отверстий лимитируется условиями прочности и технологией изготовления матрицы. Минимально необходимое время пребывания материала в канале определяется его свойствами, для того или иного вида корма, а также технологии кондиционирования оно может быть принято постоянным. Длина канала непосредственно на производительность не влияет, и ее следует рассматривать в связи со временем обработки.

Отношение $L/t_{обр}$ представляет собой среднюю скорость продвижения монолита по каналу. При $t_{обр} = \text{const}$ с увеличением длины канала увеличивается скорость продвижения монолита. Как уже отмечалось ранее, длина канала служит регулятором плотности монолита, поэтому в разных конструкциях прессов одинакового назначения она меняется в узких пределах.

Помимо производительности пресса, важнейшее значение имеет эффективность его работы, оцениваемая показателями энергоемкости процесса и тесно связанная с его кинематическим режимом.

Для оценки влияния частоты вращения матрицы на производительность определена величина подачи материала, приходящаяся на один оборот матрицы $q_{об} = Q / n_c$, где n_c – частота вращения, равная $n_c = \omega / (2\pi) = 0,16\omega$, что дает:

$$q_{об} = S_0 L \rho z_0 \beta / (0,16\omega \cdot t_{обр}).$$

Подача, приходящаяся на один оборот матрицы и один канал, равна:

$$q = S_0 L \rho / (0,16\omega \cdot t_{обр}).$$

Из полученного выражения следует, что при увеличении частоты вращения матрицы и сохранении величины подачи материала сокращается время пребывания его в канале, что нежелательно, так как ведет к ухудшению качества монолитов.

Если время обработки сохранять постоянным, исходя из требований прочности монолита, то с увеличением частоты вращения необходимо уменьшить величину единичной подачи, т. е. подачи на один оборот матрицы и один канал. В этом случае общая производительность прессы будет увеличиваться прямо пропорционально частоте вращения, что подтверждают экспериментальные данные.

Подколызин Ю.В. определяет частоту вращения матрицы, исходя из следующих условий.

Минимальная частота вращения определяется с учетом наилучших условий захвата материала и обеспечения бесперебойной подачи его к рабочим органам. Матрица должна иметь угловую скорость достаточную, чтобы материал удерживался на внутренней поверхности вертикальной кольцевой матрицы. В этом случае показатель кинематического режима должен быть равен

$$K = \omega^2 R_{\text{вн}} / g = 1 / \sin \varphi ,$$

где g – ускорение силы тяжести, м/с²;

$R_{\text{вн}}$ – радиус матрицы, м;

φ – угол трения, рад.

Из этой формулы следует, что

$$n_{\text{min}} = \sqrt{g / (R_{\text{вн}} \sin \varphi)} / 2\pi$$

Ограничение частоты вращения матрицы сверху обусловлено прочностью горячих монолитов, выходящих из канала. На них действуют растягивающие напряжения от центробежной силы. С учетом этого условия определена максимальная частота вращения

$$n_{\text{max}} = \sqrt{\sigma / (b R_{\text{н}} d \rho)} / 2\pi$$

где σ – допускаемые напряжения разрыва (для гранул из травяной муки $\sigma = 1300 - 1700$ Па);

b – отношение длины монолита к его диаметру (для гранул $b = 1,5 - 2$);

$R_{\text{н}}$ – наружный радиус матрицы, м;

d – диаметр гранул, м.

Фарбман Г.Я. рекомендует при определении частоты вращения матрицы учитывать воздухопроницаемость материала, чтобы исключить возможность выдувания его из зоны захвата при быстром уменьшении объема сжимаемого материала. Это замечание наиболее существенно для травяной муки, частички которой имеют малую массу и скорость витания.

Для брикетировщиков с неподвижной матрицей отпадают ограничения по напряжениям, а также частоты вращения рабочих органов по воздухопроницаемости.

Технологические и экономические преимущества процессов гранулирования и брикетирования проявляются при условиях строгого соблюдения режимов уплотнения и соответствующих объемов производства, в связи с чем целесообразнее линии гранулирования и брикетирования оборудовать на комбикормовых заводах, где представляется возможным обеспечить достаточную загрузку, требуемые режимы и строгий контроль за состоянием масс в процессе производства. Один из важных показателей существующих процессов гранулирования зерновых продуктов – декстринизация крахмала – по величине существенно отличается: при гранулировании с паром составляет до 40%, без пара – 14%, лучше проходит в кормах тонкого помола при влажности их, близкой к 17%, и температуре 60 - 90 °С [57].

В соответствии с имеющимся ведомственным стандартом – ОСТ 70.19.5-83 определяют технологические показатели прессового оборудования – крошимость гранул и брикетов, плотность, коэффициент перетирания, влажность, насыпную плотность и фракционный состав – известными методами. Необходимость в определении прочности гранул подтверждена опытами Рязанского сельскохозяйственного института и Волгоградского молочного института. Установлены оптимальные значения этого показателя для различных видов животных с точки зрения их поедания.

Прочность брикетов характеризуется предельным напряжением среза, гранул – сжатия. Оптимальная прочность брикетов для коров находится в пределах 1,25 - 1,4 МПа, гранул для овец – 1,9 - 2, для свиней – 0,6 - 0,62 МПа. При скармливании брикетов оптимальной прочности продуктивность их была на 17% выше, а

расход кормов на 3,9% ниже по сравнению с использованием брикетов повышенной прочности (2,2 МПа). Обследованиями хозяйств установлено, что 20% приготовленных на ОПК-2 брикетов превышали оптимальную прочность.

Крошимость гранул снижается на 30 - 35%, а прочность возрастает в 1,4 - 1,6 раза при гидротермическом кондиционировании гранулируемых смесей по сравнению с холодной водой. Снижению крошимости способствует изготовление гранул длиной, равной 1,5 - 2,5 диаметра, а брикетов – с обработанными заусенцами (радиус галтели 0,1 – 0,15 диаметра брикета).

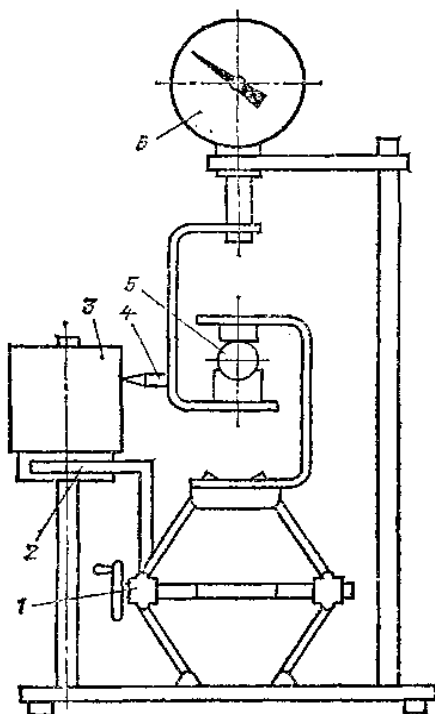


Рис. 1.39. Схема прибора для определения прочности гранул и брикетов: 1 – нагружающее устройство; 2 – реечная передача; 3, 4 – самописец; 5 – испытываемый образец; 6 – динамометр

Во ВНИИМОЖ [56] разработан специальный прибор для определения прочности гранул и брикетов (рис. 1.39), на котором испытываемый образец подвергают сжатию. На ленте самописца регистрируется усилие сопротивления образца в функции величины деформации, вплоть до разрушения. Полученные максимальные значения усилий на диаграмме обрабатывают известными методами математической статистики. Темп роста сопротивления указывает на характер деформации. Прибор тарируют, сопоставляя показания рабочего и образцового манометров, которые помещали вместо образца. Затраты времени на испытание одного образца составили около 40 с.

В процессе испытания грануляторов установлено, что прочность полнорационных гранул диаметром 10 мм из измельченной соломы (30%), дерти зерносмеси (60%) и добавок (10%), получаемых на грануляторе ОГМ-1,5, оказалась в пределах 0,4 - 1,8 МПа, в зависимости от влажности и температурного режима. Прочность брикетов, уплотненных на прессе Б8232, оказалась 0,12 - 0,9 МПа (соломы – 40%, дерти зерносмеси – 60%).

До последнего времени не определялся показатель распределения компонентов в гранулах и брикетах. Показатель этот можно определять по распределению контрольного компонента – поваренной соли в 15 - 20% пробах, отобранных через равные промежутки времени из потока гранул или брикетов. Поваренную соль вводят с кондиционируемым раствором из расчета 1% к массе смеси; для анализа отбирают пробы массой 5 г при гранулировании и 100 г при брикетировании [56].

1.5.2 АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СЫРЬЕВЫХ ПРОДУКТОВ

В результате механического измельчения различных материалов образуется множество мелких частиц с сильно развитой поверхностью. Поэтому измельчение рассматривается как процесс производства (приращения) поверхности частиц корма (зерна), т.е. образование новых поверхностей составляет основное содержание всякого процесса измельчения.

Наиболее известными гипотезами, устанавливающими такие зависимости, являются теория дробления Риттингера и Кирпичева-Кика [62]. Теория Риттингера (1867 г.) устанавливает взаимосвязь между работой – A , затраченной на измельчение материала и вновь образованной при этом поверхностью частиц – ΔS , т.е.

$$A_1 = \kappa \cdot \Delta S$$

где κ – коэффициент пропорциональности, Н/м.

Теория Кирпичева-Кика устанавливает зависимость между расходуемой на измельчение работой A и объемом V (массой m) разрушаемых тел.

В 1874 г. профессор В.Л. Кирпичев впервые сформулировал закон подобия для тел, находящихся в упругом состоянии, согласно которому

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

В 1885 г. профессором Киком была опубликована статья, в которой закон подобия Кирпичева был распространен на область пластических деформаций хрупких материалов, что вполне допустимо. Согласно ей работа, затрачиваемая на измельчение равна

$$A = \frac{\sigma^2 \cdot V}{2E}$$

где σ – напряжение, возникающее при разрушении материала, Н/м²;

V – объем измельчаемой частицы, м³;

E – модуль упругости, Н/м².

Учитывая, что физико-механические свойства конкретного материала являются величиной постоянной, закон Кирпичева - Кика может быть представлен в следующем виде

$$A = \kappa \cdot V$$

Ввиду того, что κ для данного материала является величиной постоянной,

$$A = \kappa_1 \cdot m$$

Общим недостатком рассмотренных теорий является то, что каждая из них учитывает лишь часть затрачиваемой в процессе измельчения энергии: первая – на непосредственное образование

новых поверхностей, возникающих за пределом упругости (пластичности); вторая – на упругую деформацию измельчаемого материала. Поэтому в последующем было распространено мнение, что каждая из гипотез справедлива для различных стадий измельчения: теория Риттингера не учитывает затрат энергии на упругую деформацию материала и поэтому справедлива для процесса помола, где происходит интенсивное образование новых поверхностей; наоборот теория Кирпичева-Кика предполагает, что основная часть работы затрачивается на упругую деформацию материала, происходящую при дроблении.

П.А. Ребиндер предложил формулу расхода энергии при измельчении материала, которая объединяет рассмотренные выше теории

$$A_1 = \kappa_1 \cdot \Delta V + \kappa_2 \cdot \Delta S$$

где κ_1 и κ_2 – коэффициенты пропорциональности;

ΔV – объем деформированного материала, м³;

ΔS – вновь образованная поверхность, м³.

Недостатком данной формулы является отсутствие методики определения коэффициентов κ_1 и κ_2 .

В последствии Ф. Бонд выдвинул гипотезу процесса измельчения, который математически объединил теорию Риттингера и Кирпичева - Кика. Согласно Ф. Бонду работа, необходимая для измельчения массы m со средней крупностью D_{cp} до средней крупности продукта d_{cp} , выражается формулой

$$A = \kappa_\delta \cdot \left(\sqrt{d_{cp}} - \frac{1}{D_{cp}} \right) \cdot m,$$

где κ_δ – коэффициент пропорциональности.

Позднее зависимость Ф. Бонда была преобразована А.К. Рундквистом

$$A = \frac{\kappa_p \cdot i^{n-1} \cdot m}{D_{cp}^{n-1}}.$$

Подставляя в эту зависимость значения n , равные 2; 1,5 и 1

можно получить выражения законов Риттингера, Бонда и Кирпичева - Кика соответственно.

Анализ рассмотренных гипотез показывает, что ни одна из них не является универсальной: одни учитывают расход энергии на преодоление упругих деформаций в материале (гипотеза Кирпичева – Кика), другие увязывают расход энергии с конечными результатами процесса – степенью измельчения (гипотезы Риттингера и Бонда). Условностью рассмотренных гипотез является исследование процесса разрушения тел правильной геометрической формы под действием равномерно распределенных сжимающих нагрузок. Однако, как показывают многочисленные исследования процесса измельчения, в дробильно-помольных машинах разрушение материала происходит под действием сосредоточенных нагрузок, что значительно меняет ход процесса. В связи с этим, непосредственное использование гипотез измельчения для технико-экономического и конструктивного расчета дробильно-помольных машин затруднено и требуют поправочных коэффициентов, получаемых, как правило, экспериментально.

Основываясь на законе измельчения академика П.А. Ребиндера, профессор С.В. Мельников предложил эмпирическую рабочую формулу для определения затрат работы на измельчение. С учетом принятых допущений закона П.А. Ребиндера можно представить в следующем виде

$$A_t + A_v + A_s; A_{изм} = C_{cp} + A_m,$$

где A_t – теоретические затраты работы на процесс измельчения, Дж/кг;

$A_{изм}$ – полные (расчетные) затраты работы на измельчение с учетом влияния способа измельчения и конструкции измельчителя;

$C_{пр}$ – коэффициент, определяемый опытным путем.

Формула Мельникова С.В., для определения затрат работы (энергии) на измельчение имеет следующий вид

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

Такое преобразование дает возможность определять значения коэффициентов C_1 и C_2 по результатам производственных испытаний измельчителе любых типов и использовать величину

$A_{изм}$ в качестве критерия энергоемкости при сравнительной оценке разных машин или выборе эффективных режимов работы.

Формула Мельникова С.В. является универсальной, так как она позволяет оценить: любой процесс измельчения (дробление, истирание, резание) с позиции современной теории измельчения. Такой подход имеет особое значение для и следования рабочего процесса универсальных дробилок и других измельчителей, которые производят многократное воздействие разными рабочими органами на материал.

С точки зрения зоотехнических требований к процессу измельчения кормов устанавливают требуемые размеры или крупность частиц. Однако, чтобы дать энергетическую оценку процессов измельчения, этого недостаточно. Необходимо знать степень измельчения материалов.

Степень измельчения это – отношение средних размеров D , L кусков материала до измельчения к средним размерам частиц продукта после измельчения (d , l), т.е.

$$\lambda = \frac{D}{d} = \frac{L}{l}.$$

Оценку развитости поверхности сыпучих материалов (в том числе и зерна принято давать по величине удельной поверхности, представляющей собой суммарную поверхность всех частиц, заключенных в единице массы или объема ($\text{м}^2/\text{кг}$ или $\text{м}^2/\text{м}^3$) т.е.

$$S_{уд} = \frac{\sum S}{M} = \frac{\sum S}{V}, \text{ м}^2/\text{кг}, \text{ м}^2/\text{м}^3.$$

В связи с тем, что удельная поверхность при дроблении материала увеличивается, отношение $S_{уд.кон}$ к $S_{уд.нач}$ численно равно степени измельчения, т.е.

$$\frac{S_{уд.кон}}{S_{уд.нач}} = \lambda.$$

Следует также отметить работы В. Вейбула, Т.А. Конторовой и В.И. Френкеля, относящиеся к статической теории прочно-

сти и дающие возможность учитывать влияние размеров разрушаемых тел на энергоемкость процесса измельчения. Наиболее простой вид имеет формула В.Вейбула Напряжения при хрупком разрушении материалов подчиняются следующему; отношению

$$\sigma_{px} = \frac{A}{V^{\frac{1}{m}}}$$

где σ_{px} – разрушающее напряжение;
 V – объем разрушаемого тела;
 A и m – постоянные величины.

Данная формула описывает процесс однократного деформирования тела и дает в этом случае как количественное, так и качественное соотношение между результатом процесса и затраченной энергией. Для процесса разрушения с многократной деформацией материала, с учетом предыдущих выражений формула Ребиндера преобразуется к виду

$$A = \sum_1^x \sum_1^{y_i} \left(kv_{ij} \frac{A_{ij}^2}{2E_{ij}V_{ij} \left(\frac{2}{m_{ij}} + 1 \right)} + \alpha_{нов\,ij} \cdot \Delta S_{ij} \right),$$

где V_{ij} – объем i -ой частицы, разрушаемой при i -ой деформации;

y_i – число частиц при i -ой деформации;

x – число деформаций.

Учитывая, что $x = f(V; y_1; d_{cp})$, где V – начальный объем частиц; d_{cp} – заданный размер частиц после измельчения, а также и то, что величина

$$\sum_1^{y_i} \Delta S_{ij} = \Delta S_i$$

имеет наименьшее значение при $V_{ij} = const$, на основании этого выражения можно изменить схему процесса измельчения, обеспечивающую минимальные затраты энергии на получение

продукта с заданным размером частиц $d_{ср}$.

Минимальный расход энергии будет иметь место в таком процессе измельчения, в котором достигается максимальная концентрация напряжений по плоскостям раздела, размер образующихся частиц одинаковый и равен заданному, а число деформаций стремится к единице.

В процессе работы кормоприготовительных машин, корма также подвергаются не только различным воздействиям рабочих органов, но и влиянию окружающей среды (влажность, давление, температура воздуха и др.). В результате изменяются их механические структуры, физические и химические свойства. Среди целенаправленных воздействий рабочих органов преобладают механические, при которых изменяются форма, размеры, свойства и физические состояния перерабатываемых кормов.

Впервые рабочие диаграммы сжатия в координатах усилие – деформация для зерен фуражных культур были получены профессором С.В. Мельниковым. На их основе были построены диаграммы напряжений в координатах истинное напряжение – относительная деформация.

Прочность единичных зерен оценивалось величиной разрушающего напряжения ($\sigma_{разр}$ (Па), равного временному сопротивлению при сжатии. Установлено, что из зерновых культур наибольшей прочностью обладает ячмень. На этом основании данная фуражная культура может быть принята за эталон для сравнительной оценки. Также установлено, что показатели прочности зерновых кормов устойчиво следуют нормальному закону распределения.

При этом диаграммы сжатия позволяют получить численные значения показателей прочности и других свойств (пластичность, хрупкость, вязкость).

Применительно к технологии измельчения кормов наибольший интерес представляют показатели прочности, полученные в условиях динамически напряжений с учетом скорости деформирования.

Изучая явление удара упругих тел, академик В.П. Горячкин обращает внимание на то, что при не вполне упругом ударе часть

энергии затрачивается на пластические деформации и разрушение материала, поэтому фаза отталкивания оказывается меньше фазы сближения.

По данным наблюдений авторов общее время сохранения (двух фаз) для зерен ячменя (влажность 13–15%) варьирует в пределах $4,8 \cdot 10^{-5}$ – $7,3 \cdot 10^{-5}$ и в среднем составляет $6,25 \cdot 10^{-5}$ с.

Это время сопоставимо с продолжительностью соударений металлических шаров. Динамический предел прочности в среднем оказался равным $\sigma_{\text{до}} = 12,73$ МПа при варьировании 11,5–13,8 МПа. Следует отметить относительную стабильность значений $\sigma_{\text{до}}$, отмечаемую коэффициентом вариации $y = 4,7\%$ (против 14,6%) при статических испытаниях.

Свойство большинства материалов повышать свою прочность с увеличением скорости нагружения в равной мере при-
суще и зерну.

На вопрос о том, при каких скоростях однократного удара произойдет обязательное разрушение зерна, отвечают данные эксперимента, проведенного на баллистическом маятнике. В результате многократных опытов установлено, что при скорости удара 26,1 м/с разрушается только 18% зерен ячменя, при скорости 65,5 м/с – 65% и лишь при скоростях удара 100 – 114 м/с происходит гарантированное разрушение всех зерен.

Исследованию рабочего процесса дробилок посвящен ряд диссертационных работ. Из этих работ следует отметить докторскую диссертацию В.В. Елисеева (1970) и ряд кандидатских: Ф.Г. Плохова (1966), В.И. Грицаенко (1967), Н.С. Дородлева (1987), Э.А. Даниловой (1971), В.И. Горных (1972), Р.С. Тирацуня (1972), А.Г. Филиповой (1975) и др.

Дробление зерна – сложный динамический процесс и, несмотря на множество исследований, проведенных в данном направлении, процесс измельчения термообработанного соевого зерна в комбинациях с пшеницей, посредством вихревой мельницы, до настоящего времени не изучался.

Многие авторы работ, по изучению процесса измельчения пытались найти ответ на вопрос: при какой скорости удара происходит, разрушение (дроблении зерна). При этом они пытались

использовать волновую теорию, разработанную Г.Р. Герцом и В.П. Горячкиным. В результате они получали данные, которые не подтверждались опытными исследованиями, в связи с тем, что авторы этих исследований механически перенесли зависимости для стержней, полученные Г.Р. Герцем и В.П. Горячкиным на зерна.

В соответствии с теорией клина, разработанной применительно к резанию сельскохозяйственных материалов (почва, корнеплоды и др.) академиком В.П. Горячкиным, процесс образования стружки при резании протекает следующим образом. В первый момент нож с определенным углом заточки, внедряясь в материал, под действием силы сжимает стружку на своем пути. Затем сила достигает определенной величины, происходит скалывание элемента стружки длиной, которая всегда больше пути сжатия. После этого процесс повторяется. Исследованиями установлено, что линия скалывания элементов стружки опережает лезвие клина и сначала углубляется в толщу материала, а затем направляется вверх. В результате того, что линии скалывания не доходят до поверхности, стружка остается связанной. Длина элементов стружки увеличивается с увеличением толщины стружки и угла заточки ножа, и, почти не зависит от скорости резания и толщины лезвия ножа.

При резании плодов ножом, как клином, усилие резания изменяется: в начале перед резанием, то есть до начала внедрения ножа в материал, оно равно нулю, а по мере продвижения ножа на пути сжатия стружки усилие достигает максимума, и в момент скалывания падает до нуля, после чего процесс повторяется.

Величина общего усилия резания (сопротивления резанию) определяется на основе рациональной формулы В.П. Горячкина [35].

Применительно к случаю резания корнеклубнеплодов первый член рациональной формулы отражает сопротивление резанию лезвием P_0 , второй член - сопротивление деформации отрезаемого слоя, а также трения на передней и задней гранях ножа P_g , третий член - усилие, затраченное на отбрасывание стружки P_v , то есть

$$P = P_0 + P_g + P_v.$$

Сопротивление резанию зависит главным образом от механической прочности материала, толщины лезвия ножа, толщины отрезаемой стружки и, в небольшой степени, от угла заточки (угла резания α).

Второй член P_g зависит от физико-химических свойств измельчаемого материала и качества рабочих поверхностей ножа.

Усилие P_v повышается с увеличением скорости резания.

Для определения численных значений всех трех членов рациональной формулы Г.И. Новиков на основании результатов экспериментальных исследований, предложил эмпирические формулы, но они очень громоздки. Поэтому при расчетах величину удельного сопротивления резанию q_0 принимают для корнеклубнеплодов в пределах 1480 - 1960 Н на 1 м длины разреза.

Исследования вертикально-дисковых, горизонтально-дисковых и барабанных корнерезок показывают, что основными факторами, обуславливающими рабочий процесс этих машин, являются: частота вращения режущего аппарата; площадь, описываемая ножами за один оборот; количество ножей; угол наклона и форма питательной воронки.

Взаимосвязь между основными параметрами корнерезок с движущимися ножами выражается уравнением производительности:

$$Q = 60Vn\gamma,$$

где Q – производительность корнерезок, кг/ч;

V – объем продукта срезаемого ножами за один оборот диска или барабана, м³;

n – частота вращения ножевого аппарата, об/мин;

γ – насыпная масса плодов, кг/м³.

Значение V для каждого вида корнерезок и вида применяемых ножей различно.

В.С. Горюшинский [34], исследуя энергетику процесса измельчения, отмечает, что при измельчении ножом в зоне контакта отмечаются появление «уплотненного ядра», которое будет иметь форму клина, при этом растягивающие напряжения возни-

кают в одной плоскости. Таким образом, постоянное сопротивление резанию P_0 , по результатам исследований В.С. Горюшинского, обусловлено возникновением перед разрезающим органом напряжений растяжения, зависящих от временного на расстояние разрушаемого материала $\sigma_{вр}$, и будет для него постоянным

$$P_0 = \sigma_{вр} l e,$$

где P_0 – усилие на ноже, Н; l – длина ножа, м; e – расстояние, на котором при разрушении материала перед опережающей трещиной развивается предельное напряжение, м.

Для увеличения качества измельчения Б.В. Кононов и Л.Н. Ромазанов» [49] предложили осуществлять процесс измельчения с помощью барабана с продольными и поперечными ножами. Они отмечают, что при использовании этого рабочего органа производительность по сравнению с обычным барабанным измельчителем увеличивается в 1,5 - 2 раза, лучше качество измельчения и меньше удельная энерго- и металлоемкость.

А.В. Титенок [100] предлагает для улучшения процесса измельчения применять пакет ножей, установленных поперечно к направлению подачи с некоторым углом к рабочей поверхности транспортера-питателя. Автор отмечает, что установка поперечных режущих элементов дает возможность получить измельченные частицы, размеры которых соответствуют зоотехническим требованиям на корм крупному рогатому скоту до 80,5%, при минимальных потерях питательных веществ до 0,1%.

1.5.3 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СМЕСЕЙ

Процесс смешивания различных комовых компонентов – один из самых сложных и малоизученных. Режимы смешивания, применяемые на практике, базируются в основном на экспериментальных данных, полученных на конкретных смесительных установках и в определенных условиях.

В результате процесса смешивания кормов в идеальном случае должна получаться такая смесь, когда каждая частичка одного компонента как можно более ближе примыкает к частице другого в количестве, определенном заданным соотношением. Если идеальным смешиванием считать 100%-ое, то любое другое можно выражать в процентах к полному.

Однако такую идеальную 100%-ную смесь практически получить невозможно, поэтому, чтобы выяснить насколько качественно перемешаны кормовые компоненты, необходим в первую очередь критерий оценки качества смешивания. Этот показатель должен быть по возможности более тесно связан с характеристикой получаемой смеси и не зависеть от характера перемешивания.

Степень однородности смеси принято определять как весовое отношение содержания контрольного компонента в анализируемой пробе к содержанию того же компонента в идеальной смеси.

Профессором И.А. Улановым предложено определять однородность смеси из соломы и силоса по формулам [103]:

при $B < B_0$

$$\theta = \frac{B \cdot 100}{B_0},$$

при $B > B_0$

$$\theta = \frac{(100 - B) \cdot 100}{100 - B_0},$$

где B – доля меньшего компонента смеси в пробе;

B_0 – доля меньшего компонента в заданной смеси.

Содержание меньшего компонента смеси определяется по влажности корма методом разделяющего признака, заключающегося в том, что при идеальном перемешивании силоса и соломы, влажность смеси должна равняться расчетной суммарной влажности соломы и силоса.

Степень однородности также может быть определена по формулам А.А. Лапшина [62]

при $B < B_0$:

$$\theta = \frac{1}{n} \sum \frac{B}{B_0}$$

при $B > B_0$

$$\theta = \frac{1}{n} \sum \frac{2B_0 - B}{B_0}$$

где n – число проб.

О.Б. Пошевкин предлагает формулу для определения коэффициента вариации числа единиц контрольного компонента в пробе v

$$v = \sqrt{\frac{1 - \rho}{\rho}}$$

где ρ – концентрация частиц контрольного компонента.

При различных размерах частиц

$$v_{(n)} = \sqrt{\frac{1 - \rho}{m\rho}}$$

где m – общее число частиц в пробе.

О степени однородности можно судить по отношению среднеквадратических отклонений теоретического и эмпирического распределения

$$\theta = \frac{\sigma_{\tau}}{\sigma_{\gamma}} = \frac{\pm \sqrt{\frac{\sum_1^m (x_i - B_{cp})^2}{n-1}}}{\pm \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}},$$

где x_i – содержание компонента в i -й пробе;

$\bar{x}$ – среднеарифметическое содержание того же компонента в опыте;

B_{cp} – среднее содержание исследуемого компонента в смеси.

Наиболее часто для анализа процесса смешивания используют статистические характеристики – среднеквадратическое отклонение σ и коэффициент вариации ν , определяемые по формулам [50, 53, 62]

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100,$$

где $\bar{x}$ – среднеарифметическое количество частиц индикатора в пробах

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^n x_i}{n}$$

В качестве индикатора могут быть использованы реактивные изотопы, специально окрашенные частицы, кристаллы, зерна и другие включения. При оценке качества двухкомпонентных смесей один компонент можно считать контрольным [29, 53-56, 62, 68, 85].

Степень однородности определяется из выражения

$$\theta = 100 - \nu$$

Как показывает анализ, данные методы не дают объективной

оценки, так как учитывается распределение только одного компонента в смеси без учета распределения в составе смеси других компонентов.

Степень однородности принято выражать в процентах или долях единицы, и, чем значения ближе к 100%, или единице, тем лучше завершен процесс и качественнее смесь.

Критерием оценки процесса смешивания может служить коэффициент неоднородности (вариации), выражаемый в процентах. Физический смысл коэффициента вариации заключается в том, что он измеряет среднеквадратическое отклонение доли контрольного компонента в единицах среднего значения случайной величины. Величину коэффициента неоднородности смешивания V_c определяют по формуле [62]

$$V_c = 10^{-2} C_0 \sqrt{\sum (C_i - C_0) / (n - 1)},$$

где C_0 и C_i – соответственно заданное и фактическое содержание компонента в смеси;

S – величина среднеквадратического отклонения контрольного компонента по данным опытов.

Снижение значения V_c свидетельствует о более качественном протекании процесса. Для большинства смесителей значения $V_c = 20\%$ считается достаточным. Из анализа кинетики смешивания (развитие процесса во времени) следует, что процесс смешивания складывается из трех составляющих (рис. 1.40) [3]:

1) конвективного смешивания: перемещение группы смежных частиц из одного места в другое внедрением (вмятием, скольжением) слоев. Процесс протекает на уровне макрообъемов и почти не зависит от физико-механических свойств материалов (участок I на рис. 1.40);

2) диффузионного смешивания (постепенное перерастание частиц различных компонентов через свежееобразованную границу их раздела). Процесс протекает на уровне микрообъемов (участок II, рис. 1.40);

3) процесса сегрегации (сосредоточения частиц, имеющих однородную массу, в соответствующих местах смесителя под действием гравитационных или инерционных сил). Процесс

ухудшает качество смеси, так как по своему действию он противоположен первым двум (участок III рис. 1.40). Если принять участок II за область допустимых значений показателя изменчивости, то в конце участка II процесс смешивания следует заканчивать, так как дальнейшее воздействие мешалок на материал не улучшает качество смеси. Оптимальное время смешивания для определенного смесителя и вида материала определяют экспериментально. Так, для большинства смесителей кормов периодического действия это время составляет 8 - 12 мин, а шнековые смесители непрерывного действия при смешивании комбикормов выбирают длиной не более 0,9 - 1,0 м [57].

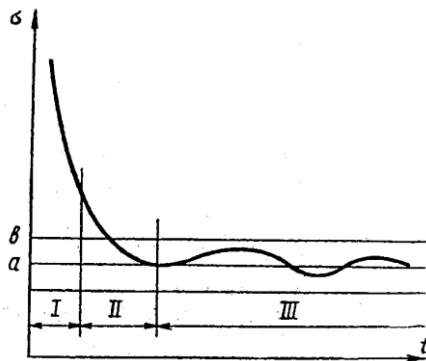


Рис. 1.40. Кинетика процесса смешивания

В.Р. Алешкин [3] отмечает, что, по данным многочисленных исследований, закон распределения доли контрольного компонента в смеси по завершении процесса может быть биномиальным, пуассоновским и нормальным. При малой дозе ввода контрольного компонента (менее 10%) размещение его частиц в общей массе подчиняется пуассоновскому распределению. При достаточно большом количестве проб биномиальное распределение хорошо аппроксимируется. Поэтому, исходя из стохастической сущности процесса смешивания, его можно оценивать статистическими методами. Согласно В.Р. Алешкину и Р.М. Рощину рас-

пределение частиц контрольного компонента в смеси подчиняется нормальному закону распределения. Исходя из зоотехнических условий, они задаются предельным отклонением числа или доли частиц контрольного компонента Δi от среднего значения в пробах какого-либо смесителя. В результате анализа m проб получено значение доли частиц контрольного компонента, равное $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$, и величина отклонения $\Delta i = x_i - \bar{x}$, где $\bar{x}$ – среднее значение доли частиц контрольного компонента в смеси $i = 1, 2$. Нормируются эти величины путем деления каждой из них на среднеквадратическое отклонение:

$$Z_1 = \frac{\Delta_1}{S}; Z_2 = \frac{\Delta_2}{S}; \dots; Z_i = \frac{\Delta_i}{S} = \frac{x_i - \bar{x}}{S}.$$

Закон распределения случайных величин Z_i также будет нормальным, а вероятность попадания числа или доли частиц контрольного компонента в заданные пределы Z'_k и Z''_k определяется из выражения

$$P\left(Z'_k < \frac{\Delta i}{S} < Z''_k\right) = 2\Phi_0\left(\frac{x_i - \bar{x}}{S}\right) = 2\Phi_0(Z_i)$$

где Φ_0 – нормированная функция Лапласа (табличное значение); цифра 2 означает, что отклонение в обе стороны от среднего значения одинаково.

Кривая нормальной плотности нормированной случайной величины (число частиц контрольного компонента) показана на рисунке 1.41.

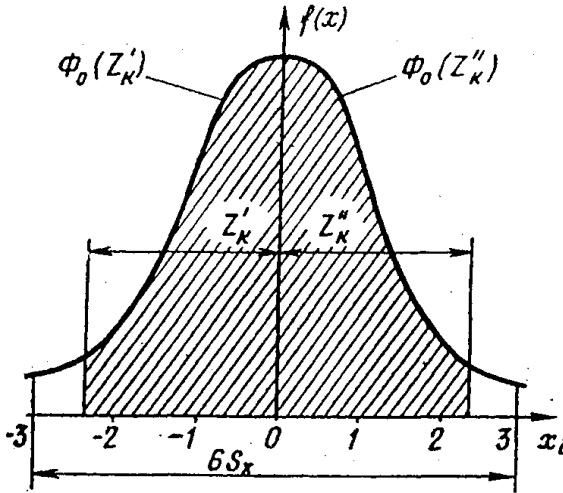


Рис. 1.41 – Плотность вероятности нормального распределения

Площадь под кривой нормального распределения показывает суммарную долю частиц контрольного компонента, заключенную в заданных пределах Z'_k и Z''_k и определяемую по (1.7). Она характеризует распределение всей совокупности частиц контрольного компонента в смеси. Если в качестве предельного размаха распределения принять значение $6S$, то вероятность нахождения доли частиц контрольного компонента в пределах $6S$ равна 0,9973. Степень однородности смешивания θ можно задать в виде:

$$\theta = \frac{\Phi_0(Z_i)}{\Phi_0(Z - 3)} = \frac{\Phi_0(Z_i)}{0,9973}$$

Физический смысл выражения состоит в том, что величина θ показывает долю частиц контрольного компонента в смеси, которая находится в заданных пределах $\pm \Delta i$ при $0 < \theta < 1$. Предельному случаю полного смешивания соответствует значение $\theta = 1$.

При практических расчетах по результатам анализа проб

рассчитывается среднее значение $\bar{x}$, среднеквадратическое отклонение S нормированное отклонение $Z_i = \Delta i / S$ и далее по таблицам нормированной функции Лапласа определяется $\Phi_0(Z_i)$.

1.6 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основе проведенного анализа установлено, что высокой питательной ценностью (содержат β -каротин и другие биологически активные вещества) обладают так называемые «сочные корма», к которым относят морковь, тыкву, арбузы кормовые, кочаны капусты и т.д.).

В то же время установлено, что высокой кормовой ценностью (содержат белки, витамин Е, витамины группы В и другие биологически активные вещества) обладают зерновые и зернобобовые культуры (пшеница, ячмень, кукуруза, соя, горох и т.д.), так называемые концентрированные кормовые продукты.

Анализ существующих технологических схем трансформации исходного сырья в готовые продукты показал, что возможность использования корнеклубнеплодов, в том числе тыквы и других сочных кормов, без дорогостоящих хранилищ ограничена по времени двумя месяцами – сентябрь и октябрь. В остальное время года их замораживают и используют в очень ограниченных количествах или же, как показывает практика, не используются вообще.

При этом, фуражное зерно может использоваться и перерабатываться в продукты кормового назначения круглогодично.

В качестве существенного недостатка, здесь необходимо выделить большую загрязненность помещений мучной пылью.

На наш взгляд, исключить указанные недостатки, присущие традиционным способам подготовки тыквенного и зернобобового сырья можно путем получения гранулированно-брикетированных тыквенно-зерновых композиций с помощью специального пресс-гранулятора.

Анализ существующих конструктивно-технологических схем линий приготовления формованных кормов на фермах

также показал, что они имеют низкую надежность функционирования из-за своей сложной структуры. Не все применяемое оборудование является эффективным, а для реализации таких процессов как подача и измельчение плодов тыквы и других бахчевых культур, а также кочанов капусты его вовсе не существует. Это, в свою очередь не позволяет при малых затратах труда и средств полностью сбалансировать кормовой рацион по питательным веществам (сахарам и витаминам) и осуществлять технологию приготовления полнорационных кормосмесей с высокими качественными показателями.

В этой связи существует противоречие между желанием сельхозтоваропроизводителей иметь относительно низкую себестоимость продукции и отсутствием возможности её производства при наименьших затратах труда и средств.

Цель и задачи исследований. Целью исследования является повышение эффективности процессов в системе механизированного кормления животных и птицы, путем разработки технологии и средств механизации по приготовлению кормовых смесей заданного состава и свойств.

Для решения данной цели определены следующие задачи исследования:

- обосновать перспективное направление в разработке новых процессов и технических средств в системе механизированного кормления животных и птицы;
- разработать экономико-математическую модель оценки эффективности функционирования технологической линии приготовления формованных кормовых смесей животным и птице с использованием тыквенного компонента;
- теоретически и экспериментально обосновать оптимальные параметры процессов и технических средств линии приготовления формованных кормовых продуктов на основе тыквенно-зерновых композиций;
- провести производственную проверку результатов исследований, дать им технико-экономическую оценку и разработать методику расчета линии приготовления формованных тыквенно-

зерновых композиций с использованием стационарных и мобильных питателей тыквенного компонента.

Научная гипотеза заключается в том, что снижение материальных, энергетических и трудовых затрат, с одновременным повышением качественных показателей работы технических средств по приготовлению кормов животным и птице может быть достигнуто путем использования в их рационах бахчевых культур и капусты, не требующих мойки и капитальных хранилищ при условии наличия в системе механизированного кормления технических средств, позволяющих осуществлять дозированную подачу условно шаро- и цилиндрических плодов, их качественное измельчение с последующим формированием на их основе гранулированно-брикетированных кормовых тыквенно-зерновых композиций с качественными показателями не ниже установленных зоотехническими требований.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ФОРМОВАННЫХ КОРМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЫКВЕННО-ЗЕРНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

2.1 ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИГОТОВЛЕ- НИЯ КОРМОВЫХ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЫКВЕННО-ЗЕРНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Научными исследованиями и передовой производственной практикой доказано, что кормление животных и птицы должно осуществляться многокомпонентными кормовыми смесями в соответствии с их физиологическими потребностями [39, 40, 65, 68, 85, 98].

Известно, что процесс приготовления и выдачи полнорационных кормовых смесей является сложной биотехнической целенаправленной системой «человек→растение→корм→машина→животное→ продукция». В центре этой системы стоит животное с его потребностями в питательных веществах для получения планируемой продуктивности, которые должны быть удовлетворены определенным набором кормов и кормовых добавок. При этом, качество кормов характеризуется их энергетической ценностью, т.е. способностью кормового продукта накапливать в себе энергию, используемую на получение продукции. Дополнительное энергонасыщение кормового продукта осуществляется при его взаимодействии с рабочими органами машин, различного рода добавками, компонентами. Так, по данным ВНИИ-ТиН (г. Тамбов), смешивание сочных кормов с большим содержанием клетчатки, концентрированных или витаминно-углеводистых кормов с минеральными добавками ведет к повышению их питательности на 7,5-10%.

Применяемые в настоящее время машины и оборудование, входящие в ПТЛ приготовления и раздачи кормосмесей животным и птице, не позволяют готовить кормосмеси с высокой одно-

родностью и выдавать их в соответствии с зоотехнической нормой. Кроме того, они не позволяют из-за отсутствия специальных технических средств водить в кормовые рационы тыкву в требуемых количествах в течение всего периода содержания и выращивания животных и птицы.

При разработке и проектировании линий приготовления полнорационных кормосмесей, для оценки их эффективности используют обобщенный показатель – минимум приведенных затрат. Однако он не дает объективной оценки, так как не несет полной информации о соизмеримости затрат и дополнительной продукции, получаемой за счет реализации определенных мероприятий, направленных как на снижение затрат, так и на увеличение выхода животноводческой продукции, например, при замене одного из компонентов рациона на другой и применением для этих целей средств механизации, ранее не существовавших.

В связи с этим, при разработке и проектировании линий приготовления полнорационных кормосмесей, одним из основных условий возможности проведения объективного расчета по оценке эффективности их функционирования должны быть учтены все факторы, влияющие на функционирование всей системы [64].

Общая схема для обоснования оценки эффективности принимаемых мероприятий по разработке рациональных способов и технических средств в составе системы механизированного кормления животных и птицы, приведена на рисунке 2.1.

При этом эффективность производства и хранения кормовых компонентов, выбранных для их введения в состав кормовой смеси, зависит от возможности выбора рациональных способов их производства и хранения, а также затрат, связанных с реализацией выбранных способов и технологий по производству и хранению сырьевых компонентов.

В настоящее время процессы хранения кормового сырья осуществляется различными способами. Схема основных из них представлена на рисунке 2.2.

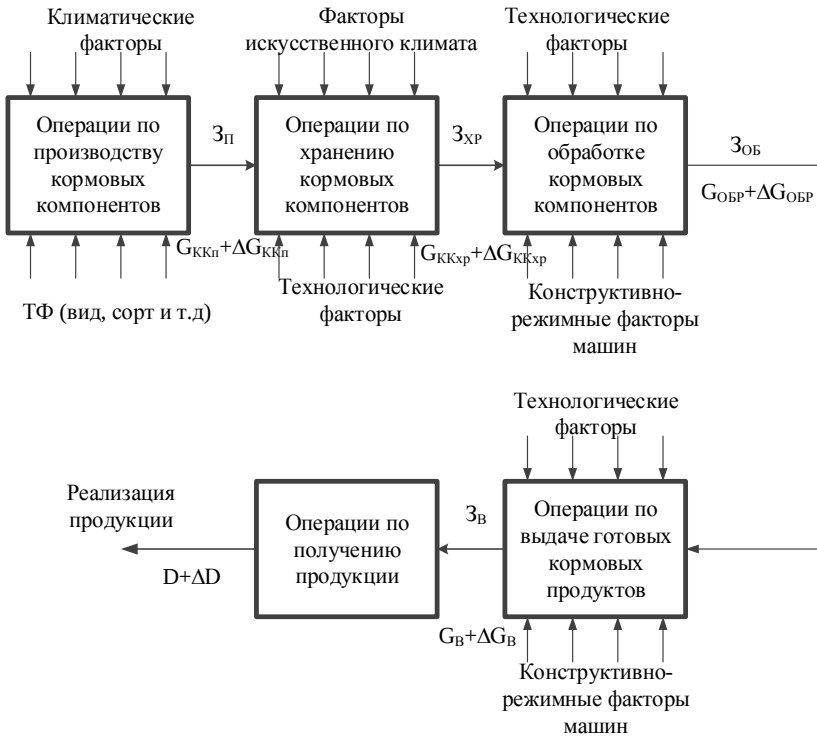


Рис. 2.1. Общая схема к обоснованию оценки эффективности принимаемых технических и технологических решений по механизированному кормлению, где: КФ – климатические факторы; ФИК – факторы искусственного микроклимата; ТФ – технологические факторы; КРФМ – конструктивно-режимные факторы машин; $З_{\Pi}$ и $G_{\text{ККл}}$ – затраты на производство кормовых компонентов и объемы их производства и использования, соответственно; $З_{\text{ХР}}$ и $G_{\text{ККХр}}$ – затраты на хранение и объемы хранения кормовых компонентов, соответственно; $З_{\text{ОБ}}$ и $G_{\text{ОБР}}$ – затраты по обработке и объемы обрабатываемых кормовых компонентов, соответственно; $З_{\text{В}}$ и $G_{\text{В}}$ – затраты по выдаче и объемы выдаваемых кормовых продуктов, соответственно; D – получаемый доход от реализации продукции



Рис. 2.2. Схема к анализу способов хранения исходного кормового сырья и продуктов его переработки

Приготовление кормовых смесей также осуществляется различными способами. Схема их классификации представлена на рисунке 2.3.

Выбор системы приготовления кормовых смесей также зависит от множества факторов. Наиболее целесообразным и эффективным вариантом может быть система, основанная на приготовлении формованно-уплотненных кормовых продуктов.

На основании анализа критериев оценки эффективности механизированных процессов нами сделан вывод, что основной критерий -минимум удельных приведенных затрат имеет следующие недостатки:

- он не учитывает затрат, связанных с землепользованием;
- при его использовании возникает необходимость оценки работы оборудования с базовым вариантом, так как минимум удельных приведенных затрат приходится на максимум надежности функционирования системы.

При этом, с одной стороны, надежность функционирования систем должна быть максимальной, с другой – затраты должны быть минимальными.



Рис. 2.3. Схема классификации способов приготовления кормовых смесей

Разрешение данного противоречия, в отношении системы механизированного кормления КРС на современном этапе развития растениеводческой и животноводческой отрасли народного хозяйства РФ, мы видим в возможности и целесообразности замены углеводистого сырья в виде корнеклубнеплодов, например свеклы, которая богата сахарами, но в ней отсутствует каротин, а потому рацион требует использования и моркови, богатой этим

биологически активным ингредиентом на бахчевые культуры (тыква, кабачки, арбуз кормовой и др.) и капусту. Такой углеводисто-витаминный компонент содержит и сахара, и каротин [60]. В то же время известно, что производство, хранение и подготовка ККП к скармливанию связано с высокими затратами труда и средств.

В отличие от указанных видов ККП, производство бахчевых (например, тыквы) менее затратно, их хранение и в зимнее время возможно обеспечить под легкими навесами, не требующими больших капитальных вложений.

В отличие от тыквы, морковь и свеклу необходимо подвергать мойке перед использованием, поэтому схема с замораживанием ККП не подходит.

Вся существующая система механизированного кормления связана с техническими средствами мойки ККП и подведена под этот вид кормового сырья.

В связи с этим, при разработке и проектировании линий приготовления кормосмесей животным, одним из основных условий обеспечения возможности проведения объективного расчета по оценке эффективности, должна быть учтена вся совокупность основных факторов, влияющих на функционирование оцениваемой системы.

Вышеуказанное можно представить следующим выражением, приняв его в качестве экономико-математической модели оценки эффективности функционирования системы механизированного кормления КРС:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \mathcal{E}_r &= \sum_{i=1}^5 \Delta \mathcal{E}_i \rightarrow \max; \\ n_{пу} : \sum_{i=1}^n \mathcal{Z} &\rightarrow \min; \sum_{i=1}^n K \rightarrow \min; \\ N_{\text{г}}^{ПТЛ} &= \sum_{i=1}^n N / Q^{ПТЛ} \rightarrow \min; \\ n_{пу} t_{\kappa} &\leq [t_{\kappa}] \end{aligned} \right\}, \quad (2.1)$$

где $\Delta \mathcal{E}_r$ – годового экономического эффекта по процессу механизированного кормления животных;

$\Delta\mathcal{E}_i$ – годовые экономические эффекты от реализации соответствующих зоотехнических, технологических и технических решений;

$\sum_{i=1}^n \mathcal{Z}$ – суммарные годовые эксплуатационные затраты по

принятым процессам;

$\sum_{i=1}^n K$ – суммарные капитальные вложения в процесс меха-

низированного кормления животных;

n – число процессов;

$N_{уд}^{ПТЛ}$ – энергоемкость процесса механизированного кормления животных;

$\sum_{i=1}^n N$ – суммарные затраты энергии на процесс механизиро-

ванного кормления животных;

$Q^{ПТЛ}$ – часовая производительность технологической линии приготовления и выдачи ПРКС;

t_k – продолжительность времени кормления;

$[t_k]$ – допустимая по зоотехническим требованиям.

Составляющая $\Delta\mathcal{E}_Г$ в системе уравнений (2.1) включает в себя следующие элементы

$$\Delta\mathcal{E}_Г = \Delta\mathcal{E}_1 + \Delta\mathcal{E}_2 + \Delta\mathcal{E}_3 + \Delta\mathcal{E}_4 + \Delta\mathcal{E}_5, \quad (2.2)$$

где $\Delta\mathcal{E}_1$ – экономическая эффективность от замены одного вида кормового сырья на другой, которое не использовалось или использовалось в малых объемах в виду отсутствия средств механизации по его обработке;

$\Delta\mathcal{E}_2$ – экономическая эффективность от разницы затрат по сравниваемым вариантам, например, по обработке ККП и бахчевых культур или крупнокочанной капусты в системе механизированного кормления животных кормосмесями;

$\Delta\mathcal{E}_3$ – экономическая эффективность от кормления кормовыми смесями;

$\Delta\mathcal{E}_4$ – экономическая эффективность от полученной дополнительной продукции (молока, и т.д.) в результате приготовления более однородной кормовой смеси, за счет реализации более рациональных способов и технических средств;

$\Delta\mathcal{E}_5$ – экономическая эффективность от снижения крошимости гранул.

Первая составляющая выражения (2.2) по сути есть разница в стоимости корнеклубнеплодов и бахчевых культур или капусты:

$$\Delta\mathcal{E}_1 = \left(\frac{\sum \mathcal{Z}_{ККП}^П}{G_{ККП}} + \mathcal{Z}'_3 \right) - \left(\frac{\sum \mathcal{Z}_T^П}{G_T} + \mathcal{Z}''_3 \right) = C_{ККП} - C_T, \quad (2.3)$$

где $\sum \mathcal{Z}_{ККП}^П$ и $\sum \mathcal{Z}_T^П$ – суммарные затраты на производство соответственно корнеклубнеплодов и бахчевых культур или капусты;

$G_{ККП}$, G_T – объемы производства корнеклубнеплодов и бахчевых культур или капусты;

$C_{ККП}$, C_T – себестоимость производства соответственно одной тонны корнеклубнеплодов и тыквы;

$\mathcal{Z}'_3$, $\mathcal{Z}''_3$ – плата за землепользование по базовому и предлагаемому вариантам.

Экономическая эффективность от разницы затрат по хранению и обработке, например, корнеклубнеплодов и тыквы, равна

$$\Delta\mathcal{E}_2 = \left(\frac{\sum \mathcal{Z}_{ККП}^{ХР} + \sum \mathcal{Z}_{ККП}^{ОБР}}{G_{ККП}} + \mathcal{Z}'_3 \right) - \left(\frac{\sum \mathcal{Z}_T^{ХР} + \sum \mathcal{Z}_T^{ОБР}}{G_T} + \mathcal{Z}''_3 \right), \quad (2.4)$$

где $\sum \mathcal{Z}_{ККП}^{ХР}$ и $\sum \mathcal{Z}_{ККП}^{ОБР}$ – суммарные затраты на хранение и обработку ККП;

$\sum \mathcal{Z}_T^{ХР}$ и $\sum \mathcal{Z}_T^{ОБР}$ – суммарные затраты на хранение и обработку бахчевых культур или капусты.

Экономическая эффективность от кормления животных смесями

$$\Delta\mathcal{E}_3 = (0,075 - 0,1) \frac{q_{П} \cdot \mathcal{E}_K}{\mathcal{E}_П} \cdot N \cdot D \cdot C_p, \quad (2.5)$$

где n – средневзвешенная питательность суточного кормового рациона, к. ед.;

$\mathcal{E}_K$ – энергетическая ценность, МДж/к.е.;

$\mathcal{E}_П$ – затраты энергии на получение единицы продукции МДж/кг;

N – количество животных;

D – продолжительность периода, в течение которого получена продукция;

C_p – реализационная цена продукции.

Экономическая эффективность от получения дополнительной продукции за счет повышения однородности кормовой смеси

$$\Delta \mathcal{E}_4 = \Delta \eta_c \cdot \Delta \mathcal{E}_3, \quad (2.6)$$

где $\Delta \eta_c$ – коэффициент, учитывающий прирост дополнительной продукции из расчета на 1% однородности кормовой смеси.

Значение данного коэффициента равно

$$\Delta \eta_c = \Delta \eta_c^6 - \Delta \eta_c^n, \quad (2.7)$$

где
$$\Delta \eta_c^6 = \frac{\theta_{uo} - \theta^6}{\theta_{uo}}, \text{ а } \Delta \eta_c^n = \frac{\theta_{uo} - \theta^n}{\theta_{uo}}. \quad (2.8)$$

В приведенных равенствах: θ_{uo} , θ^6 , θ^n – однородность смеси при идеальном смешивании принято за 100%; при использовании базового и предлагаемого вариантов соответственно (получают опытным путем).

Экономическая эффективность от реализации мероприятий, обеспечивающих снижение крошимости гранул

$$\Delta \mathcal{E}_5 = C_N^B - C_N^{Пp}, \quad (2.9)$$

где C_N^B и $C_N^{Пp}$ – стоимость затрат энергии с учетом прочности гранул (брикетов) и производительности оборудования по базовому и предлагаемому вариантам, соответственно, кВт·ч·руб./кг·%.

Стоимость затрат энергии определяется следующим равенством

$$C_N^{B(Пp)} = \mathcal{E}_{zp}^{B(Пp)} \cdot Q_{zp}^{B(Пp)} \cdot Пp^{B(Пp)} \cdot C_{\mathcal{E}}, \quad (2.10)$$

где $\mathcal{E}_N^{B(Пp)}$ – энергоемкость процесса получения гранулята (брикетов), кВт·ч/кг·%;

$Q_{ep}^{B(Pr)}$ – производительность процесса, кг/ч;

$Pr^{B(Pr)}$ – прочность гранул (брикетов), %.

C_{ε} – цена электроэнергии, руб./кВт·ч.

Энергоемкость процесса получения гранул (брикетов)

$$\mathfrak{E}_{ep}^{B(Pr)} = 100 \cdot N_{ep}^{B(Pr)} / Q_{ep}^{B(Pr)} \cdot Pr^{B(Pr)}, \quad (2.11)$$

где $N_{ep}^{B(Pr)}$ – затраты электроэнергии на процесс уплотнения.

На основании проведенного анализа, а также принятых допущений и выдвинутых на решение положений по механизированному кормлению животных кормовыми смесями с использованием углеводно-витаминного компонента разработана обобщенная структурная схема технологической линии их приготовления (рис. 2.4).

Согласно данной схеме, процесс механизированного кормления с использованием плодов тыквы, арбуза кормового, кочанов капусты и т.д., характеризуется, прежде всего, качественным процессом подачи каждого их комовых компонентов неравномерностью дозирования, которая функционально зависит от множеств как управляемых, так и неуправляемых факторов [24].

Согласно рисунку 2.4 приняты следующие обозначения:

t_{mp}^1 – продолжительность подачи одного плода тыквы в измельчитель; $t_{изм}^1$ – продолжительность измельчения одного плода тыквы; δ_1, δ_2 – неравномерность подачи плодов тыквы или других бахчевых культур или капусты, или зерна, соответственно; D_{ε} – эквивалентный диаметр плодов тыквы; Q_{nmp}^1, Q_{nmp}^2 – подача питателей плодов тыквы и зерна; ω_d – угловая скорость вращения диска измельчителя; k_n – количество ножей; h – вылет ножа над диском; l_n – длина лезвия ножа; R_d – радиус диска измельчителя; b – ширина окна в диске; Δ – расстояние между диском и стенкой бункера измельчителя; $Q_{изм}$ – пропускная способность измельчителя; N_{ε} – мощность, потребляемая в процессе измельчения плодов тыквы и получения композиций.



Рис. 2.4. Обобщенная технологическая схема получения прессованного углеводно-витаминного продукта на основе корнеплодно-зерновых композиций

Согласно обобщенной структурной схеме процесс механизированного кормления КРС кормовыми смесями с использованием тыквы, арбуза кормового и др. характеризуется прежде всего качественными показателями процесса подачи каждого из кормовых компонентов-неравномерность подачи, которая функционально зависит от множества как управляемых, так и неуправляемых факторов.

– для процесса подачи тыквы (бахчевых) или кочанов капусты:

$$\delta_1 = f(D_{\mathcal{O}}; v_{nmp}; k_{\phi}; \dots) \rightarrow \min, \quad (2.12)$$

$$N_{y\partial} = f(Q_{nmp}, \dots) \rightarrow \min, \quad (2.13)$$

где Q_{nmp} – подача питателя плодов.

Для процесса подачи зерна

$$\delta_{nc} = f(l_c; W_c; v_{nmp}; \dots) \rightarrow \min; \quad (2.14)$$

– для процесса подачи соломы

$$\delta_2 = f(k_\phi; W_c; v_{nmp}; \dots) \rightarrow \min. \quad (2.15)$$

В тоже время процесс измельчения плодов и получения композиций, например, тыква: зерно, характеризуется степенью измельчения получаемых частиц тыквы - $\lambda_{изм}$, однородностью получаемой композиций θ_K на его основе

$$\lambda_{изм} = f(D_\partial; k_\phi; \omega_\partial; k_n; h; l_n; R_\partial; b; \dots) \rightarrow \min. \quad (2.15)$$

$$\theta_K = f(\omega_\partial, h, b, \Delta, \dots) \rightarrow \max. \quad (2.16)$$

При этом, данный процесс характеризуется затратами энергии на осуществление измельчения плодов и получения заданных композиций:

$$N_{y\partial} = f(Q_{изм}, \dots, N_{изм}) \rightarrow \min. \quad (2.17)$$

Таким образом, приведенные выше положения, позволяют на основе полученной совокупности данных, разрабатывать множественные варианты технологических линий приготовления кормовых смесей крупному рогатому скоту с использованием тыквенного и других углеводно-витаминных компонентов, в зависимости от закладки их на хранение в виде комбисилоса и, соответственно, сезона кормления (осень-зима-весна), как в естественной физической форме, так например, и в замороженной, а также обоснованно подойти к исследованию указанных процессов с целью последующей разработки рациональных схем технических средств, предназначенных для их реализации с установлением для каждого из них области оптимальных значений параметров – технологических, конструктивных и режимных.

2.2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ДИСКРЕТНОЙ ПОДАЧИ ПЛОДОВ УСЛОВНО ШАРООБРАЗНОЙ ФОРМЫ В СИСТЕМЕ «ПИТАТЕЛЬ-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ»

Согласно экономико-математической модели технологические и технические решения по выполнению процесса подачи компонента в виде плодов или капусты (условно шарообразных) в измельчитель должен обеспечиваться с требуемой равномерностью и наименьшими затратами труда и средств:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{nm} &= f(D_{\vartheta}; v_{nmp}; \rho_{nmp}; \dots) \rightarrow \min; \\ N_{y\partial} &= N_n / Q_{nnm} \rightarrow \min \end{aligned} \right\}, \quad (2.18)$$

где N_n – мощность, затрачиваемая на процесс подачи плодов.

Выражение для определения затрачиваемой мощности можно представить, как

$$N_n = P_{np} \cdot v_{nmp}, \quad (2.19)$$

где P_{np} – сила сопротивления перемещению плодов в питателе.

Сила сопротивления обусловлена силой трения перемещаемой массы плодов, размещенной на подающем транспортере питателя плодов

$$P_{np} = M_n \cdot g \cdot f = V \cdot \rho \cdot g \cdot f, \quad (2.20)$$

где M_n – масса продукта; g – ускорение свободного падения; f – коэффициент трения плодов по основанию питателя; V – объем перемещаемой массы плодов тыквы; ρ – плотность плодов.

К решению технической задачи, разброс по времени t_{uz} и t_{nn} будет наименьшим из-за сглаживания, имеющего место в реальности разброса размеров и масс плодов тыквы.

С учетом данного подхода, подача питателя плодов определится как

$$Q_{nnm} = k \cdot D_{\vartheta} \cdot v_{nmp} \cdot t_{\text{изм}}^1 \cdot t_{\text{эц}}^1 \quad k \cdot D_{\vartheta} = k^2 \cdot D_{\vartheta}^2 \cdot v_{nmp} \cdot t_{\text{эц}}^1, \quad (2.21)$$

где $k = B / D_{\vartheta}$ – количество плодов в их группе по ряду;

v_{nmp} – скорость подающего транспортера питателя.

Вероятностная модель оценки качественной работы подсистемы «питатель → транспортер → измельчитель» по сохранению равномерности потока измельченных частиц тыквы имеет вид:

$$P = P(A) \cdot P\left(\frac{B}{A}\right) \cdot P\left(\frac{C}{B} \cdot A\right) \quad (2.22)$$

где $P(A)$ – вероятность события, что после подачи плода он пройдет по диаметру в камеру измельчителя;

$P\left(\frac{B}{A}\right)$ – условная вероятность того, что не произойдет за-

щемления плода в камере измельчителя;

$P\left(\frac{C}{B} \cdot A\right)$ – условная вероятность того, что плод будет из-

мельчен в промежутке времени $t_{\text{сг}}^1$.

Качество работы подсистемы «питатель → измельчитель плодов» характеризуется:

– неравномерностью потока подачи частиц плодов и зерновых компонентов, входящих из измельчителя:

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{q} - q_i)}{P_i}} ; \quad (2.23)$$

и

$$\delta_{\text{изм}} = \frac{\sigma_u}{\bar{q}} \cdot 100\% , \quad (2.24)$$

где $\bar{q}$ – среднее значение массы измельченной тыквы на 1 метре приемного (сборного) транспортера, кг/м; q_i – i значение массы измельченной тыквы, кг/м; P_i – частота для q_i ; n – число проб;

– неоднородностью гранулометрического состава полученных частиц плода:

$$\sigma_{\text{н}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - l_{\text{ср}})^2 \cdot q_i}{\sum m_i}} \quad (2.25)$$

и

$$\theta_{\kappa} = \frac{\sigma_{\text{н}}}{\bar{l}} \cdot 100\% , \quad (2.26)$$

где $l_i, l_{\text{ср}}$ – размеры i -х частиц и их средний размер;

q_i – масса частиц каждой фракции;

m_i – масса навески.

Значения массы и длины частиц измельченной тыквы на погонном метре приемного транспортера в момент времени t_i описывается кривой Эрланга с интегральным законом

$$F(q) = 1 - \left(1 + \frac{2q_i}{\bar{q}} \right) \cdot e^{\frac{-2q_i}{\bar{q}}} \quad (2.27)$$

Доверительные границы для этого закона

$$0 \leq q_i \leq 4\sigma_n \text{ и } 0 \leq l_i \leq 4\sigma_n.$$

Установлено, что чем меньше производительность измельчителя и выше неоднородность гранулометрического состава измельченных плодов, тем больший разброс имеют такие характеристики, как q_i и l_i .

Учитывая широкий размах доверительных границ, существует вероятность высокой неравномерности выходного потока из измельчителя плодов – $\delta_{изм}$. В этой связи необходима разработка научно обоснованного способа сглаживания колебаний массы измельченных частиц плодовых и зерновых компонентов на одном метре приемного транспортера.

Исследованиями многих ученых установлено [53 – 58, 63, 64, 85, 86], что в силу вероятностного характера потоков кормов при любом дозировании и установившемся режиме, результаты отсчета массы выданного корма за одинаковые промежутки времени не будут одинаковыми, а будут колебаться в некоторых пределах.

В частности, по данным Г.М. Кукты [56], с увеличением длительности отбора проб коэффициент вариации уменьшается на 10-25% и более за счет сглаживания неравномерности потока δ_n .

Исследованиями Ю.Д. Видинеева установлена, а А.А. Кутлембетовым и другими подтверждена зависимость коэффициента вариации δ_l , при длительности формирования доз, равной 1 с. от продолжительности формирования доз Δt

$$\delta(\Delta t) = \delta_l \cdot \Delta t^{z-1}, \quad (2.28)$$

где $z=0,44$ по методике Ю.Д. Видинеева.

С учетом данного положения, для предлагаемой нами подси-

стемы «питатель → измельчитель», с целью снижения неравномерности выходящего из измельчителя потока, например, тыквенно-зернового продукта $\delta_{изм}$ необходимо обеспечить так называемое «сжатие» выходного потока из измельчителя.

Таким образом, необходимо обосновать значение скорости движения рабочего органа (ленты) транспортера $v_{сб\ mp}$.

Учитывая, что $Q_{нм} = Q_{изм} = Q_{mp}$ можно записать

$$t_{изм}^1 = \frac{k \cdot V_v \cdot \rho_v}{k \cdot Q_{нм}} = \frac{\pi \cdot D_v^3 \cdot \rho_v}{6 \cdot Q_{изм}} = \frac{V \cdot \rho}{Q_{mp}}. \quad (2.29)$$

Тогда, с учетом зависимостей (2.28) и (2.29) имеем

$$\delta_{mp} = \delta_{изм} \cdot \left(\frac{V \cdot \rho}{Q_{сб\ mp}} \right)^{z-1} \leq [\delta_{сб\ mp}]. \quad (2.30)$$

Преобразуя выражение (2.37) относительно $\delta_{изм}$ получим

$$\delta_{изм} \leq \frac{[\delta_{mp}]}{\left(\frac{V \cdot \rho}{Q_{mp}} \right)^{z-1}}. \quad (2.31)$$

Расчеты по принятому неравенству (2.31) показывают, что даже при самых неблагоприятных условиях для выполнения процессов подачи и измельчения плодов, обусловленных их физической формой и размерами, а также требуемыми значениями $[\delta_{mp}] \leq 5\%$, значение показателя неравномерности при $v_{н\ mp} = 0,1$ м/с составит $\delta_{изм} = 20\%$.

Таким образом, принятый технологический подход по сжатию выходного потока из измельчителя обеспечивает сглаживание колебаний массы измельченного продукта на каждом метре приемного транспортера, подающего композицию в пресс-гранулятор.

В рассматриваемой нами подсистеме «подача → транспортирование плодов → измельчение плодов → подача в пресс-гранулятор» процесс подачи плодов лимитируется с одной стороны дискретным характером измельчения одного плода, имеющего округлую, условно шаро- или цилиндрическую форму с соответствующим ей размером, с другой стороны дискретным характером работы устройства для сушки гранул (брикетов).

Для обеспечения поточности процесса, питатель плодов должен выполнять свои функции согласованно с заданным режимом работы измельчителя плодов. Условие по согласованному режиму работы этих звеньев, рассматриваемой, подсистемы имеет следующий вид:

$$\frac{B}{D_9} \cdot t_{изм}^1 = \frac{B}{D_9} \cdot \frac{V_9 \cdot \rho_9}{Q_{nm}}, \quad (2.32)$$

где B – ширина бункера питателя плодов тыквы; D_9 – эквивалентный диаметр плода, $1,24\sqrt[3]{V_9}$; V_9 – эквивалентный объем одного плода, $\frac{\pi \cdot D_9^3}{6}$; ρ_9 – эквивалентная плотность плода,

$$\rho_9 = \frac{\sum_{i=1}^{100} M_{ni}}{\sum_{i=1}^{100} V_{ni}},$$

где M_n , V_n – масса и объем i -го плода; Q_{nm} – подача питателя плодов.

Продолжительность измельчения одного плода, при данном формализованном подходе к физической форме плодов бахчевых или кочанов капусты, с учетом параметров их подачи определится как

$$t_{изм}^1 \leq \frac{\pi \cdot D_9^2 \cdot \rho_9}{6 \cdot B \cdot v_{nmp} \cdot \rho_9 \cdot \Psi}, \quad (2.33)$$

где Ψ – коэффициент, учитывающий пустоты между плодами в их группе.

Учитывая тот факт, что процесс подачи плодов питателем осуществляется путем дискретной выдачи группы отдельных плодов, с их количеством в группе равным $k=B/D_9$, анализ необходимо проводить путем рассмотрения подсистемы: «питатель → транспортер → измельчитель».

При этом, длина такого элемента системы, как транспортер плодов L_{mp} , с учетом приведенных положений должна быть равна (см. рис. 2.5)

$$L_{mp} = 2B. \quad (2.34)$$

Скорость подающего транспортера зависит от количества поданных на него накопителем плодов $B/D_э$ и определяется как

$$v_{mp} = \frac{2B}{t_{изм}^1} \cdot \frac{B}{D_э} = \frac{2B^2}{D_э \cdot t_{изм}^1}. \quad (2.35)$$

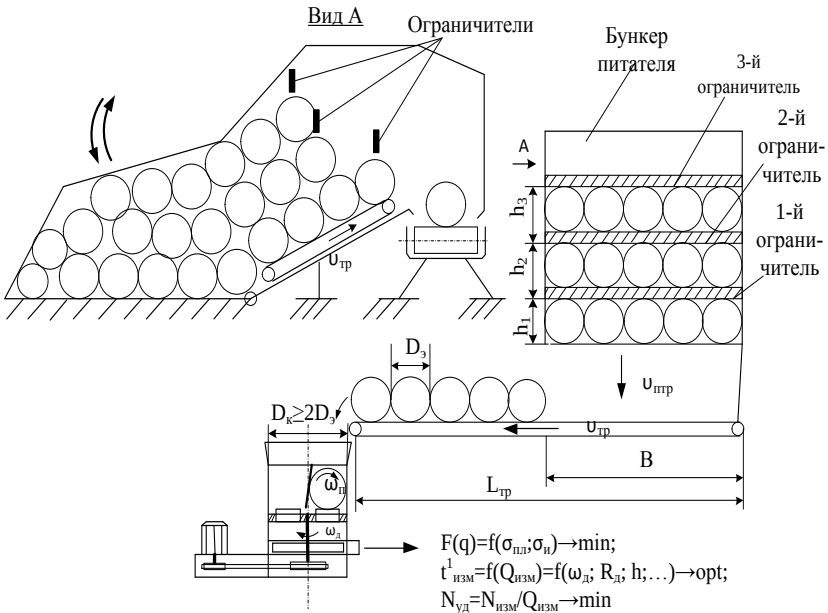


Рис. 2.5 Схема к обоснованию параметров питателя плодов

В таблице 2.1 представлена циклограмма работы рассматриваемой системы с учетом усредненных таким подходом характеристик –

$$\sum_{i=1}^n t_{измi} = t_{yn}^1.$$

Таблица 2.1

Циклограмма к обоснованию параметров и режимов работы машин
в подсистеме «подача плодов → транспортирование → измельчение» в установившемся режиме

Операция	I цикл - $t_{\text{ц}}^1$ $M = \frac{B}{D_3} \cdot V_3 \cdot \rho_3$					II цикл - $t_{\text{ц}}^2$ $M = \frac{B}{D_3} \cdot V_3 \cdot \rho_3$					III цикл - $t_{\text{ц}}^3$ $M = \frac{B}{D_3} \cdot V_3 \cdot \rho_3$				
	n	..	3	2	1	n	..	3	2	1	n+1	n+2	n+3	n+...	n+m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Подача транспортером питателя плодов тыквы			$t_{\text{ппт}}^1$					$t_{\text{ппт}}^2$					$t_{\text{ппт}}^3$		
Перегрузка на приемный транспортер			$t_{\text{пт}}^3$				E						$t_{\text{птр}}^2$		
Транспортирование пло- дов тыквы на измельче- ние															
2-я группа плодов								$t_{\text{птр}}^1$							

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1-я группа плодов											2	3	...	n	n+1
											3	...	n	n+1	n+2
											...	n	n+1	n+2	n+3
											n	n+1	n+2	n+3	n+..
Измельчение плодов тыквы											1	2	3	...	n
Выгрузка из измельчителя															

Мощность, затрачиваемая на перемещение плодов, определится как

$$N_n = \frac{B}{D_3} \cdot M_n \cdot q \cdot v_{\text{прп}} , \quad (2.36)$$

где M_n – масса плода эквивалентного диаметра.

Обоснование параметра в подсистеме «дискретная подача → транспортер → измельчитель» с позиции того, что плоды подаются группой, с количеством плодов B/D_3 , позволяет учесть тот факт, что в группе плодов их размерные характеристики усредняются. Усредняются и временные характеристики, а также другие физико-механические и реологические характеристики.

Таким образом, проведенный теоретический анализ системы питатель плодов → транспортер → измельчитель плодов показал, что качественные показатели работы такой системы функционально зависят от режимов ее работы, а также правильно выбранных параметров машины, значения которых должны быть согласованы между собой.

Только в этом случае характеристики выходного потока, в рассматриваемой подсистеме, будут находиться в допускаемых пределах их значений, и тем самым будут обеспечены значения качественного показателя – $\delta_{\text{изм}}$ в выходном потоке корма любого из измельчителей предложенного типа и конструкции (дискретного или непрерывного характера).

2.3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПРОДУК- ТОВ В ВИДЕ ПЛОДОВ УСЛОВНО ШАРООБРАЗНОЙ ФОРМЫ

В соответствии с экономико-математической моделью (2.1) и структурной схемой (рис. 2.4) процесс измельчения плодов (условно шарообразных и цилиндрических) должен осуществляться с требуемой однородностью размеров частиц $\delta_{\text{изм}}$, что позволит получить более равномерный поток на его выходе

$$\left. \begin{aligned} \delta_{изм} &= f(D_э; k_\phi; \omega_\phi; h; l_d; R_\phi) \rightarrow \min \\ N_э &= \frac{N_u}{Q_{изм}} \cdot \lambda_{изм} \rightarrow \min \end{aligned} \right\}, \quad (2.37)$$

где $N_э$ – энергоемкость процесса; N_u – мощность, затрачиваемая на процесс измельчения плодов; $\lambda_{изм}$ степень измельчения.

На основании анализа существующих конструктивно-технологических схем измельчителей корнеклубнеплодов [7 - 23], с учетом их преимуществ и недостатков разработана схема измельчителя плодов условно шаро или цилиндрической формы (рис. 2.6).

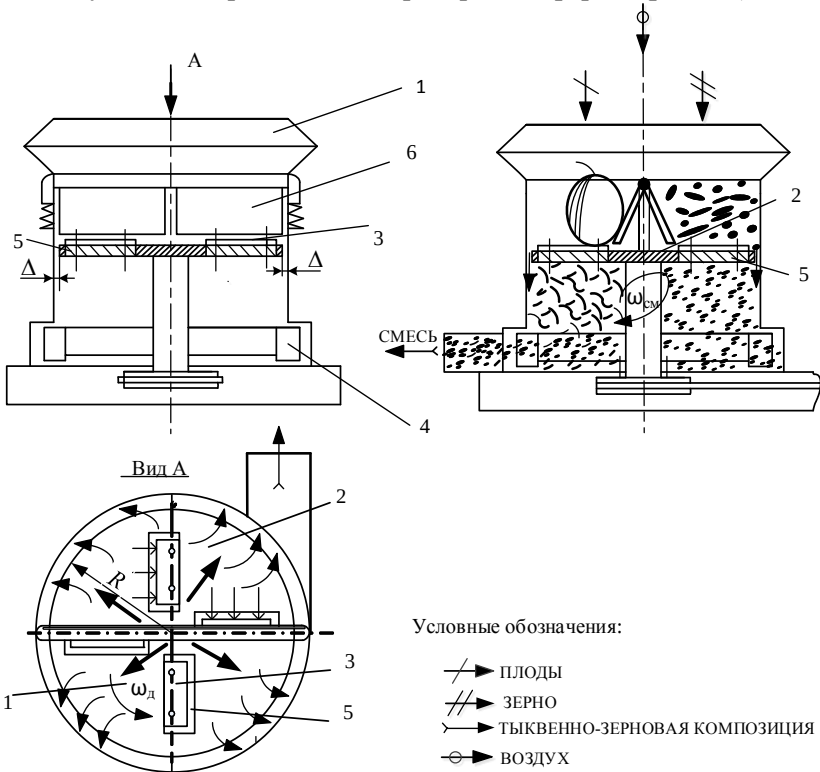


Рис. 2.6. Схема к определению параметров измельчителя плодов тыквы: 1 – камера измельчения; 2 – диск; 3 – ножи; 4 – выгрузные лопасти; 5 – выгрузная горловина; 6 – ограничительные пластины

Процесс измельчения осуществляется путем снятия стружки

с вращающегося относительно своей оси плода. Такое вращение обеспечивается плоду вращающимся диском с ножами и упором. Рабочим органом измельчителя является диск 2 с четырьмя ножами 3, которые крепятся к диску болтами и располагаются над окнами, выполненными в диске.

В нижней части корпуса измельчителя находится привод диска, а также лопасти 4, жестко связанные с валом измельчителя. Над диском 2 располагаются ограничительные пластины 6, разделяющие камеру измельчения на две равные части.

В одну часть измельчителя подается зерно, а в другую – плоды, в том числе и в замороженном виде, которые попадают на поверхность диска, вращающегося с определенной скоростью. Измельченные ножами частицы попадают в пространство под диском 3, где происходит смешивание с зерном.

Фруктово-зерновая смесь с усредненной температурой удаляется из машины выгрузными лопастями 4.

С точки зрения технологии изготовления ножей измельчителя их целесообразно выполнить в виде прямоугольника. Точно также отверстие в диске, над которым располагают нож целесообразно выполнить в виде прямоугольника. На наш взгляд, наиболее рациональной является схема установки ножа (клина) в соответствии с рисунком 2.7, представляющая собой клинообразный нож, установленный над окном, выполненном в диске.

Радиус диска обозначим R_d . Будем полагать, что отверстие в диске располагается так, что одна из его сторон (рис. 2.7) параллельна одной из геометрических осей диска, а другая - второй из геометрических осей. На рисунке 2.7 сторона СВ (DA) параллельна вертикальной оси, а сторона АВ (DC) – горизонтальной оси диска. Длину стороны обозначим l . Сторона СВ расположена на расстоянии R_0 от центра диска О.

Нож крепится к диску так, что кромка рабочей части лезвия находится в одной вертикальной плоскости со стороной АВ отверстия. Поэтому в дальнейшем на рисунке 2.7 сторону АВ отверстия будем отождествлять с кромкой рабочей части лезвия.

Рассмотрим некоторые элементы теории резания тыквы лезвием АВ.

$$\operatorname{tg} \tau_M = \frac{p}{R_0 + b_M} . \quad (2.39)$$

Расстояние точки А лезвия от центра вращения О лезвия определится по зависимости

$$r_A = \sqrt{(R_0 + l)^2 + p^2} \quad (2.40)$$

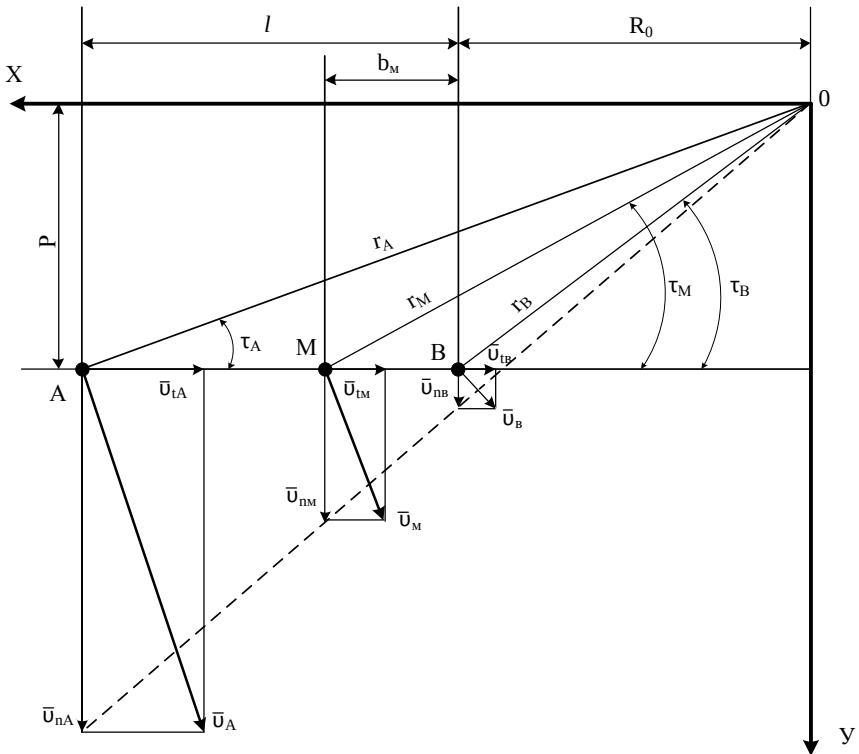


Рис. 2.8. Схема к обоснованию характеристик ножа
измельчителя плодов

Угол τ_A между радиусом вектором r_A и кромкой лезвия ножа АВ определится по зависимости

$$tg\tau_A = \frac{p}{R_0 + l} \quad (2.41)$$

Расстояние точки В от центра О вращения лезвия определится по зависимости

$$r_B = \sqrt{R_0^2 + p^2} . \quad (2.42)$$

Угол τ_B между радиусом - вектором r_B и кромкой лезвия ножа АВ определяется по зависимости

$$tgr_B = \frac{p}{R_0} . \quad (2.43)$$

Скорость произвольной точки М лезвия равна

$$v_M = \omega \cdot r_M , \quad (2.44)$$

где ω – угловая скорость вращения лезвия (диска).

Скорость v_M можно разложить на нормальную скорость

$$v_{nM} = \omega \cdot r_M \cdot \cos\tau_M = \omega \cdot v_M , \quad (2.45)$$

где

$$v_M = r_M \cdot \cos\tau_M \quad (2.46)$$

и тангенциальную

$$v_{tM} = \omega \cdot r_M \cdot \sin\tau_M = \omega \cdot p . \quad (2.47)$$

Тангенциальная скорость сохраняет свою постоянную величину во всех точках, так как $p = r_M \sin\tau_M = \text{const}$.

Отношение

$$E_M = \frac{v_{tM}}{v_M} = tg\tau_M = \frac{p}{\sqrt{R_0^2 + b_M^2}} \quad (2.48)$$

можно принять за коэффициент скольжения и изобразить функции v_M и $tg\tau_M$ в виде равносторонней гиперболы.

При $b_M=0$ точка М совпадает с точкой В. Тогда в соответствии с выражением (2.48) имеем коэффициент скольжения ножа в точке В равный

$$E_B = \frac{V_{tB}}{V_{nA}} = tg\tau_B = \frac{p}{R_0} . \quad (2.49)$$

При $b_M=l$ точка М совпадает с точкой А. Тогда в соответствии с выражением (2.48) имеем коэффициент скольжения ножа в точке А равный

$$E_A = \frac{V_{tA}}{V_{nA}} = \operatorname{tg} \tau_A = \frac{P}{R_0 + l} . \quad (2.50)$$

Сопоставление выражений (2.49) и (2.50) показывает, что наибольший коэффициент скольжения ножа имеет место в точке В, а наименьший – в точке А.

$$\frac{E_B}{E_A} = \frac{\operatorname{tg} \tau_B}{\operatorname{tg} \tau_A} = \frac{R_0 + l}{R_0} . \quad (2.51)$$

Известно, чем больше коэффициент скольжения, тем меньше усилие требуется на процесс резания (на снятие стружки, например, с плода тыквы).

Для определения общего усилия резания P плодов может быть применена известная рациональная формула акад. В.П. Горячкина [35]

$$P = P_0 + kbh + Ebhv^2 , \quad (2.52)$$

где P_0 – некоторое постоянное сопротивление; k и E – коэффициенты пропорциональности; b – ширина срезаемой стружки; h – толщина срезаемой стружки (высота вылета ножа); v – скорость резания (средняя скорость резания).

Слагаемые рациональной формулы расчленяют общее сопротивление на три части: некоторое постоянное сопротивление, не зависящее от стружки P_0 ; сопротивление деформации отрезаемого слоя P_q ; сопротивление, зависящее от скорости резания P_v . В общем виде рациональная формула может быть записана

$$P = P_0 + P_q + P_v \quad (2.53)$$

По определению слагаемых P_0 , P_q и P_v правой части формулы (2.53) проведены многочисленные исследования. Полученные при этом зависимости для определения среднего усилия резания громоздки. Таким образом, рациональная формула академика В.П. Горячкина хорошо объясняет физическую сущность процесса резания и в этом смысле она является рациональной.

Но в силу громоздкости определения среднего усилия резания она является нерациональной. Поэтому при расчетах пользуются средним удельным усилием резания, чем воспользуемся в своих дальнейших расчетах.

Ширина стружки $b_1 = A_1 B_1$, снимаемой с продукта в процессе

резания (рис. 2.9), в общем случае не равна длине $l=AB$ рабочей части лезвия (ширине отверстия в диске) и, как правило, $b_l \leq l$.

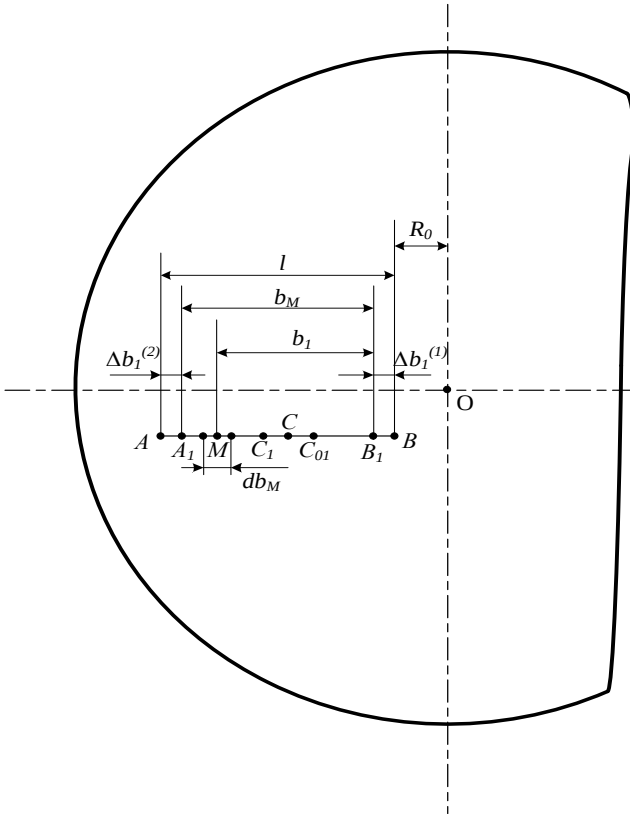


Рис. 2.9. Схема к обоснованию параметров ножа измельчителя плодов

При этом ширина $b_l=A_1B_1$ в общем случае не является непрерывной функцией времени t (или угла поворота лезвия). Середина стружки C в общем случае не совпадает с серединой C рабочей части лезвия (ширины отверстия в диске). Между точкой B лезвия и правой стороной стружки имеет место расстояние $\Delta b_l^{(1)}$. Между точкой A лезвия и левой стороной стружки имеет место расстояние $\Delta b_l^{(2)}$. При этом, как правило, $\Delta b_l^{(1)} \neq \Delta b_l^{(2)}$.

Между величинами $\Delta b_I^{(2)}$, b_I , $\Delta b_I^{(1)}$ и b имеет место зависимость $\Delta b_I^{(1)} + b_M + \Delta b_I^{(2)} = l$. (2.54)

Величины $\Delta b_I^{(2)}$, b_I , $\Delta b_I^{(1)}$ являются случайными величинами. Удельное усилие резания в точке М лезвия обозначим q_M - усилие, приходящееся на единицу длины лезвия. Его величина устанавливается опытным путем.

Усилие резания на элементарном участке лезвия длины db_M , расположенного около точки М лезвия, равно

$$dQ_M = q_M db_M. \quad (2.55)$$

Усилие резания по всей рабочей длине b_I лезвия

$$Q_I = \sum_{(b_I)} q_M db_M = \int_{\Delta b_I^{(1)}}^{\Delta b_I^{(1)} + b_I} q_M db_M = \int_{\Delta b_I^{(1)}}^{b - \Delta b_I^{(2)}} q_M db_M. \quad (2.56)$$

Определим точку приложения C_{Q_I} силы Q_I , находящуюся на отрезке $A_I B_I = b_I$, относительно точки В. По теореме Вариньона

$$Q_I BC_{Q_I} = \sum_{(b_I)} dQ_M b_M = \int_{\Delta b_I^{(1)}}^{\Delta b_I^{(1)} + b_I} b_M q_M db_M = \int_{\Delta b_I^{(1)}}^{b - \Delta b_I^{(2)}} b_M q_M db_M. \quad (2.57)$$

Из выражения (2.57) следует

$$BC_Q = \frac{\int_{\Delta b_I^{(1)}}^{b - \Delta b_I^{(2)}} q_M b_M db_M}{Q_I} \quad (2.58)$$

Момент силы Q_I относительно центра О вращения ножа (диска) – момент сопротивления резания для рассматриваемого положения

$$M_1 = Q_I r_{Q_I}, \quad (2.59)$$

где r_{Q_I} – плечо силы Q_I относительно точки О.

Из рисунка 2.9 следует

$$r_{Q_I} = R_0 + BC_{Q_I} \quad (2.60)$$

С учетом выражений (2.58) и (2.60) выражение (2.59) принимает вид

$$M_1 = Q_1 r_{Q_1} = Q_1 R_0 + \frac{Q_1 \int_{\Delta b_1^{(1)}}^{b-b^{(2)}} q_M b_M db_M}{Q_1} = QR_0 + \int_{\Delta b_1^{(1)}}^{b-b^{(2)}} q_M b_M db_M \quad (2.61)$$

Средний момент сопротивления резанию за один оборот диска (ножа) равен

$$M = \frac{\int_0^{2\pi} M_1 d\varphi}{2\pi}, \quad (2.62)$$

где $d\varphi$ – элементарный угол поворота диска (ножа).

С учетом выражения (2.61) выражение (2.62) принимает вид

$$M = \frac{\int_0^{2\pi} \left(Q_1 R_0 + \int_{\Delta b_1^{(1)}}^{b-\Delta b_1^{(2)}} q_M b_M db_M \right) d\varphi}{2\pi}. \quad (2.63)$$

Выше отмечалось, что величины $\Delta b_1^{(1)}$, b_1 , $\Delta b_1^{(2)}$ являются случайными величинами. Точно также величины q_M и Q_1 являются тоже случайными.

Выражение (2.63) можно свести к виду

$$M = kql \left(R_0 + \frac{1}{2} \right), \quad (2.64)$$

где q – среднее удельное сопротивление резанию; k – коэффициент ($k < 1$), учитывающий тот факт, что снимаемая стружка, как правило, по ширине меньше ширины отверстия в диске (длины резания ножа), то есть, что при этом среднее усилие сопротивления резанию приложено к лезвию на его середине C (то есть точки C_{Q1} , варьируя относительно C то влево, то вправо имеет своим центром точку C). Точно также средние величины случайных величин $\Delta b_1^{(2)}$ и $\Delta b_1^{(1)}$ равны между собой и равны по величине

$$\Delta b_{cp}^{(2)} = \Delta b_{cp}^{(1)} = \frac{l - kl}{2} = \frac{l(1-k)}{2}. \quad (2.65)$$

Средняя мощность (за один оборот), затрачиваемая на снятие стружки продукта одним ножом

$$N_1^{(1)} = M\omega, \quad (2.66)$$

где $\omega = \pi n / 30$ – угловая скорость ножа (диска).

Средняя мощность (за один оборот), затрачиваемая на снятие стружки продукта всеми четырьмя ножами дискового измельчителя

$$N_1 = 4M\omega, \quad (2.67)$$

Подставляя выражение (2.64) в выражение (2.67), окончательно получим формулу для определения мощности, необходимой для снятия стружки дисковым измельчителем плодов

$$N_1 = 4kql \left(R_0 + \frac{l}{2} \right) \frac{\pi n}{30}. \quad (2.68)$$

При работе измельчителя загружаемый в бункер плод, например, тыквы, в силу наличия ограничительных пластин в бункере вращается вокруг своей оси и создает вертикальное давление на диск [29, 25, 30]. Величина вертикального давления k массы плодов тыквы пропорциональна высоте H наполнения бункера и определяется следующим образом. Пусть диаметр диска равен D , высота наполнения бункера H , плотность плодов γ .

Тогда масса продукта, заполняющего бункер

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} H \gamma. \quad (2.69)$$

Давление k продукта на диск равно

$$k = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{\frac{\pi D^2}{4} H \gamma}{\frac{\pi D^2}{4}} = H \gamma. \quad (2.70)$$

Выразим элементарную площадку dS (рис. 2.10) на круге диска следующим образом. Проведем горизонтальную X-X и вертикальную Y-Y оси через центр O круга. Проведем две окружности: 1) радиусом ρ ($0 \leq \rho \leq R = D/2$); и 2) радиусом $\rho + d\rho$. Проведем два луча из центра O круга: луч 01 под углом φ к оси X и луч 02 под углом $\varphi + d\varphi$ к оси X. Будем различать элементарную площадку, ограниченную окружностями радиусов ρ и $\rho + d\rho$ с одной стороны и лучами 02 и 01 с другой.

Выделенная таким образом элементарная площадка (рис. 2.10)

заштрихована. Площадь dS этой площадки с точностью до величины второго порядка можно представить как площадь прямоугольника.

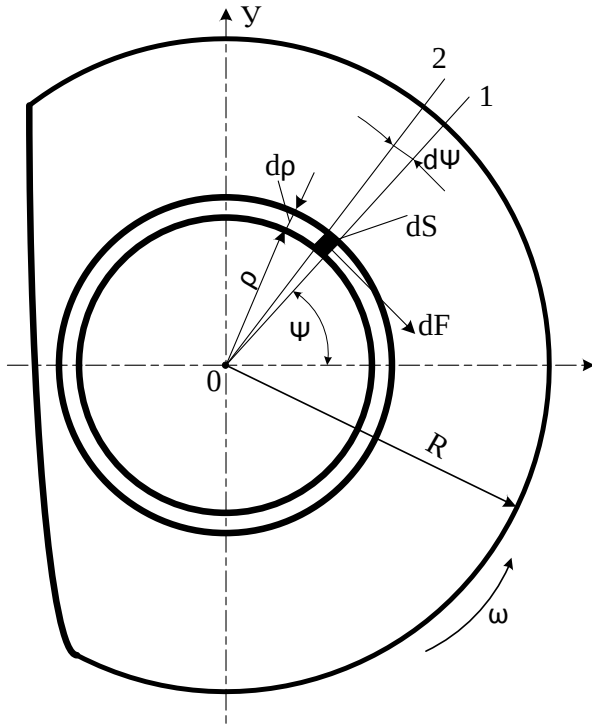


Рис. 2.10. Схема к определению мощности, затрачиваемой на преодоление сил трения скольжения по поверхности диска

По величине dS равна

$$dS = (\rho d\varphi) d\rho. \quad (2.71)$$

На площадь dS действует нормальная сила давления

$$dN = k dS = H \rho d\varphi d\rho. \quad (2.72)$$

При скольжении диска относительно плода на площадке dS возникает сила трения

$$dF = dN f, \quad (2.73)$$

где f – коэффициент трения скольжения диска по плоду.

Сила трения dF направлена в сторону, противоположную скорости скольжения, то есть перпендикулярно радиусу ρ в сторону, противоположную вращению (рис. 2.10).

С учетом dN имеем

$$dF = dNf = fH\gamma\rho d\varphi d\rho, \quad (2.74)$$

Сила dF порождает элементарный момент сопротивления

$$dM = \rho dF = fH\gamma\rho^2 d\varphi d\rho. \quad (2.75)$$

Элементарный момент сопротивления dM порождает элементарную мощность сопротивления силы трения скольжения плода по диску.

$$dN_2 = dM\omega. \quad (2.76)$$

Полная мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения по всей площади определяется по выражению

$$\begin{aligned} N_2 &= \sum_{(S)} dN_2 = \sum_{(S)} \omega dM = \omega \sum_{(S)} dM = \\ &= \omega \sum_{(S)} fH\gamma\rho^2 d\varphi d\rho = \omega\gamma fH \int_0^{2\pi} \int_0^R \rho^2 d\varphi d\rho = \omega\gamma fH \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^R \rho^2 d\rho, \end{aligned} \quad (2.77)$$

произведя интегрирование, получим

$$N_2 = \frac{2}{3} \gamma HR^3 f \pi \omega, \quad (2.78)$$

учитывая, что $\gamma\pi R^2 H = Q$ (Q - масса продукта в бункере), окончательно имеем

$$N_2 = \frac{2QRf\omega}{3}. \quad (2.79)$$

Производительность измельчения прямо пропорциональна скорости вращения рабочего органа – диска (ножа).

На снятие стружки с продукта влияет нормальная составляющая скорости лезвия АВ (рис. 2.8).

Эпюра нормальной скорости точек лезвия АВ представлена на рисунке 2.11.

Нормальная составляющая скорости произвольной точки М лезвия определяется по зависимости

$$v_{n_M} = \omega r_M \cos \tau_M. \quad (2.80)$$

Из выражения (2.39) следует

$$\cos \tau_M = \frac{R_0 + b_M}{\sqrt{(R_0 + b_M)^2 + p^2}}. \quad (2.81)$$

Выражение (2.80) с учетом (2.45) и (2.81) принимают вид

$$v_{n_M} = \omega R_M \cos \tau_M = \omega (R_0 + b_M). \quad (2.82)$$

Нормальные составляющие скорости точки А и точки В определяются на основании выражения (2.82)

$$\text{при } b_M=1, \quad v_{n_A} = \omega (R_0 + l) \quad (2.83)$$

$$\text{при } b_M=0, \quad v_{n_B} = \omega R_0 \quad (2.84)$$

Будем считать, что толщина стружки продукта равна высоте вылета ножа над диском и обозначим ее h , а ширина стружки равна постоянной величине l (длине лезвия ножа).

Элементарное поперечное сечение стружки около произвольной точки M имеет ширину db_M (рис. 2.11) и высоту h .

Площадь этого элементарного сечения стружки

$$dA = hdb_M, \quad (2.85)$$

Элементарная производительность измельчителя dQ , соответствующая длине лезвия db_M , равна

$$dQ = dA v_{n_M} \gamma_M, \quad (2.86)$$

где γ_M – плотность продукта.

Производительность одного ножа

$$Q = \sum_{(S)} dQ = \sum_{(S)} \gamma_M v_{n_M} dA. \quad (2.87)$$

Подставляя значение dA из выражения (2.85) в выражение (2.87) будем иметь

$$Q = \sum_{(S)} \gamma_M v_{n_M} hdb_M = h \int_{R_0}^{R_0+l} \gamma_M v_{n_M} db_M. \quad (2.88)$$

С учетом выражения (2.82) выражение (2.86) принимает вид

$$Q = h \int_{R_0}^{R_0+l} \gamma_M \omega (R_0 + b_M) db_M. \quad (2.89)$$

После преобразования выражение (2.89) принимает вид

$$Q = h\gamma\omega \int_{R_0}^{R_0+l} (R_0 + b_M) db_M. \quad (2.90)$$

Интегрируя, получим

$$Q = h\gamma\omega \left(2R_0l + \frac{l^2}{2} \right) = \frac{hl\gamma\omega(4R_0 + l)}{2}. \quad (2.91)$$

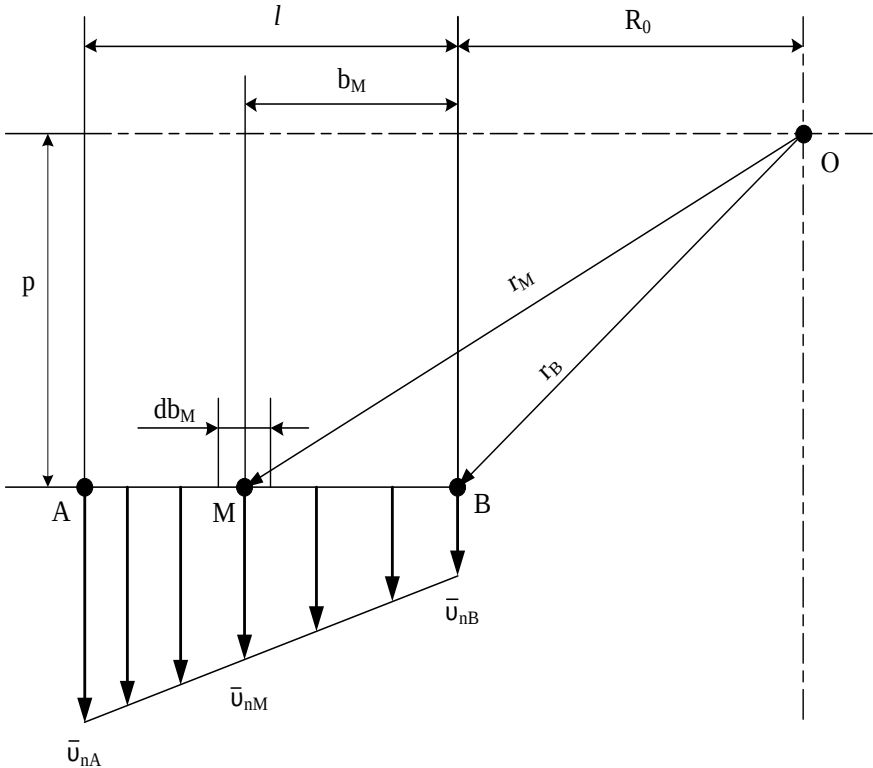


Рис. 2.11. Схема к обоснованию нормальной скорости движения лезвия ножа

Производительность измельчителя зависит от количества z установленных ножей, то есть

$$Q_z = zQ = \frac{zhb\gamma(4R_0 + b)\omega}{2}. \quad (2.92)$$

Производительность измельчителя определяется по зависимости выражения (2.92) в том случае, когда толщина h и ширина b стружки являются постоянными (возможно максимальными) величинами.

При работе измельчителя, как правило, действительная величина ширины стружки меньше величины l , а действительная величина высоты стружки меньше величины h .

Тогда действительная производительность измельчителя определится по зависимости

$$Q_{изм} = z \cdot h \cdot b \cdot \gamma \cdot (4R_0 + b) \cdot \omega \cdot k_l \cdot k_h, \quad (2.93)$$

где $k_l < 1$ – коэффициент ширины стружки; $k_h < 1$ – коэффициент высоты стружки.

Величины k_l и k_h можно установить только опытным путем.

За элементарный промежуток времени dt через отверстия диска выбрасывается (удаляется) элементарная масса стружки, равная

$$dI = Qdt. \quad (2.94)$$

Масса частиц стружки dI равна

$$dm = \frac{dI}{q}. \quad (2.95)$$

С учетом выражения (2.94) выражение (2.95) запишется в виде

$$dT = \frac{Qdt}{q}. \quad (2.96)$$

Кинетическая энергия, приобретаемая массой m равна

$$dT = dm \frac{V^2}{2}. \quad (2.97)$$

По закону сохранения энергии между работой dA , затрачиваемой на приобретение кинетической энергии dT и самой кинетической энергией dT имеется зависимость

$$dA = dT. \quad (2.98)$$

Мощность, затрачиваемая на приобретение кинетической энергии dT при выбрасывании частиц стружки продукта

$$N_3 = \frac{dA}{dT}. \quad (2.99)$$

Выражение (2.99) после преобразования принимает вид

$$N_3 = \frac{dA}{dT} = \frac{dT}{dt} = \frac{dm \frac{v^2}{2}}{dt} = \frac{Qdtv^2}{2qdt} = \frac{Qv^2}{2q}. \quad (2.100)$$

Мощность, затрачиваемая на удаление (выбрасывание) частиц стружки продукта через отверстия диска определяется зависимостью

$$\begin{aligned} N_3 &= \frac{Qv^2}{2q} = \frac{zbh\gamma(4R_0 + b)\omega k_l k_h (\omega(R_0 + b))^2}{4q} = \\ &= \frac{1}{4q} z(4R_0 + b)(R_0 + b)^2 bh\gamma k_l k_h \omega^3. \end{aligned} \quad (2.101)$$

Полная мощность, затрачиваемая на весь процесс измельчения, состоит из трех слагаемых:

– мощности, затрачиваемой на снятие стружки

$$N_1 = 4kql \left(R_0 + \frac{l}{2} \right) \omega;$$

– мощности, затрачиваемой на преодоление сил трения скольжения корнеплода по поверхности диска

$$N_2 = \frac{2QRf\omega}{3}.$$

– мощности, затрачиваемой на выбрасывание частиц стружки продукта через отверстия диска

$$N_3 = \frac{z(4R_0 + b)(R_0 + b)^2 bh\gamma k_l k_h \omega^3}{4q}$$

Таким образом, полная мощность, затрачиваемая на весь процесс измельчения плода тыквы, равна

$$N = N_1 + N_2 + N_3. \quad (2.102)$$

Плод в процессе снятия в него стружки находится в состоянии вращательного движения по отношению к бункеру. Когда длина l снятой стружки относительно мала (значительно меньше

длины H отверстия) стружка свисает в виде консоли над отверстием диска. Под воздействием ножа, собственной массы и других сил от стружки отделяются частицы длиной l . Длина l является случайной величиной и находится в интервале $0 < l < H$. Под действием силы собственного веса частица начинает падать вниз. Начальная скорость падения частицы равна нулю. При этом в силу большой скорости вращения диска во время падения при прохождении отверстия на частицу обязательно воздействует правая грань CE отверстия диска, и частица приобретает скорость, равную скорости $v_{nD} = v_{nA}$ (рис. 2.12).

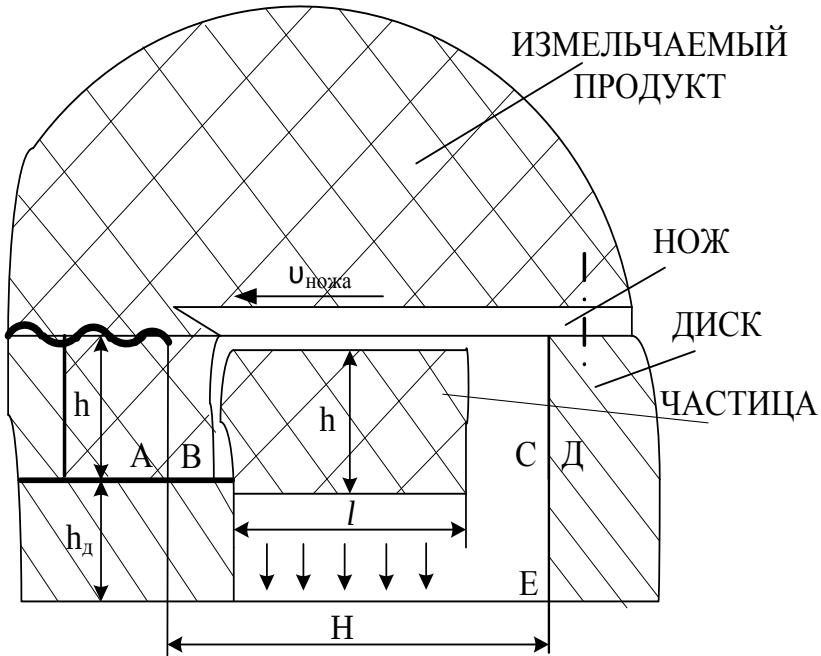


Рис. 2.12. Схема к обоснованию параметров процесса удаления частиц в подбункрное пространство измельчителя

Докажем это простыми расчетами. Толщину диска обозначим h_d . Тогда высота падения верхних точек частицы стружки

(при прохождении точек частицы стружки через отверстие диска) равна

$$h_h = h_d + h, \quad (2.103)$$

где h – толщина стружки (вылет ножа).

Время свободного падения верхней точки частицы стружки определяется по зависимости

$$t_{hn} = \sqrt{\frac{2h_n}{g}}, \quad (2.104)$$

где g – ускорение свободного падения тела.

Полагаем, что толщина диска h_d равна 2 мм (очевидно, что тоньше диск не может быть), а толщина стружки $h = 3$ мм. Тогда $h_n = h_d + h = 2 + 3 = 5$ мм. Определим время движения грани СЕ, по истечении которого точка Д вертикальной грани СЕ придет в соприкосновение с частицей стружки длиной l ($0 < l < H$). Это время обозначим t_d . Тогда точка Д грани СЕ, двигаясь вдоль ДА со скоростью $v_{nД} = v_{nА}$ за время t_d пройдет путь $S_d = H - l$. Будем иметь равенство $S_d = H - l = v_{nА} t_d$. Отсюда

$$t_d = \frac{H - l}{v_{nА}}. \quad (2.105)$$

Подставляя в выражение (2.104) $v_{nА} = \omega(R_0 + b)$ из выражения (2.82) получим

$$t_{\dot{A}} = \frac{H - l}{\omega(R_0 + b)}. \quad (2.106)$$

Минимальное время t_d , по истечении которого произойдет соприкосновение дальней грани отверстия с падающей частицей стружки, как и следовало ожидать (на основании выражения (2.82)) имеет место при $H = l$ и равно нулю.

Максимальное время t_d , по истечении которого произойдет соприкосновение грани отверстия с падающей частицей стружки, на основании выражения (2.106) имеет место при $l = 0$ и равно

$$t_{d\max} = \frac{H}{\omega(R_0 + b)}. \quad (2.107)$$

В свою очередь максимальное значение величины $t_{d\max}$, т.е.

$\max t_{Д\max}$, имеет место при $H=H_{\max}$ и определяется из выражения

$$\max t_{Д\max} = \frac{H_{\max}}{\omega(R_0 + b)}. \quad (2.108)$$

Теоретически $H_{\max}$ равен стороне вписанного квадрата в окружность радиусом $r=D/2$ (D - диаметр диска измельчителя), т.е.

$$H_{\max} = \sqrt{2}R. \quad (2.109)$$

В таком случае необходимо принять $b=0$ и

$$R_0 = \frac{H_{\max}}{2} = \frac{\sqrt{2}}{2}R.$$

Тогда $\max t_{Д\max}$ на основании выражения (2.108) с учетом выражения (2.109) и того, что $b=0$ определится по выражению

$$\max t_{Д\max} = \frac{\sqrt{2}R}{\omega \left(\frac{\sqrt{2}}{2}R_0 + 0 \right)} = \frac{2}{\omega} \quad (2.110)$$

Подставляя в выражение (2.110) значение $\omega=\pi n/30$, будем иметь

$$\max t_{Д\max} = \frac{60}{\pi n}, \quad (2.111)$$

где n – число оборотов в минуту диска измельчителя.

В соответствии с данными, приведенными в литературе, число оборотов $n=1200$ - 2000 об/мин.

Принимая наименьшую величину $n=1200$ об/мин, максимально возможная величина

$$t_{Д} = \frac{60}{\pi n_{\min}} = \frac{60}{\pi \cdot 1200} = 0,0159 \text{ с}.$$

Возвратимся к выражению

$$t_{hm} = \sqrt{\frac{2h_n}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5}{1000 \cdot 9,81}} = 0,0319 \text{ с}.$$

Сопоставление дает

$$t_{hm}=0,0319 \text{ с} > t_{Д}=0,0159 \text{ с}; \text{ или } t_{hm}=2t_{Д}$$

Таким образом, даже в самом неблагоприятном случае (минимальная скорость вращения, максимальная длина отверстия диска, минимальная длина стружки) дальняя грань отверстия воздействует на выпадающую из отверстия частицу стружки. Это объясняется: 1) малой скоростью свободного падения в начальный момент; 2) большой скоростью вращения диска.

Частицы стружки выбрасываются из отверстия диска со скоростью $v_0 = v_{nD} = v_{nA}$ в горизонтальном направлении. Выбрасывание может произойти в любом (произвольном) положении диска. Для простоты изложения принимаем, что выбрасывание частицы происходит тогда, когда горизонтальная скорость выбрасывания v_0 совпадает по направлению с горизонтальной осью X_1 , расположенной в плоскости чертежа. Если только совпадения нет, то плоскость, в которой происходит полет и в которой находится скорость v_0 , совмещаем с плоскостью чертежа (рис. 2.13).

Для удобства положительное направление оси Z_1 направлено сверху вниз. Точка выпадения D частицы стружки совпадает с началом координат O_1 осей X_1Y_1 .

Частицу уподобляем точке (считаем, что масса частицы стружки сосредоточена в центре тяжести частицы). Так как скорость выброса частицы большая, то движение частицы необходимо рассматривать с учетом сопротивления воздуха. Силу сопротивления воздуха представим в виде

$$\bar{R} = \alpha \bar{v}_1, \quad (2.112)$$

где α – коэффициент пропорциональности; $\bar{v}_1$ – скорость движения частицы.

Обозначим

$$\frac{\alpha}{m} = k, \quad (2.113)$$

где m – масса частицы.

Коэффициент k равен модулю силы сопротивления воздуха, приходящейся на единицу массы движущегося тела, при скорости его равной единице, и имеет размерность (c^{-1}).

под действием силы тяжести $\bar{G}$ и силы сопротивления воздуха $\bar{R}$

$$m\bar{a}_1 = \bar{G} - \bar{R} = m\bar{g} - mk\bar{v}_1. \quad (2.114)$$

Проецируя (2.114) на оси координат X_1 и Z_1 , получим дифференциальное уравнение движения частицы

$$\ddot{x}_1 + k\dot{x}_1 = 0 \quad (2.115)$$

$$\ddot{z}_1 + k\dot{z}_1 = g \quad (2.116)$$

Решая дифференциальное уравнение (2.116), получим

$$x_1 = C_1 e^{\eta_1 t} + C_2 e^{r_2 t} = C_1 + C_2 e^{-kt}, \quad (2.117)$$

где C_1 и C_2 – произвольные интегрирования, которые определяются из начальных условий.

Или, проведя преобразования,

$$x_t = \frac{v_0}{k} - \frac{v_0}{k} e^{-kt} = \frac{v_0}{k} (1 - e^{-kt}). \quad (2.118)$$

Аналогично для выражения (2.119)

$$z_1 = C_1 + C_2 e^{-kt},$$

и

$$z_1 = C_1 + C_2 e^{-kt} + \frac{q}{k} t. \quad (2.119)$$

Произвольные постоянные интегрирования C_1 и C_2 определим из начальных условий.

При $t=0$ $Z_1=0$. Тогда выражение (2.119) принимает вид

$$C_1 + C_2 = 0. \quad (2.120)$$

Продифференцируем выражение (2.119) по времени t . Будем иметь

$$\dot{z}_1 = -kC_2 e^{-kt} + \frac{q}{k} \quad (2.121)$$

при $t=0$, $\dot{y}_1 = 0$. Тогда выражение (2.121) запишем как

$$-kC_2 + \frac{q}{k} = 0,$$

$$\text{отсюда} \quad C_2 = \frac{q}{k^2}, \quad (2.122)$$

так как $C_1 = -C_2$, то с учетом выражения (2.122)

$$C_1 = -C_2 = -\frac{q}{k^2}. \quad (2.123)$$

Подставляя выражение (2.123) и (2.122) в выражение (2.119) получим

$$z_1 = C_1 + C_2 e^{-kt} + \frac{q}{k} t = -\frac{q}{k^2} + \frac{q}{k^2} e^{-kt} + \frac{q}{k} t = \frac{q}{k^2} (e^{-kt} + kt - 1). \quad (2.124)$$

Следовательно, уравнениями движения частицы стружки в проекциях на оси координат являются

$$x_1 = \frac{v_0}{k} (1 - e^{-kt}), \quad (2.125)$$

$$z_1 = \frac{q}{k^2} (e^{-kt} + kt - 1). \quad (2.126)$$

Найдем уравнение траектории движения частицы стружки. Для этого исключим время t из уравнений (2.125) и (2.126). Уравнение (2.125) представим в виде

$$\frac{v_0}{k} e^{-kt} = \frac{v_0}{k} - x_1. \quad (2.127)$$

Проведя преобразования, получим

$$e^{-kt} = \frac{k}{v_0} \left(\frac{v_0}{k} - x_1 \right) = 1 - \frac{k}{v_0} x_1. \quad (2.128)$$

Логарифмируя выражение (2.128), получим

$$t = -\frac{\ln \left(1 - \frac{k}{v_0} x_1 \right)}{k}. \quad (2.129)$$

Подставляя t из выражения (2.129) в выражение (2.126) получаем уравнение траектории движения стружки

$$\begin{aligned}
 z &= \frac{q}{k^2} \left[e^{\left(-k \frac{\ln \left(1 - \frac{k}{v_0} x_1 \right)}{k} \right)} + k \left(-\frac{\ln \left(1 - \frac{k}{v_0} x_1 \right)}{k} \right) - 1 \right] = \\
 &= \frac{q}{k} \left(e^{\ln \left(1 - \frac{k}{v_0} \right) x_1} - \ln \left(1 - \frac{k}{v_0} x_1 \right) - 1 \right) \quad (2.130)
 \end{aligned}$$

Расстояние от точки O_1 (начальной точки движения частицы стружки) до внутренней цилиндрической поверхности радиуса R (измеряемое вдоль оси x_1) обозначим X_1 . Расстояние X_1 является дальностью полета стружки.

При $x_1 = X_1$ происходит удар частицы стружки о цилиндрическую поверхность в некоторой точке L_1 (вертикальная и горизонтальная проекции точки L_1 изображены на рисунке 2.13).

Из рисунка 2.13 следует, что дальность полета X_1 определяется по выражению

$$X_1 = \sqrt{O_1 L_{1H}^2 - O O_1^2} = \sqrt{R^2 - (R_0 + b)^2}. \quad (2.131)$$

Удар частицы стружки о цилиндрическую поверхность в точке L_1 произойдет по истечении времени полета, которое обозначим t_n . Время t_n определяется на основании выражения (2.125), полагая в нем $x_1 = X_1$ и $t = t_n$, то есть из уравнения

$$X_1 = \frac{v_0}{k} (1 - e^{-kt_n}). \quad (2.132)$$

Из выражения (2.128) следует

$$e^{-kt_n} = \frac{v_0}{k} - X_1. \quad (2.133)$$

В свою очередь из выражения (2.129) следует

$$-kt_i = \ln \left(\frac{v_0}{k} - X_1 \right),$$

отсюда

$$t_{II} = -\frac{\ln\left(\frac{\nu_0}{k} - X_1\right)}{k}. \quad (2.134)$$

Вертикальная координата точки L - координата точки, определенная по формуле (2.120) при $t = t_n$

$$z_{1L} = \frac{q}{k^2} \left(e^{-kt_{II}} + kt_{II} - 1 \right). \quad (2.135)$$

Формула (2.135) после подстановки t_n из выражения (2.134) запишется так:

$$z_{1L} = \frac{q}{k^2} \left(e^{\ln\left(\frac{\nu_0}{k} - x_1\right)} - \ln\left(\frac{\nu_0}{k} - x_1\right) - 1 \right). \quad (2.136)$$

Определим скорость частицы стружки в момент ее удара о цилиндрическую поверхность.

Дифференцируя выражение (2.125) по времени t , получим

$$\dot{x} = \nu_0 e^{-kt}. \quad (2.137)$$

Дифференцируя выражение (2.126) по времени t , получим

$$\dot{z}_1 = \frac{q}{k^2} (-ke^{-kt} + k) = \frac{q}{k} (1 - e^{-kt}). \quad (2.138)$$

При ударе горизонтальная составляющая скорости (в момент времени t_n) на основании выражения (2.137) равна

$$\dot{x}_{1II} = \nu_0 e^{-kt_{II}}. \quad (2.139)$$

При ударе вертикальная составляющая скорости частицы стружки на основании выражения (2.138) равна

$$\dot{z}_{1II} = \frac{q}{k} (1 - e^{-kt_{II}}). \quad (2.140)$$

Величина скорости частицы стружки при ударе равна

$$\nu_{1II} = \sqrt{\dot{x}_{1II}^2 + \dot{z}_{1II}^2}. \quad (2.141)$$

С учетом выражений (2.139) и (2.140) выражение (2.141) принимает вид

$$\nu_{1II} = \sqrt{\nu_0^2 e^{-2kt_{II}} + \frac{q}{k^4} (1 - e^{-kt_{II}})^2}. \quad (2.142)$$

Скорость v_{III} направлена по касательной к траектории частицы стружки, описываемой уравнением (2.97), при $x_1=X_1$

$$v_{III} = \frac{v_0}{k} (1 - e^{-kt_{II}}).$$

Проведенные теоретические исследования по обоснованию скорости движения частицы стружки, снимаемой с плода, принятого за шар, в поддисковом пространстве, позволили сделать заключение, что в случае подачи и попадания в поддисковое пространство частиц зернового продукта, будет обеспечено их интенсивное перераспределение между собой, с последующей передачей на приемный транспортер. Данный подход к решению технической задачи по обеспечению предварительного смешивания частиц, например, тыквы и зерна, является рациональным и очевидным (рис. 2.6), как с точки зрения снижения затрат труда и средств, так и с точки зрения повышения качественных показателей процессов последующего формования гранул или брикетов.

Возможность реализации данного подхода, например, для плода тыквы и зерна, является очевидной в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 2.14.

При реализации данного подхода возможным становится осуществление процесса измельчения плодов в замороженном виде. В этом случае, как показали наши исследования, температуры частиц полученной бинарной композиции усредняются:

$$t^0 = \alpha_m \cdot t_m + \alpha_c \cdot t_c,$$

где α_m , α_c – массовые доли измельченных плодов (например, тыквы) и стебельного продукта (например, силоса); t_m , t_c – температура тыквы и зерна.

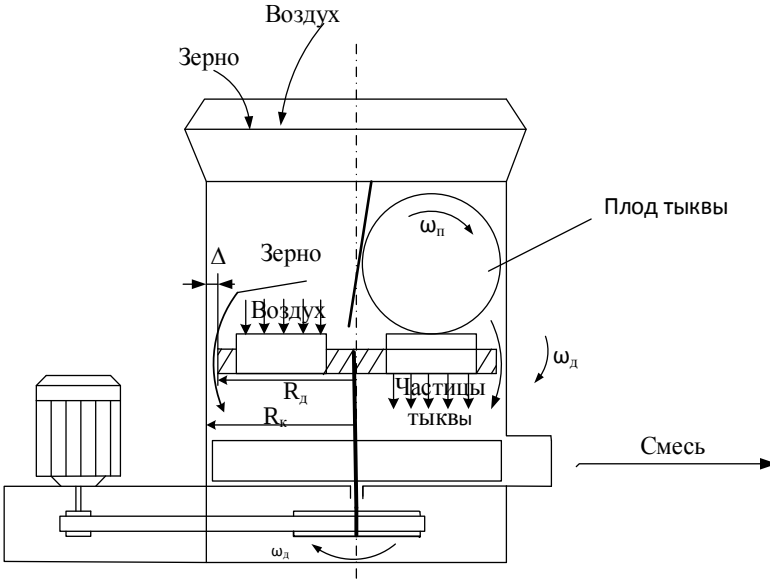


Рис. 2.14. Схема к обоснованию возможности и целесообразности осуществления процесса смешивания компонентов в поддисковом пространстве

Согласно принятой схеме, пропускная способность измельчителя по двум компонентам

$$Q_{изм} = Q_{изм}^{\pi} + Q_{сил} . \quad (2.143)$$

Пропускная способность по зерну:

$$Q_z = \left[4bl_n + \pi(R_k^2 - R_d^2) \right] \Psi \rho v_{\text{воз}} , \quad (2.144)$$

где $v_{\text{воз}}$ – скорость движения частиц зерна с воздухом; Ψ – коэффициент, учитывающий плотность воздушно-зерновой смеси.

С учетом того, что

$$R_k^2 - R_d^2 = \Delta , \quad (2.145)$$

запишем

$$Q_z = \left[4bl_n + \pi\Delta^2 \right] \Psi \rho v_{\text{воз}} . \quad (2.146)$$

2.4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЛИНИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ФОРМОВАННЫХ КОРМОВЫХ ПРОДУКТОВ В СИСТЕМЕ «ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ – МОБИЛЬНЫЙ ПИТАТЕЛЬ»

Анализ технологических линий приготовления кормов для животных и птицы, с точки зрения наличия в них функционально необходимых структурных элементов, а также конструктивных особенностей применяемых технологических средств показал, что они металлоемки и энергоемки. При этом наиболее эффективным с точки зрения снижения данных показателей, особенно для условий малых фермерских хозяйств является использование многофункциональных агрегатов, совмещающих в себе две и более операции технологического процесса.

Данные машины, совмещая как минимум три операции (погрузку и доставку компонентов, а также их подачу в кормоприготовительные машины) позволяют уменьшить затраты труда и средств и, тем самым, снизить себестоимость производимой продукции.

Предварительным анализом также установлено, что за рубежом используются машины, которые в той или иной степени позволяют совмещать до пяти операций, таких как погрузка, измельчение, доставка и подача. Вполне очевидно, что с точки зрения снижения затрат и, в частности, приведенных – ПЗ, данные технические решения являются наиболее эффективными

$$ПЗ = \sum_{n=1}^n (C_i + EK_i) \rightarrow \min, \quad (2.147)$$

где n – число операций;

C_i – эксплуатационные затраты;

E – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

K_i – капитальные затраты по операциям.

С другой стороны, данные технические средства не обладают высокой надежностью выполнения технологических операций и, в частности, по качеству работы. Более того, они должны быть универсальны, в части обрабатываемых кормов.

Для данного типа технических средств принят такой показатель оценки их работы, как неравномерность или погрешность дозирования продуктов – $\delta_p, \%$ при подаче их в кормоприготовительные машины (грануляторы и т.д.) по сути, являющийся коэффициентом вариации

$$\delta_p = f(T\Phi; KP\Phi) \geq [\delta_p], \quad (2.148)$$

где $T\Phi$ – совокупность технологических факторов;

$KP\Phi$ – совокупность конструктивных факторов;

Во-вторых – степень измельчения – $\lambda_{изм}$ кормовых продуктов, с учетом неоднородности гранулометрического состава измельченных продуктов – v .

Значения данных показателей зависят от совокупности технологических и конструктивно-режимных параметров:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{E}_N &= f(\lambda_{изм}; Q_u) \rightarrow \min; \\ \lambda_{изм} &= f(T\Phi; KP\Phi) \rightarrow \text{opt}; \\ Q_{up} &= f(T\Phi; KP\Phi) \rightarrow \text{opt} \end{aligned} \right\}, \quad (2.149)$$

где Q_u – производительность измельчающе-распределяющего устройства.

В то же время эффект от снижения затрат энергии – $\Delta \mathcal{E}_N$ по процессу измельчения кормовых компонентов можно представить в виде условия

$$\Delta \mathcal{E}_N = \frac{N_{\bar{o}}}{Q_{\bar{o}} \cdot \lambda_{\bar{o}}} - \frac{N_{np}}{Q_{np} \cdot \lambda_{np}} > 1, \quad (2.150)$$

где $N_{\bar{o}}, N_{np}$ – соответственно затраты энергии по базовому и предлагаемому вариантам;

$Q_{\bar{o}}, Q_{np}$ – производительность по базовому и предлагаемому вариантам;

$\lambda_{\bar{o}}, \lambda_{np}$ – степень измельчения по базовому и предлагаемому вариантам.

При переходе к стоимостным показателям эффективности имеем, что

$$C = (\mathcal{E}_{\bar{o}} \cdot Q_{\bar{o}} \cdot \lambda_{\bar{o}} \cdot t_{\bar{o}} - \mathcal{E}_{np} \cdot Q_{np} \cdot \lambda_{np} \cdot t_{np}) \cdot C_{\mathcal{E}}, \quad (2.151)$$

где $C_{\mathcal{E}}$ – стоимость единицы энергии (кВт·ч);

t_0, t_{np} – время работы по базовому и предлагаемому вариантам.

Это выражение можно представить, как

$$C = \Delta N_{\text{э}} \cdot t_{\text{зод}} \cdot C_{\text{э}}, \quad (5.152)$$

где $\Delta N_{\text{э}}$ – разность по затратам энергии между базовым и предлагаемыми вариантами.

На основе проведенного анализа разработана структурная схема (рис. 2.15) многофункционального малогабаритного мобильного агрегата (МММА), выполняющего следующие операции:

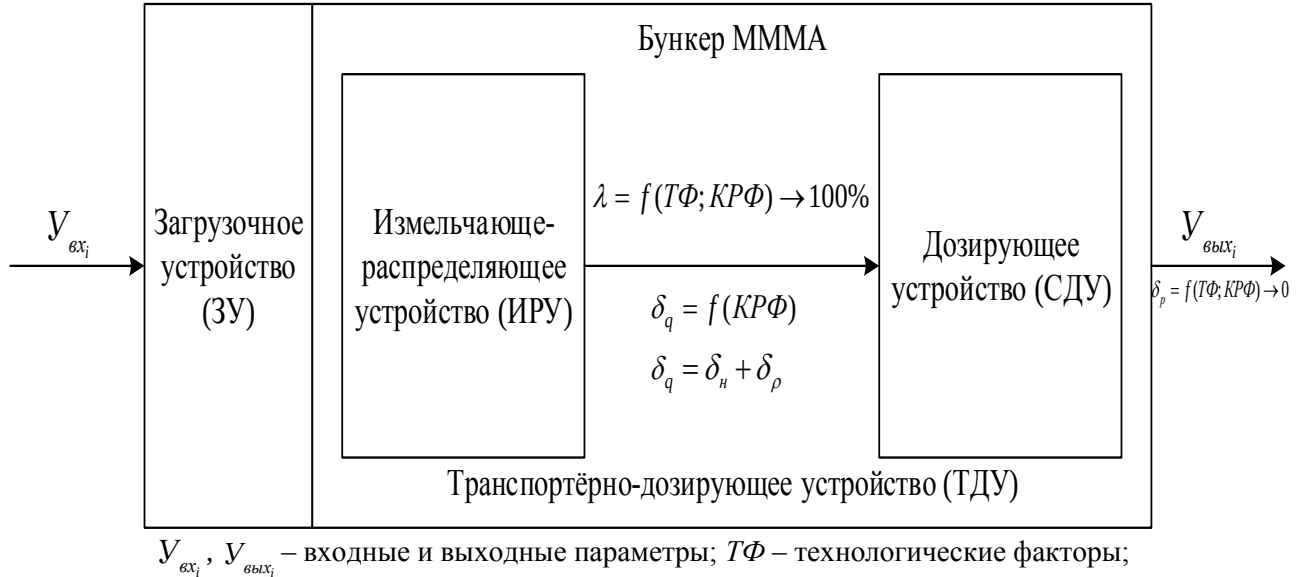
- погрузку компонентов в бункер;
- измельчение с одновременным распределением кормов или кормовых компонентов в бункере;
- транспортировку к месту назначения и обратно;
- дозированную подачу продуктов в кормоприготовительные машины (грануляторы и брикетировщики).

Для принятой схемы МММА, в общем виде функциональная зависимость, характеризующая показатель качества дозирования имеет вид:

$$\delta_{\rho} = f(H_{\text{сл}}; \lambda_{\text{изм}}; \beta; \dots) \rightarrow \min, \quad (2.153)$$

где $H_{\text{сл}}$ – высота кормового слоя в бункере МММА, формируемого с помощью ИРУ;

β – угол наклона решетки ИРУ.

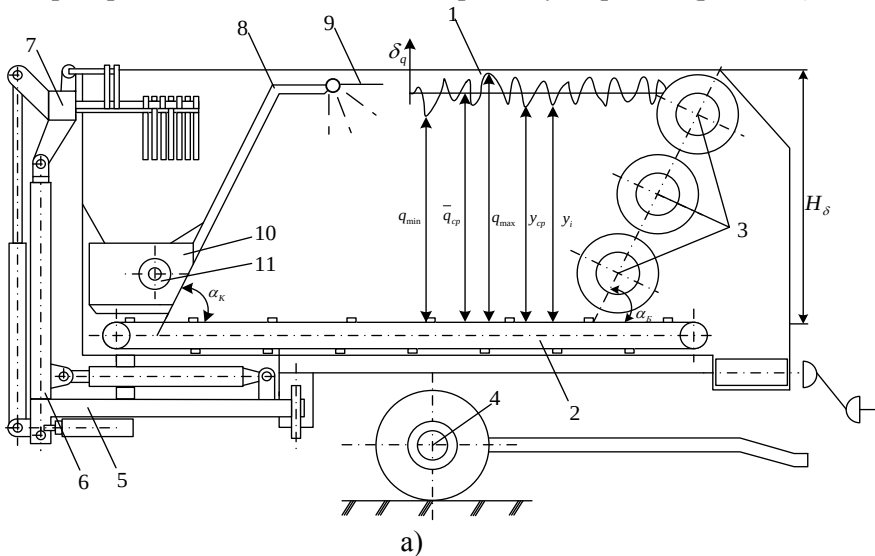


$U_{вхi}$, $U_{выхi}$ – входные и выходные параметры; $T\Phi$ – технологические факторы;
 $КРФ$ – конструктивно-режимные параметры; δ_q – неравномерность распределения массы по длине монолита; δ_n – неравномерность распределения высоты монолита; δ_ρ – неравномерность распределения плотности монолита по его длине

Рис. 2.15. Структурная схема многофункционального мобильного малогабаритного агрегата с предложенным ИРУ

2.4.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И ПОДАЧИ КОРМОВЫХ ПРОДУКТОВ МОЛОТКОВЫМ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕ-РАСПРЕДЕЛЯЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ И ОБОСНОВАНИЕ ЕГО ПАРАМЕТРОВ

Известные измельчающие аппараты наиболее эффективно применять в питателях-измельчителях стационарных ПТЛ приготовления продуктовых смесей, так как их конструкции рассчитаны на определенный вид продукта. В связи с необходимостью разработки мобильного питателя (МП) для малых фермерских хозяйств целесообразно создание универсального измельчающего аппарата, позволяющего измельчать и распределять по площади его бункера грубые корма, силос, тыкву или корнеплоды. Поисковыми исследованиями установлено, что наиболее полно поставленным требованиям отвечает измельчающий аппарат молоткового типа с шарнирно закрепленными молотками. Наряду с процессом измельчения различных видов кормов, он обеспечивает и равномерное распределение измельченного корма в бункере МП (рис. 2.16).



1 – бункер; 2 – подающий транспортер; 3 – битера; 4 – ходовая часть; 5 – рама; 6 – манипулятор; 7 – захват; 8 – кормопровод; 9 – распределяющий козырек; 10 – измельчитель; 11 – ротор

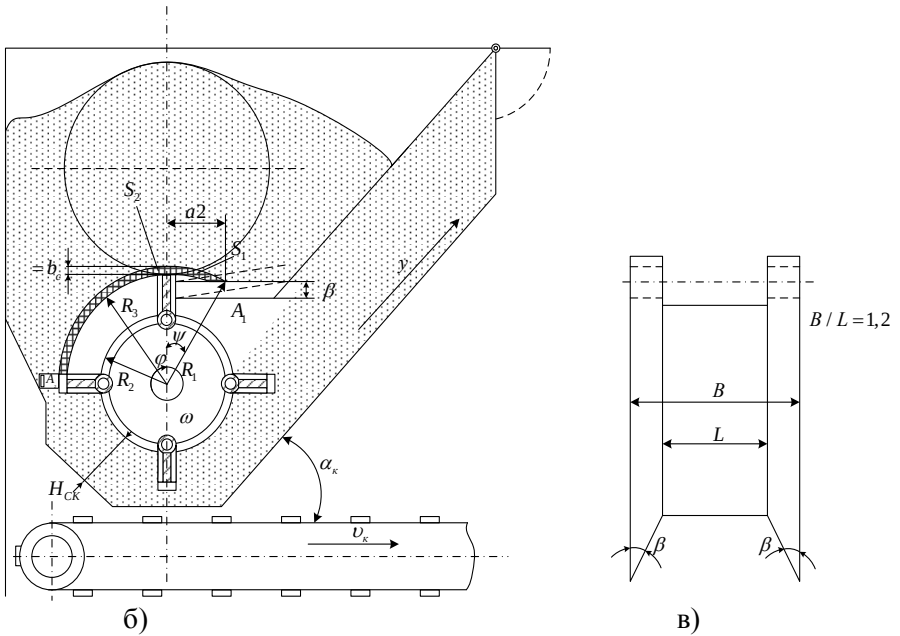


Рис. 2.16. Общий вид МП – (а); расчетная схема его измельчающе-распределяющего устройства – (б) с конструкцией Н-образного молотка-лопасти (в)

Измельчающий аппарат данного типа разработан для использования в конструкции МММА. С целью получения выражений для расчета производительности и мощности, потребной на процесс работы измельчающего аппарата молоткового типа с шарнирно подвешенными молотками, одновременно выполняющими роль лопастей для распределения частиц в бункере, проведено исследование движения частицы, находящейся на поверхности шарнирного молотка (рис. 2.17) в соответствии с методологическими подходами, изложенными в работах [3, 57, 62, 87-92].

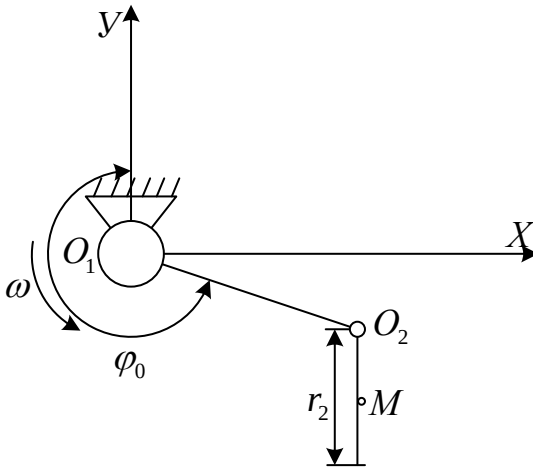


Рис. 2.17. Схема молоткового рабочего органа и его кинематической цепи

Частица корма, находящаяся на поверхности шарнирно подвешенного молотка в некоторой точке M , совершает сложное движение относительно неподвижной системы координат XO_1Y (рис. 2.17).

Это движение можно представить, как сумму трех движений. Первое движение – вращательное движение точки O_2 относительно точки O_1 . Второе движение – вращательное движение точки M , принадлежащей шарнирно подвешенному молотку, в которой происходит соприкосновение частицы с молоком, относительно точки O_2 . Третье движение – прямолинейное относительное движение частицы по поверхности шарнирно подвешенного молотка.

Положение кривошипа O_1O_2 определяется углом ψ (угол между осью O_1Y и направлением O_1O_2). Угловую скорость кривошипа считаем постоянной и, тогда

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \text{const} , \quad (2.154)$$

где n – число оборотов ротора.

Уравнениями движения точки O_2 , в проекциях на оси X и Y являются

$$\left. \begin{aligned} y &= r_1 \cos \psi \\ x &= r_1 \sin \psi \end{aligned} \right\} \quad (2.155)$$

Для симметричности записи введем новые обозначения:

$x_1 = x$; $y_1 = y$. Тогда в соответствии с (2.155) уравнениями движения точки O_2 в системе координат O_2XY являются

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= r_1 \cos \psi \\ x_1 &= r_1 \sin \psi \end{aligned} \right\} \quad (2.156)$$

Рассмотрим второе движение – движение точки M , принадлежащей шарнирно подвешенному молотку, в которой происходит соприкосновение частицы с молотком. Для этого сначала проанализируем движение шарнирного молотка O_2A относительно точки O_2 до того момента, когда частица не находится на поверхности шарнирного молотка.

Положение шарнирного молотка определяется углом φ (рис. 2.18).

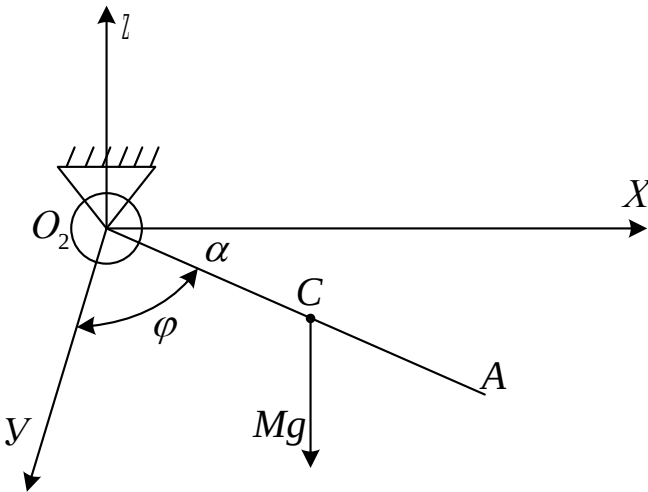


Рис. 2.18. Схема к определению момента силы тяжести молоткового рабочего органа измельчителя-распределителя

Массу шарнирного молотка обозначим M , а расстояние от точки O_2 до центра тяжести $C - \alpha$.

Момент силы тяжести M_z относительно O_2 равен

$$M_z = -Mg\alpha \sin \varphi, \quad (2.157)$$

Дифференциальное уравнение движения шарнирного молотка есть равенство

$$J\ddot{\varphi} = M_z, \quad (2.158)$$

где J – момент инерции масс шарнирного молотка относительно O_2 .

С учетом (2.157) уравнение (2.158) примет вид

$$J\ddot{\varphi} = -Mg\alpha \sin \varphi, \quad (2.159)$$

Введем обозначение $K^2 = Mg\alpha / J$ (2.160)

Тогда с учетом (2.159) дифференциальное уравнение движения шарнирного молотка принимает вид

$$\ddot{\varphi} = -K^2 \sin \varphi, \quad (2.161)$$

Решим это дифференциальное уравнение. для этого $\ddot{\varphi}$ представим в следующем виде

$$\ddot{\varphi} = \frac{d(\dot{\varphi}^2)}{2\dot{\varphi} \cdot dt}, \quad (2.162)$$

С учетом (2.162) уравнение (2.161) имеет вид

$$-K^2 \sin \varphi = \frac{d(\dot{\varphi}^2)}{2\dot{\varphi} \cdot dt}, \quad (2.163)$$

Отсюда получаем $-K^2 \sin \varphi \cdot \varphi = \frac{d(\dot{\varphi}^2)}{2\dot{\varphi} \cdot dt}$ (2.164)

Из выражения (48) имеем

$$-2K^2 \sin \varphi \cdot \varphi \cdot dt = d(\dot{\varphi}^2), \quad (2.165)$$

но так как $\dot{\varphi} \cdot dt = d\varphi$, то выражение (2.165) принимает вид

$$-2K^2 \sin \varphi \cdot d\varphi = d(\dot{\varphi}^2) = 2K^2 (\cos \varphi - \cos \varphi_0), \quad (2.166)$$

За угол φ_0 следует принимать угол (рис. 2.19) между осью O_2V

и направлением O_2A в момент выхода конца A шарнирного молотка из массы продукта, находящегося на решетке измельчителя.

В это время, положение кривошипа определяется углом ψ_0 . Выражение (2.166) представим в виде

$$\dot{\varphi}^2 = \varphi_0^2 + 2K^2(\cos \varphi - \cos \varphi_0), \quad (2.167)$$

Из выражения (2.167) следует, что

$$\varphi = \pm \sqrt{\varphi_0^2 + 2K^2(\cos \varphi - \cos \varphi_0)} \quad (2.168)$$

Выражение (2.168) представим в виде

$$\frac{d\varphi}{dt} = \pm \sqrt{\varphi_0^2 + 2K^2(\cos \varphi - \cos \varphi_0)}.$$

Отсюда получаем
$$dt = \frac{d\varphi}{\pm \sqrt{\varphi_0^2 + 2K^2(\cos \varphi - \cos \varphi_0)}}, \quad (2.169)$$

Интегрируя (2.169), имеем что

$$t - t_0 = \pm \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{d\varphi}{\sqrt{\varphi_0^2 + 2K^2(\cos \varphi - \cos \varphi_0)}}$$

или

$$t = t_0 \pm \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{d\varphi}{\sqrt{\varphi_0^2 + 2K^2(\cos \varphi - \cos \varphi_0)}}, \quad (2.170)$$

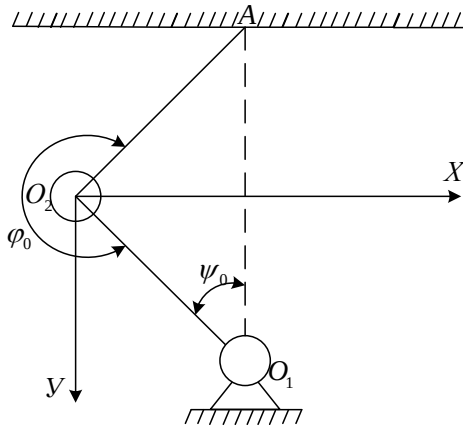


Рис. 2.19. Схема к определению угла отклонения молотка – φ_0 при его взаимодействии с продуктом

Интеграл в (2.170) в элементарных функциях представить нельзя, поэтому производим его вычисления приближенно. для этого воспользуемся рядом Тейлора в виде

$$f(x) = f(a) + \frac{x-a}{1} f'(a) + \frac{(x-a)^2}{2} f''(a) + \dots$$

В нашем случае $f(x) = \cos x$. Примем $\alpha = \frac{\pi}{4}$, так как в момент соприкосновения частицы с шарнирно подвешенным молотком угол α равен $\frac{\pi}{4}$. В таком случае разложения в ряд даст

более точное выражение. Тогда $f'(a) = -\sin \frac{\pi}{4} = -\frac{\sqrt{2}}{2}$. Ограничиваясь двумя первыми членами ряда Тейлора, имеем

$$\cos \varphi \cong \cos \frac{\pi}{4} + \left(\varphi - \frac{\pi}{4} \right) \left(-\frac{\sqrt{2}}{2} \right) = \frac{\sqrt{2}(8-\pi)}{8} - \frac{\sqrt{2}}{2} - \varphi \quad (2.171)$$

Тогда

$$\sqrt{\varphi_0^2 + 2K^2(\cos \varphi - \cos \varphi_0)} \cong \sqrt{\varphi_0^2 + 2K^2 \left(\frac{\sqrt{2}(8-\pi)}{8} - \frac{\sqrt{2}}{2} - \varphi \right)} = \sqrt{A+B\varphi}, \quad (2.172)$$

$$\text{где} \quad A = \varphi_0^2 + 2K^2 \left(\frac{\sqrt{2}(8-\pi)}{8} - \cos \varphi \right) \quad (2.173)$$

$$B = -\sqrt{2}K^2 \quad (2.174)$$

С учетом равенства (2.172)

$$\int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{d\varphi}{\sqrt{\varphi_0^2 + 2K^2(\cos \varphi - \cos \varphi_0)}} \approx \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{d\varphi}{\sqrt{A+B\varphi}} \quad (2.175)$$

$$\text{Введем обозначение } y = A+B\varphi \quad (2.176)$$

Тогда

$$dy = d(A+B\varphi) = Bd\varphi; \quad d\varphi = (y-A)/B$$

$$d\varphi = dy/B; \quad \varphi_0 = (y_0 - A)/B,$$

а интеграл

$$\int_{\varphi_o}^{\varphi} \frac{d\varphi}{\sqrt{A+B\varphi}} = \frac{2}{B} (\sqrt{y} - \sqrt{y_o}) \quad (2.177)$$

Возвращаясь к переменной φ , получим

$$\int_{\varphi_o}^{\varphi} \frac{d\varphi}{\sqrt{A+B\varphi}} = \frac{2}{B} (\sqrt{A+B\varphi} - \sqrt{A+B\varphi_o}) \quad (2.178)$$

С учетом выражения (2.177) выражение (2.170) запишется в виде

$$t = t_o \pm \frac{2}{B} (\sqrt{A+B\varphi} - \sqrt{A+B\varphi_o}) \quad (2.179)$$

Выражение (2.179) представим в виде

$$(t - t_o) \pm \sqrt{A+B\varphi_o} = \pm \frac{2}{B} \sqrt{A+B\varphi} \quad (2.180)$$

Возведя выражение (2.180) в квадрат, получим

$$\frac{4}{B^2} (A+B\varphi) = (t - t_o)^2 \pm \frac{4}{B^2} (A+B\varphi_o) \quad (2.181)$$

Решая (2.181) относительно φ , получим

$$\varphi = \frac{B(t - t_o)^2 \pm 4\sqrt{A+B\varphi_o}(t - t_o) + 4\varphi_o}{4} \quad (2.182)$$

В силу того, что $B = -\sqrt{2} - K^2 < 0$

$$A = \varphi_o^2 + 2K^2 \left(\frac{\sqrt{2}(8 - \pi)}{8} - \cos \varphi_o \right) > 0$$

$$4\varphi_o < 0$$

В формуле (2.182) $B(t - t_o)^2 + \varphi_o < 0$ и так как φ может принимать как положительные, так и отрицательные значения, поэтому φ следует определять по формуле

$$y = \frac{B(t - t_o)^2 + 4\sqrt{A+B\varphi_o}(t - t_o) + 4\varphi_o}{4}, \quad (2.183)$$

где $\varphi_o = \dot{\psi} \cdot t_o$, то $t_o = \frac{\varphi_o}{\dot{\psi}}$ (2.184)

Когда кривошип O_1O_2 находится в третьей четверти системы

координат (рисунок 2.19), угол ψ находится в интервале $\pi < \psi < \frac{3}{2}\pi$, то время t получается в интервале $\frac{\pi}{\dot{\psi}} < t < \frac{3}{2}\frac{\pi}{\dot{\psi}}$.

Положение точки M шарнирного молотка определяется радиус-вектором $\overline{r'_2} = \overline{O_2M}$. Проектируя $\overline{r'_2}$ на подвижные оси x_2, y_2 (рис 2.20), получим

$$\left. \begin{aligned} x'_2 &= r'_2 \sin \varphi \\ y'_2 &= r'_2 \cos \varphi \end{aligned} \right\} \quad (2.184)$$

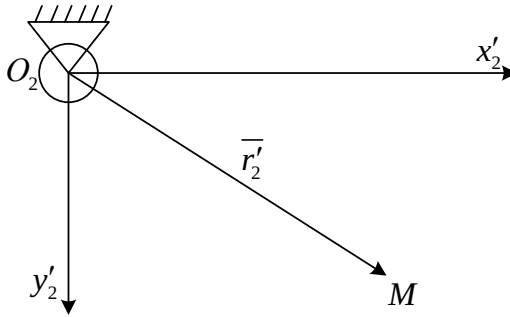


Рис. 2.20. Схема к определению уравнения движения частицы продукта принятой за точку

Уравнение (2.184) есть уравнение движения точки M молотка в подвижной системе координат x'_2, y'_2 . Введем новую систему координат

$$\begin{aligned} x_2 &= x'_2 \\ y_2 &= -y'_2 \end{aligned}$$

Тогда уравнения (2.184) в новой системе координат примут следующий вид

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= r'_2 \sin \varphi \\ y_2 &= -r'_2 \cos \varphi \end{aligned} \right\} \quad (2.185)$$

Рассмотрим движение частицы корма по поверхности шарнирно подвешенного молотка.

Пусть при движении молоток в некоторый момент времени t'_0 приходит в соприкосновение с частицей массы корма в некоторой точке M_0 , определяемой расстоянием $U_0 = O_2M_0$ (рис. 2.21). Полагаем, что в дальнейшем частица перемещается по поверхности шарнирного молотка. введем систему координат x_3, y_3 (рис. 2.21).

В процессе работы поверхность молотка является гладкой, поэтому коэффициент трения частицы по поверхности шарнирного молотка будем считать малым и силой трения будем пренебрегать. Дифференциальным уравнением движения частиц вдоль O_2A является уравнение

$$m \cdot \ddot{u} = T = G \cos \varphi \text{ или } \ddot{u} = g \cos \varphi \quad (2.186)$$

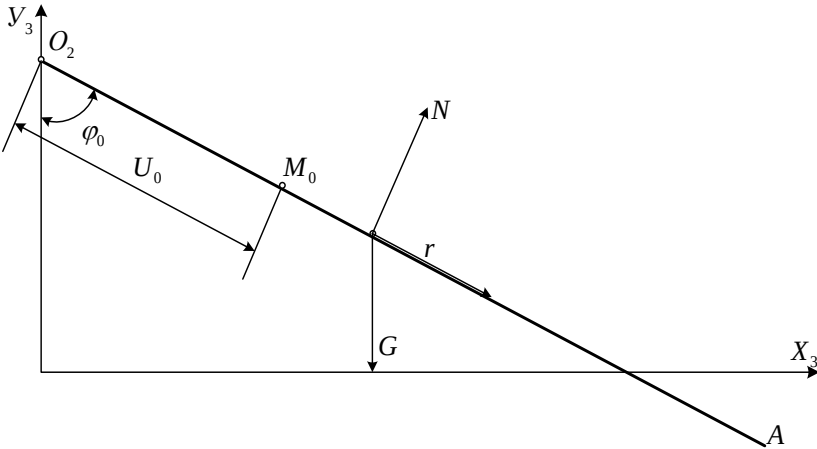


Рис. 2.21. Схема к определению пути движения частицы продукта

Интегрируя (2.186), получим

$$\ddot{u} = g \int \cos \varphi \cdot dt' + C_1 \quad (2.187)$$

Формула справедлива при $(t' > t'_o)$. С учетом (2.182) выражение (2.187) имеет вид

$$\dot{u} = g \int \cos \left[B(t' - t_o)^2 + 4\sqrt{A + B\varphi}(t' - t_o) + 4\varphi_o \right] \cdot dt' + C_1 \quad (2.188)$$

Интеграл (2.188) $(t' - t_o)$ представит в элементарных функциях нельзя, поэтому он вычисляется приближенно. Для облегчения дальнейшего анализа полагаем, что в подынтегральной функции формулы (2.187) φ является постоянной величиной. Это оправдывается тем, что время нахождения частицы на молотке сравнительно небольшое и интервал изменения угла φ небольшой. Таким образом, в данном случае можно принять φ постоянной величиной, за время нахождения частицы на молотке. Тогда выражение (2.187) можем представить в виде

$$u = u_o + g \cos \varphi \cdot t', \quad (2.189)$$

где u_o – проекция скорости частицы на направление оси молотка O_2A в момент соприкосновения частицы с молотком. Интегрируя (2.187), получим

$$U = \int \left(g \int \cos \varphi \cdot dt' + C_1 \right) \cdot dt' + C_2 \quad (2.190)$$

В силу обстоятельств, отмеченных выше, произведем интегрирование приближенно. Тогда, интегрируя (2.189), получим

$$U = U_o + \dot{U}_o \cdot t' + g \cos \varphi \cdot \frac{(t')^2}{2} \quad (2.191)$$

Определим момент схода t'_C частицы с поверхности молотка. В этот момент $U = U_c = r_2$. На основании (2.191) имеем

$$U_c = r_2 = g \cos \varphi \cdot \frac{(t'_c)^2}{2} + \dot{U}_o \cdot t'_c + U_o \quad (2.192)$$

или

$$g \cos \varphi \cdot \frac{(t'_c)^2}{2} + \dot{U}_o \cdot t'_c + U_o - r_2 = 0 \quad (2.193)$$

Решая (2.193) относительно t'_C получим

$$t'_c = \frac{-U_0 \pm \sqrt{U_0^2 + 2g \cdot \cos \varphi (r_2 - U_0)}}{g \cdot \cos \varphi} \quad (2.194)$$

Рассмотрим случай I, когда $U_0 > 0$. Так как $t'_c > 0$

$$t'_{1c} = \frac{-\dot{U}_0 \pm \sqrt{U_0^2 + 2g \cdot \cos \varphi (r_2 - U_0)}}{g \cdot \cos \varphi} \quad (2.195)$$

Рассмотрим случай II, когда $U_0 < 0$. При $U_0 < 0$ частица начинает двигаться вверх по молотку. Момент достижения частицей точки O_2 (если, безусловно, возможно это достижение при определенных исходных данных) обозначим t'_{02} . В этот момент имеет место равенство

$$U = -U_0 = g \cdot \cos \varphi \cdot \frac{(t'_{02})^2}{2} + \dot{U}_0 \cdot t'_{02} + U_0 \quad (2.196)$$

Выражение (81) запишем в виде

$$g \cdot \cos \varphi \cdot \frac{t'^2_{02}}{2} + \dot{U}_0 \cdot t'_{02} + 2U_0 = 0 \quad (2.197)$$

Решая (2.197) относительно t'_{02} , получим

$$t'_{02} = \frac{-U_0 \pm \sqrt{\dot{U}_0^2 - \varphi \cdot g \cdot \cos \varphi \cdot U_0}}{g \cdot \cos \varphi} \quad (2.198)$$

Из (2.198) следует, что t'_{02} может принимать вещественное значение при условии, что $\dot{U}_0^2 - 4g \cdot \cos \varphi \cdot U_0 \geq 0$

или

$$|\dot{U}_0| \geq 2\sqrt{gU_0 \cos \varphi} \quad (2.199)$$

При $|\dot{U}_0| > 2\sqrt{gU_0 \cos \varphi}$ частица ударяется в ротор в точке O_2 и, естественно, как правило, она теряет связь с молотком, сойдя с него. Такой случай, когда имеет место неравенство (2.199), исключается из дальнейшего рассмотрения.

при $|\dot{U}_0| = 2\sqrt{gU_0 \cos \varphi} \quad (2.200)$

или $U_0 = \frac{\dot{U}_0^2}{4g \cdot \cos \varphi} \quad (2.201)$

частица достигает точки O_2 и начинает двигаться вниз по поверхности молотка до момента схода с него частица, двигаясь вверх, достигает верхнего положения, отстоящего на некотором расстоянии от точки O_2 , останавливается и начинает двигаться вниз до момента схода с молотка.

$$|\dot{U}_0| < 2\sqrt{gU_0 \cos \varphi} \quad (U_0 < 2) \quad (2.202)$$

Нетрудно увидеть, что при $\dot{U}_0 < 0$ в формуле (2.194) следует взять знак плюс, и тогда получаем формулу

$$t'_c = \frac{-U_0 + \sqrt{U_0^2 + 2g \cdot \cos \varphi (r_2 - U_0)}}{g \cdot \cos \varphi} \quad (2.203)$$

Таким образом, уравнение (2.203) имеет решение при $\dot{U}_0 > 0$ при $\dot{U}_0 < 0 \quad |\dot{U}_0| \leq 2\sqrt{2U_0 \cdot \cos \varphi}$ (2.204)

В момент схода частицы с молотка угол поворота кривошипа O_1O_2

$$\psi = \psi_{nc} + \psi_c, \quad (2.205)$$

где ψ_{nc} – угол поворота кривошипа к моменту начала соприкосновения t'_0 частицы с молотком;

ψ_c – угол поворота кривошипа за время соприкосновения частицы с молотком.

$$\psi_{nc} = \dot{\psi} \cdot t'_0 \quad (2.206)$$

$$\psi_c = \dot{\psi} \cdot t'_c \quad (2.207)$$

На основании (2.206) и (2.207) выражение (2.205) принимает вид

$$\psi = \dot{\psi} \cdot t_0 + \dot{\psi} \cdot t'_c = \dot{\psi} (t_0 + t'_c) \quad (2.208)$$

Положение точки M в неподвижной системе координат определяется уравнениями

$$\left. \begin{aligned} x &= x_1 + x_2 \\ y &= y_1 + y_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.209)$$

С учетом (2.155) и (2.185) выражение (2.209) представим в

виде

$$\left. \begin{aligned} x &= r_1 \cdot \sin \psi + r_2' \cdot \sin \psi \\ y &= r_1 \cdot \cos \psi - r_2' \cdot \cos \psi \end{aligned} \right\}, \quad (2.210)$$

$$\text{где } r_2' = U \quad (2.211)$$

С учетом (2.211) выражение (2.210) представим в виде

$$\left. \begin{aligned} x &= r_1 \cdot \sin \psi + U \cdot \sin \varphi \\ y &= r_1 \cdot \cos \psi - U \cdot \cos \varphi \end{aligned} \right\} \quad (2.212)$$

В проекциях на оси абсолютная скорость частицы продукта, находящейся в точке M на шарнирно подвешенном молотке, определяется уравнениями

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= d(r_1 \cdot \sin \psi + U \cdot \sin \varphi) / dt \\ \dot{y} &= d(r_1 \cdot \cos \psi - U \cdot \cos \varphi) / dt \end{aligned} \right\} \quad (2.213)$$

Произведя дифференцирование в (2.213), получим

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= (\dot{r}_1 \cdot \sin \psi + r_1 \cdot \cos \psi \cdot \dot{\psi}) + \dot{U} \cdot \sin \varphi + U \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} \\ \dot{y} &= (\dot{r}_1 \cdot \cos \psi - r_1 \cdot \sin \psi \cdot \dot{\psi}) - \dot{U} \cdot \cos \varphi + U \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi} \end{aligned} \right\} \quad (2.214)$$

Так как $r_1 = \cos t$, то выражение (2.214) можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \dot{r}_1 \cdot \cos \psi \cdot \dot{\psi} + \dot{U} \cdot \cos \varphi - U \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi} \\ \dot{y} &= \dot{r}_1 \cdot \sin \psi \cdot \dot{\psi} - \dot{U} \cdot \sin \varphi - U \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} \end{aligned} \right\} \quad (2.215)$$

Изначально нами отмечено три движения, из которых складывалось абсолютное движение частицы продукта, находящейся на поверхности шарнирного молотка:

- вращательное движение точки O_2 относительно точки O_1 ;
- вращательное движение точки M , принадлежащей звену O_2A , относительно точки O_2 ;
- поступательное движение частицы, находящейся на поверхности молотка в точке M , по поверхности молотка

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= \dot{r}_1 \cdot \cos \psi \cdot \dot{\psi} \\ \dot{y}_1 &= -\dot{r}_1 \cdot \sin \psi \cdot \dot{\psi} \end{aligned} \right\} \quad (2.216)$$

Выражение (2.116) представляют скорость точки O_2 в проекциях на оси X и Y (первое движение).

Скорость точки M молотка в относительном движении относительно точки O_2 (второе движение):

$$V_{Mo2} = U \cdot \dot{\varphi} \quad (2.217)$$

В проекциях на оси X и Y выражение (2.217) можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_2 &= U \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} \\ \dot{y}_2 &= U \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi} \end{aligned} \right\} \quad (2.218)$$

Скорость перемещения частицы по молотку в проекциях на оси X и Y представим в следующем виде (третье движение)

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_3 &= \dot{U} \cdot \sin \varphi \\ \dot{y}_3 &= -\dot{U} \cdot \cos \varphi \end{aligned} \right\} \quad (2.219)$$

С учетом уравнений (2.216), (2.218) и (2.219), выражение (2.215) можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \dot{x}_1 + \dot{x}_2 + \dot{x}_3 \\ \dot{y} &= \dot{y}_1 + \dot{y}_2 + \dot{y}_3 \end{aligned} \right\} \quad (2.220)$$

Формулы (2.220) выражают абсолютную скорость частицы на шарнирно-подвешенном молотке в зависимости от соответствующих скоростей в трех выше отмеченных движениях

$$\text{При } \varphi = \text{const} \quad \left. \begin{aligned} \dot{x}_2 &= U \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} = 0 \\ \dot{y}_2 &= U \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi} = 0 \end{aligned} \right\}$$

и выражение (2.220) можно записать в виде

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \dot{x}_1 + \dot{x}_3 \\ \dot{y} &= \dot{y}_1 + \dot{y}_3 \end{aligned} \right\} \quad (2.221)$$

С учетом (2.216) и (2.219) формулы (2.221) запишутся

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= r_1 \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\psi} + \dot{U} \cdot \sin \varphi \\ \dot{y} &= -r_1 \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\psi} - \dot{U} \cdot \cos \varphi \end{aligned} \right\} \quad (2.222)$$

Зависимости (2.222) в момент схода частицы с молотка можно представить, как

$$\left. \begin{aligned}
 \dot{x}_c &= r_1 \cdot \dot{\psi} \cdot \cos[\dot{\psi} \cdot (t'_0 + t_0)] + \left\{ \dot{U}_0 + g \cdot \cos \left[\frac{B(t'_0 - t_0)}{4} + \frac{4\sqrt{A+B\varphi_0}(t'_0 - t_0) + 4\varphi_0}{4} \cdot t'_c \right] \times \right. \\
 &\times \sin \left[\frac{B(t'_0 - t_0)^2 + 4\sqrt{A+B\varphi_0}(t'_0 - t_0) + 4\varphi_0}{4} \right] \left. \right\} \\
 \dot{y}_c &= - \left\{ \frac{r_1 \dot{\psi}}{1} \cdot \sin[\dot{\psi} \cdot (t'_0 + t_0)] + \left[\dot{U}_0 + g \cos \cdot \frac{B(t'_0 - t_0)^2 + 4\sqrt{A+B\varphi_0}(t'_0 - t_0) + 4\varphi_0}{4} \cdot \frac{t'_c}{1} \right] \times \right. \\
 &\times \cos \left[\frac{B(t'_0 - t_0)^2 + 4\sqrt{A+B\varphi_0}(t'_0 - t_0) + 4\varphi_0}{4} \right] \left. \right\}
 \end{aligned} \right\} \quad (2.223)$$

Модуль скорости частицы корма в момент ее схода с молотка

$$v = \sqrt{x_c^2 + y_c^2}$$

Рассмотрим фазу работы молотка (рис. 2.22), когда он входит в массу в точке A_1 и выходит из массы в точке A_2 (фаза рабочего хода молотка).

При «рабочей» фазе молоток воздействует на массу продукта, производя работу по отделению некоторой части от ее основной массы.

Отделяемая часть определяется шириной молотка b (рис. 2.29) и площадью S , заключенной между линией A_1A_2 и траекторией конца молотка при прохождении его через массу продукта (рис. 2.19). На отделение этой части массы требуется затратить работу

$$A = K_s \cdot S, \quad (2.224)$$

где K_s – некоторый коэффициент, который можно определить опытным путем.

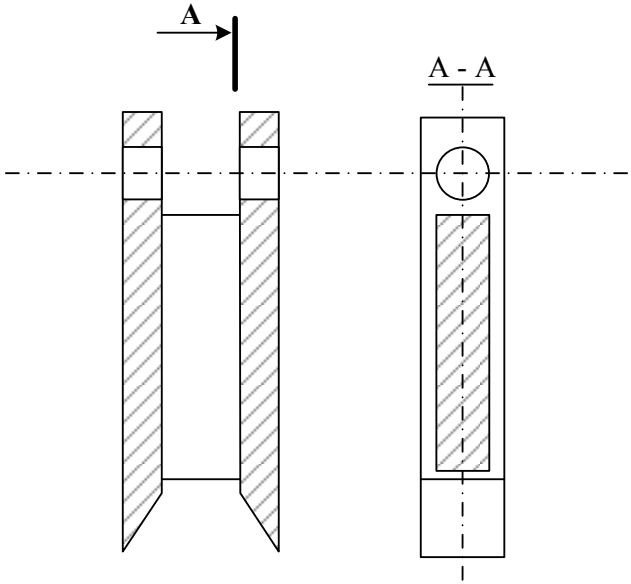


Рис. 2.22. Схема молотка-лопасти
измельчителя-распределителя продуктов

Величина работы A равна изменению кинетической энергии за промежуток времени между моментом входа молотка в массу в точке A_1 и моментом выхода молотка из массы продукта в точке A_2 , т.е.

$$\Delta T = \frac{J \cdot \dot{\varphi}^2}{2} - \frac{J \cdot \dot{\varphi}_0^2}{2} \quad (2.225)$$

Так как $\Delta T = A$, то с учетом (2.214) будем иметь

$$\frac{J \cdot \dot{\varphi}^2}{2} - \frac{J \cdot \dot{\varphi}_0^2}{2} = K_s \cdot S \quad (2.226)$$

$$\text{Учитывая, что } \dot{\varphi}^2 - \dot{\varphi}_0^2 = 2K^2 (\cos \varphi_0 - \cos \varphi) \quad (2.227)$$

Выражение (2.226) представим в виде

$$\frac{J}{2} (\varphi^2 - \varphi_0^2) = JK^2 (\cos \varphi_0 - \cos \varphi) \quad (2.228)$$

С учетом (2.228) выражение (2.226) представим в виде

$$K_s \cdot S = JK^2 (\cos \varphi_0 - \cos \varphi) \quad (2.229)$$

$$JK^2 (\cos \varphi_0 - \cos \varphi) = K (S_1 + S_2) \quad (2.230)$$

От угла φ_0 зависит значение φ и в свою очередь значение угла φ_0 функционально зависит от φ .

Следует иметь в виду, что угол φ обусловлен начальными условиями работы. Величина этого угла зависит от начальных условий измельчающего аппарата, которые могут быть весьма различными. Поэтому, строго говоря, величина угла φ_0 – случайная величина. Поэтому при заданной конкретной величине φ_0 можно определить остальные углы. Составим следующую систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} a_{11}\psi_o &= b_1(\varphi_o) \\ a_{22}\psi + a_{23}\varphi &= b_2(\varphi_o) \\ a_{31}\psi + a_{32}\psi + a_{33}\varphi &= b_3(\varphi_o) \end{aligned} \right\} \quad (2.231)$$

Введем для симметрии обозначения:

$$x_1 = \psi_o; x_2 = \psi; x_3 = \varphi;$$

$$b_1 = (\varphi_o) = b_1; b_2 = (\varphi_o) = b_2; b_3 = (\varphi_o) = b_3$$

Тогда (115) можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} a_{11}x_1 &= b_1 \\ a_{22}x_2 + a_{23}x_3 &= b_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 &= b_3 \end{aligned} \right\} \quad (2.232)$$

Матрица коэффициентов левых частей уравнений имеет вид

$$\left\{ \begin{aligned} a_{11} \cdot 0 \cdot 0 \\ 0 \cdot a_{22} \cdot 0 \\ a_{31} \cdot a_{32} \cdot a_{33} \end{aligned} \right\} \quad (2.233)$$

Определитель этой матрицы равен

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} \cdot 0 \cdot 0 \\ 0 \cdot a_{22} \cdot a_{23} \\ a_{31} \cdot a_{32} \cdot a_{33} \end{vmatrix} \quad (2.234)$$

Величина определителя равна

$$\Delta = a_{11} \begin{vmatrix} a_{22} \cdot a_{23} \\ a_{32} \cdot a_{33} \end{vmatrix} = a_{11} (a_{22} a_{33} - a_{23} a_{31})$$

$$\psi_o = x_1 = \frac{b_1 (a_{22} a_{33} - a_{23} a_{31})}{\Delta} = \frac{b_1}{a_{11}} \quad (2.235)$$

Тогда

$$\psi = x_2 = \frac{\begin{vmatrix} a_{11} \cdot b_1 \cdot 0 \\ 0 \cdot b_2 \cdot a_{22} \\ a_{31} \cdot b_3 \cdot a_{33} \end{vmatrix}}{\Delta} \quad (2.236)$$

$$\varphi = x_3 = \frac{\begin{vmatrix} a_{11} \cdot 0 \cdot b_1 \\ 0 \cdot a_{22} \cdot b_2 \\ a_{31} \cdot a_{32} \cdot b_3 \end{vmatrix}}{\Delta} \quad (2.237)$$

Производительность ИРУ определяется по формуле

$$Q_U = m \cdot n \cdot b \cdot \rho_n (S_1 + S_2), \quad (2.238)$$

где m – число молотков;

n – частота вращения ротора, $n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi}$;

ω – угловая скорость вращения ротора, с^{-1} ;

ρ_n – плотность продукта.

Уравнение (2.238) преобразуем к следующему виду

$$Q_u = 9,6 \cdot m \cdot \omega \cdot b \cdot \rho_n (S_1 + S_2) \quad (2.239)$$

Согласно рисунка 2.16 площадь S_I определяется как

$$S_1 = 0,25 R_1 (l - a) + 0,5 a \cdot h_c \quad (2.240)$$

где l – длина дуги, равная $\pi R_1 \cdot \psi / 180^\circ$;

a – длина хорды, равная $2(h_c \cdot R_1 - h_c^2)^{0,5}$;

h_c – стрелка, равная вылету молотка-лопасти над решеткой.

Площадь S_2 определяется как

$$S_2 = \pi(\varphi + \psi)(R_1 + R_3) / 360^\circ \quad (2.241)$$

С учетом приведенного имеем

$$Q_u = 9,6 \cdot m \cdot \omega \cdot b \cdot p_n \left\{ 0,25 R_1 \left[\frac{\pi R_1 \psi}{180^\circ} - 2 \left(\Delta R_1 - \Delta^2 \right)^{0,5} \right] + a \left(\Delta^3 \cdot R_1 - \Delta^4 \right)^{0,5} \right\} \quad (2.242)$$

где Δ – вылет молотка-лопасти над решеткой.

Примем часть уравнения, содержащуюся в фигурных скобках равным S_i , а количество молотков равным $m = (L_p - \Delta Z_{pi}) R_z / b$ и тогда получим, что

$$Q_u = 9,6 (L_p - \Delta Z_{pi}) R_z \cdot \omega \cdot p \cdot S_i \quad (2.243)$$

где L_p – длина ротора;

R_z – число молотков идущих по одному следу.

Для системы «продукт – измельчающий ротор» составили соответствующее уравнение баланса

$$\sum_{i=1}^m S_i (Z_{pi} - \Delta Z_{pi}) \psi_c = \lambda \cdot \sum_{j=1}^{R_c} l_j \cdot \frac{\pi d_y^2}{4} j, \quad (2.244)$$

где S_i – площадь поперечного сечения продукта в плоскости рабочей зоны молотка-лопасти;

m – число молотков-лопастей;

Z_{pi} – расстояние между пластинами решетки измельчающего аппарата;

ΔZ_{pi} – толщина пластины решетки;

ψ_c – коэффициент, учитывающий степень плотности размещения стеблей в поперечном сечении равном S_i ;

λ – степень измельчения стеблей;

R_c – количество стеблей;

l_j – длина частиц измельченный стеблей;

d_y – усредненный размер стебля.

Согласно данному равенству степень измельчения составит

$$\lambda = 1,27 \sum_{i=1}^m S_i (Z_{pi} - \Delta Z_{pi}) \psi_c / \sum_{j=1}^{R_c} l_j d_y^2 \quad (2.245)$$

На основе принципа равенства работ с учетом степени измельчения получена формула для определения диаметра ротора измельчающе-распределяющего устройства МП

$$D = \frac{C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1)}{\psi L_p \cdot (1 + f_{cl}) v_{отн}^2} \quad (2.246)$$

где C_1, C_2, ψ, f_{cl} – эмпирические коэффициенты, определяемые по методу наименьших квадратов;

L_p – длина ротора;

$v_{отн}$ – скорость движения молотков относительно циркулирующего слоя.

Длину ротора измельчающе-распределяющего устройства МП определили с учетом коэффициента – $R_{изм}$, характеризующего выход готового продукта с одного квадратного метра площади диаметрального сечения измельчающей камеры ($\text{кг/с} \cdot \text{м}^2$).

$$L_p = 9,6 (L_p - \Delta Z_{pi}) R_m \cdot \omega \cdot p \cdot S_i / R_{изм} \cdot D \quad (2.247)$$

Параметр $R_{изм}$ зависит от высоты циркулирующего слоя продукта $H_{сл}$, его плотности – ρ и концентрации продукта в слое – γ_u ($R_{изм} = 0,5 - 0,8$).

Кратность циркуляции воздушно-продуктового слоя в камере ИРУ

$$K_p = 0,318 M_u \cdot v_{сл} / Q_u \cdot D, \quad (2.248)$$

где M_u – масса воздушно-продуктового слоя высотой $H_{сл}$.

В уравнении (2.248) значения Q_u и D определяются по формулам (2.243) и (2.246).

Мощность, затрачиваемая на процесс отделения массы продукта молотками ИРУ, определяется по формуле

$$N_u = 9,6 (L_p - \Delta Z_{pi}) R_m \cdot \omega \cdot \rho \cdot S_i \cdot A_{изм}, \quad (2.249)$$

где $A_{изм}$ – работа измельчения, определяемая по формуле Мельникова С.В. с учетом выражения (2.245).

Расход мощности на циркуляцию воздушно-продуктового

слоя определяется как

$$N_u = R_{ep} (1 + K_u \gamma_u) v_m^3, \quad (2.250)$$

где R_{ep} – эмпирический коэффициент, учитывающий конструкцию и режим работы ИРУ;

v_m – скорость движения молотка-лопасти.

Полный расход мощности составит

$$N = 1,2 \cdot N_{изм} \quad (2.251)$$

Энергоемкость ИРУ составит

$$\mathcal{E}_u = N_{изм} / Q_{ИР} \cdot \lambda, \quad (2.252)$$

где λ определяется по выражению (2.245).

Анализ движения частиц по патрубку измельчителя-распределителя показывает, что в процессе работы частица выбрасывается из точки А со скоростью v_0 к горизонту под углом α (рис. 2.23) со следующими координатами точки А:

$$\begin{aligned} x_a &= A; & y_a &= -b; & t &= 0; \\ x_o &= x_a = a; & y_o &= y_a = -b; \\ \dot{x}_o &= \dot{x}_a = v_o \cdot \cos \alpha; & \dot{y}_o &= \dot{y}_a = v_o \cdot \sin \alpha; \end{aligned}$$

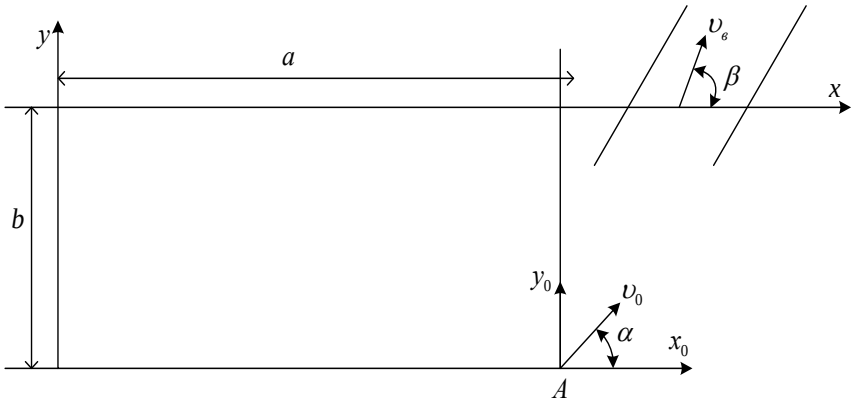


Рис. 2.23. Схема к обоснованию скорости движения частицы по патрубку измельчителя-распределителя

Составим дифференциальное уравнение движения под действием двух сил:

– силы тяжести $G < mg$;

– силы действия воздушной массы, движущейся под углом β к горизонту вдоль патрубка F_b

$$F_b = cmv_\theta$$

где v_θ – скорость воздушной массы;

c – коэффициент пропорциональности (определяется опытным путем).

Дифференциальным уравнением движения частицы является следующее уравнение

$$m \cdot \ddot{y} = -G + c \cdot m \cdot v_\theta \cdot \sin \beta = -m \cdot g + c \cdot m \cdot v_\theta \cdot \sin \beta \quad (2.253)$$

Проекция ускорения их этих уравнений равна

$$\dot{x} = c \cdot v_\theta \cdot \cos \beta$$

$$\ddot{y} = c \cdot v_\theta \cdot \sin \beta - g$$

Вначале проинтегрируем дважды по t дифференциальное уравнение движения частицы вдоль оси X

$$\dot{x} = c \cdot v_\theta \cdot \cos \beta + c_1$$

$$x = c \cdot v_\theta \cdot \cos \beta \cdot \frac{t^2}{2} + c_1 t + c_2$$

Подставим в первое уравнение $t = 0$; $x_0 = v_o \cdot \cos \alpha$, и получим $c_1 = v_o \cos \alpha$. При подстановке во второе уравнение $t = 0$, $x_o = a$; $c_2 = a$. Определим постоянные интегрирования, при найденных значения c_1 и c_2

$$\dot{x} = c \cdot v_\theta \cdot \cos \beta \cdot t + v_o \cos \alpha \quad (2.254)$$

$$x = c \cdot v_\theta \cdot \cos \beta \cdot \frac{t^2}{2} + v_o \cos \alpha \cdot t + a \quad (2.255)$$

Проинтегрируем дважды по t дифференциальное уравнение движения частицы вдоль оси Y

$$\ddot{y} = c \cdot v_\theta \cdot \sin \beta - g$$

$$\dot{y} = (c \cdot v_\theta \cdot \sin \beta - g)t + c_3$$

$$y = (c \cdot v_\theta \cdot \sin \beta - g) \frac{t^2}{2} + c_3 t + c_4$$

Определим значение c_3 и c_4 по начальным условиям. Подставим в первое уравнение $t=0$; $y_o = v_o \cdot \sin \alpha$; $c_3 = v_o \cdot \sin \alpha$

Из второго уравнения при $t=0$; $y = -b$; $c_4 = -b$

При найденных значения c_3 и c_4

$$\dot{y} = (c \cdot v_o \cdot \sin \beta - g)t + v_o \cdot \sin \alpha \quad (2.256)$$

$$y = (c \cdot v_o \cdot \sin \beta - g) \frac{t^2}{2} + v_o \cdot \sin \alpha - b \quad (2.257)$$

Исключив время t из уравнения движения частицы (2.230) и (2.232) получим уравнение траектории ее движения

$$y = \frac{c \cdot v_o \cdot \sin \beta - g}{2c^2 \cdot v_o^2 \cos^2 \beta} \left(v_o \cos \alpha + \sqrt{(v_o \cos \alpha)^2 + 2c \cdot v_o \cos \beta (x - a)} + \right. \\ \left. + v_o \sin \alpha - v_o \cos \alpha + \sqrt{(v_o \cos \alpha)^2 + 2c \cdot v_o \cos \beta (x - a)} - b \right) \quad (2.258)$$

или

$$y = \frac{c \cdot v_o \cdot \sin \beta - g}{c \cdot v_o \cos \beta} (x - a) + \left(\frac{v_o \sin \alpha}{c \cdot v_o \cos \beta} - \frac{(c \cdot v_o \cdot \sin \beta - g) v_o \cos \alpha}{c^2 \cdot v_o^2 \cos^2 \beta} \right) \times \\ \times \sqrt{v_o^2 \cos^2 \alpha + 2c \cdot v_o \cos \beta (x - a)} + \frac{v_o^2 \cos^2 \alpha}{c^2 \cdot v_o^2 \cos^2 \beta} \times \\ \times [(c \cdot v_o \cdot \sin \beta - g) \cos \alpha - c \cdot v_o \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta] \quad (2.259)$$

Если не учитывать силу воздействия воздушного потока $F_b = c \cdot m \cdot v_b$ на частицу, то уравнение (2.230) будет иметь вид:

$$x = v_o \cos \alpha \cdot t + a, \quad (2.260)$$

а уравнение (2.231) принимает вид

$$y = -\frac{g \cdot t^2}{2} + v_o \sin \alpha \cdot t - b \quad (2.261)$$

Исключив время t из уравнений движения частицы (2.236) и (2.235) получим уравнения траектории

$$y = -\frac{g}{2} \left(\frac{x - a}{v_o \cos \alpha} \right)^2 + (x - a) \cdot \operatorname{tg} \alpha - b \quad (2.237)$$

Конструктивно определены «верхняя» плоскость патрубка (рис. 2.24) и «нижняя» плоскость патрубка, в результате чего имеем;

– для «верхней» плоскости патрубка

$$y = K_x - d_1 = \operatorname{tg} \beta \cdot x - d_1 \quad (2.238)$$

– для «нижней» плоскости патрубка

$$y = \operatorname{tg} \beta \cdot x - d_2 \quad (2.239)$$

При движении частицы по своей траектории возможны два случая ее соприкосновения с патрубком:

– случай I – частица соприкасается с «верхней» плоскостью патрубка;

– случай II – частица соприкасается с «нижней» плоскостью патрубка.

Возможен также случай, когда частица пройдет свободно через патрубок и далее или ударится о поворотный козырек или свободно упадет в бункере на массу загруженного продукта.

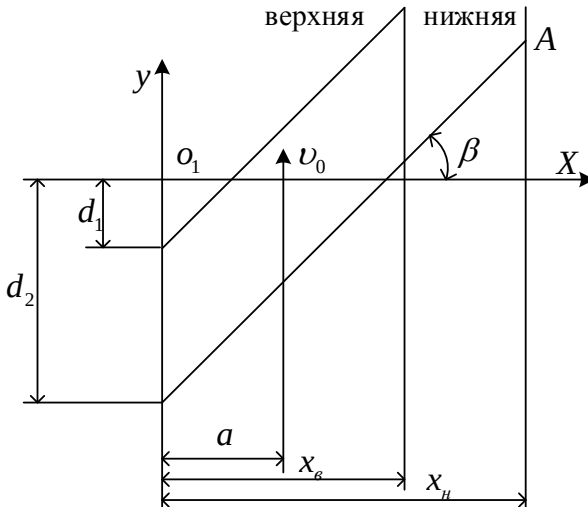


Рис. 2.24. Схема к определению положения верхней и нижней плоскости направляющего патрубка

Рассмотрим, при каких условиях возможны выше перечисленные случаи движения частицы.

Случай I. Частица касается «верхней» плоскости. Этот случай возможен тогда, когда при учете силы F_b уравнения (2.234) и (2.236) имеют общее действительное решение. Приравнявая правые части уравнений (2.234) и (2.237), получим уравнение

$$\begin{aligned} & \frac{c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g}{c \cdot v_{\theta} \cos \beta} (x - a) + \frac{v_o \sin \alpha}{c \cdot v_{\theta} \cos \beta} - \frac{(c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g) \cdot v_o \cos \beta}{c^2 \cdot v_b^2 \cos^2 \beta} \times \\ & \times \sqrt{v_o^2 \cos^2 \alpha + 2c \cdot v_{\theta} \cos \beta (x - a)} + \frac{v_o^2 \cos \alpha}{c^2 \cdot v_b^2 \cos^2 \alpha} \times \\ & \times \left[(c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g) \cos \alpha - c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \alpha \cos \beta \right] - b = \operatorname{tg} \beta \cdot x - d_1 \end{aligned} \quad (2.240)$$

Для определения координаты X точки соприкосновения с «верхней» плоскостью преобразуем (2.240) в уравнение следующего вида:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{v_o \sin \alpha}{c \cdot v_{\theta} \cos \beta} - \frac{(c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g) \cdot v_o \cos \alpha}{c^2 \cdot v_b^2 \cos^2 \beta} \right) \sqrt{v_o^2 \cos^2 \alpha + 2c \cdot v_{\theta} \cos \beta (x - a)} = \\ & = \operatorname{tg} \beta \cdot x - d_1 - \frac{c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g}{c \cdot v_{\theta} \cos \beta} (x - a) - \\ & - \frac{v_o^2 \cos \alpha}{c^2 \cdot v_b^2 \cos^2 \beta} \left[(c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g) \cos \alpha - c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \alpha \cos \beta \right] + b \end{aligned}$$

Полученное выражение возведём в квадрат, в результате чего получим

$$\begin{aligned} & \left(\frac{v_o \sin \alpha}{c \cdot v_{\theta} \cos \beta} - \frac{(c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g) \cdot v_o \cos \alpha}{c^2 \cdot v_b^2 \cos^2 \beta} \right)^2 \sqrt{v_o^2 \cos^2 \alpha + 2c \cdot v_{\theta} \cos \beta (x - a)} = \\ & = \left\{ \operatorname{tg} \beta \cdot x - d_1 - \frac{c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g}{c \cdot v_{\theta} \cos \beta} (x - a) - \right. \\ & \left. - \frac{v_o^2 \cos \alpha}{c^2 \cdot v_b^2 \cos^2 \beta} \left[(c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g) \cos \alpha - c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \alpha \cos \beta \right] + b \right\}^2 \end{aligned}$$

Последнее неравенство приведем к квадратному уравнению вида

$$A_1 x^2 + B_1 x + c_1 = 0 \quad (2.241)$$

Уравнение (2.241) имеет действительное значение, если

$$B_1^2 - 4A_1 \cdot c_1 > 0 \quad (2.242)$$

При соблюдении условия (2.242) из двух корней имеем следующее:

$$x_1 = \frac{-B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4A_1 c_1}}{2A_1}$$

Естественно, нужно взять наименьший положительный корень, больший α и если этот корень $< x_b$, где x_b – координата X крайней правой точки B патрубка, расположенной на верхней плоскости патрубка, то частица коснется «верхней» плоскости патрубка.

В том же случае, когда дискриминант $B_1^2 - 4A_1 \cdot c_1 < 0$ или, если $B_1^2 - 4A_1 \cdot c_1 > 0$, но положительный наименьший корень больший α и меньше x_b , то соприкосновения частицы с «верхней» плоскостью не произойдет. Если не учитывать силу F_b , то для определения точки соприкосновения частицы с «верхней» плоскостью патрубка необходимо приравнять правые части уравнений (2.237) и (2.238). Тогда получим уравнение:

$$-\frac{g}{2} \left(\frac{x-a}{v_g \cos \beta} \right) + \operatorname{tg} \alpha (x-a) - b = \operatorname{tg} \beta \cdot x - d_1 \quad (2.243)$$

Уравнение (2.243) можно привести к квадратному уравнению вида:

$$A'_1 x^2 + B'_1 \cdot c_1 = 0 \quad (2.244)$$

При соблюдении условия $B_1'^2 - 4 \cdot A'_1 \cdot c'_1 > 0$ уравнение (2.244)

имеет действительное решение $x_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B_1'^2 - 4A'_1 c'_1}}{2A'_1}$.

Из двух корней нужно взять положительный наименьший, но больший α . И если этот корень $< x_b$, то частица коснется «верхней» плоскости патрубка. В том же случае, когда $B_1'^2 - 4A'_1 \cdot c'_1 < 0$ или, если $B_1'^2 - 4A'_1 \cdot c'_1 > 0$, но положительный наименьший корень больше α и меньше x_b , то соприкосновение частицы с «верхней» плоскостью не произойдет.

Рассмотрим возможность случая II, когда частица падает на «нижнюю» плоскость патрубка.

Для определения положения точки на «нижней» плоскости, в которой частица упадет на «нижнюю» плоскость патрубка приравняем правые части уравнений (2.234) и (2.238)

$$\begin{aligned} & \frac{c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g}{c \cdot v_{\theta} \cos \beta} (x - a) + \left(\frac{v_o \sin \alpha}{c \cdot v_{\theta} \cos \beta} - \frac{(c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g) \cdot v_o \cos \alpha}{c^2 \cdot v_b^2 \cos^2 \beta} \right) \times \\ & \times \sqrt{v_o^2 \cos^2 \alpha + 2c \cdot v_{\theta} \cos \beta (x - a)} + \frac{v_o^2 \cos \alpha}{c^2 \cdot v_b^2 \cos^2 \beta} \times \\ & \times \left[(c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g) \cos \alpha - c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \alpha \cos \beta \right] - b = tg \beta \cdot x - d_2 \end{aligned} \quad (2.245)$$

Преобразуем (2.242) представив его в виде

$$\begin{aligned} & \left(\frac{v_o \sin \alpha}{c \cdot v_{\theta} \cos \beta} - \frac{(c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g) \cdot v_o \cos \alpha}{c^2 \cdot v_b^2 \cos^2 \beta} \right) \times \sqrt{v_o^2 \cos^2 \alpha + 2c \cdot v_{\theta} \cos \beta (x - a)} = \\ & = tg \beta \cdot x - d_2 - \frac{c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g}{c \cdot v_{\theta} \cos \beta} (x - a) - \frac{v_o^2 \cos \alpha}{c^2 \cdot v_b^2 \cos^2 \beta} \times \\ & \times \left[(c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g) \cos \alpha - c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \alpha \cos \beta \right] + b \end{aligned}$$

Последнее выражение возведем в квадрат, в результате чего получим:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{v_o \sin \alpha}{c \cdot v_{\theta} \cos \beta} - \frac{(c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g) \cdot v_o \cos \alpha}{c^2 \cdot v_b^2 \cos^2 \beta} \right)^2 \times (v_o^2 \cos^2 \alpha + 2c \cdot v_{\theta} \cos \beta (x - a)) = \\ & = tg^2 \beta \cdot x - d_2 - \frac{c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g}{c \cdot v_{\theta} \cos \beta} (x - a) - \\ & - \frac{v_o^2 \cos \alpha}{c^2 \cdot v_b^2 \cos^2 \beta} \left[(c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \beta - g) \cos \alpha - c \cdot v_{\theta} \cdot \sin \alpha \cos \beta \right] + b \end{aligned}$$

Последнее равенство приведем к квадратному уравнению следующего вида

$$A_2 x^2 + B_2 x + c_2 = 0 \quad (2.246)$$

Из двух корней $x_{1,2} = \frac{-B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4A_2C_2}}{2A_2}$ необходимо взять

положительный наименьший корень и если он $< x_n$, где x_n – координата X крайней правой точки H патрубка, расположенной на «нижней» плоскости патрубка, то частица упадет на «нижнюю» плоскость патрубка.

Если положительный наименьший корень больший x_n , то частица не упадет на «нижнюю» плоскость патрубка.

Рассмотрим случай, когда частица пройдет свободно через патрубок (рис. 2.25) и далее или ударится о поворотную заслонку, или свободно упадет в бункере на массу уже загруженного продукта. Этот случай возможен тогда, когда исключены одновременно и случай I и случай II. Исключение возможности случаев I и II рассмотрено выше.

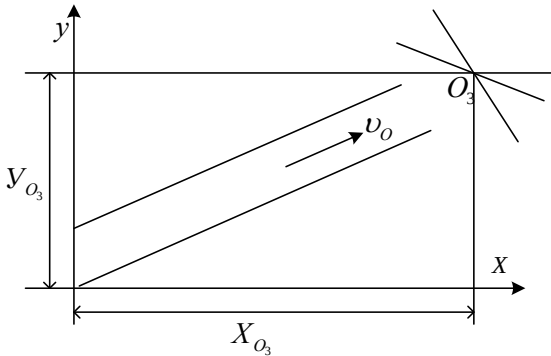


Рис. 2.25. Схема к обоснованию процесса свободного движения частицы в патрубке измельчителя-распределителя

Координаты точки поворота заслонки O_3 обозначим X_{O_3}, Y_{O_3} . Пучок прямых, проходящих через точку O_3 , описывается уравнением вида

$$Y = Y_{O_3} = K(x - x_{O_3}), \quad (2.247)$$

где K – угловой коэффициент прямой.

Теоретически угловой коэффициент K находится в интервале $-\infty \leq K \leq +\infty$. Уравнение пучка прямых (2.247) можно записать в виде

$$y = Kx - Kx_{O_3} + y_{O_3} \quad (2.248)$$

Приравнивая правые части уравнений (2.234) и (2.248) получаем уравнение, преобразование которого даст после возведения в квадрат следующее уравнение:

$$\left(\frac{v_o \sin \alpha}{c \cdot v_e \cos \beta} - \frac{(c \cdot v_e \cdot \sin \beta - g) \cdot v_o \cos \alpha}{c^2 \cdot v_b^2 \cos^2 \beta} \right) \times (v_o^2 \cos^2 \alpha + 2c \cdot v_e \cos \beta (x - a)) =$$

$$= \left\{ Kx - Kx_{O_3} + y_o - \frac{c \cdot v_e \cdot \sin \beta - g}{c \cdot v_e \cos \beta} - \frac{v_o^2 \cos \alpha}{c^2 \cdot v_b^2 \cos^2 \beta} \times \right. \\ \left. \times [(cv_e \cdot \sin \beta - g) \cos \alpha - cv_e \sin \alpha \cos \beta] + b \right\}^2 \quad (2.249)$$

Полученное равенство приведем к квадратному уравнению вида

$$Ax^2 + Bx + c = 0 \quad (2.250)$$

Если $B^2 - 4Ac > 0$, то (2.250) имеет действительное решение

$$x_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4Ac}}{2A}$$

И если x_1 и x_2 находятся в пределах длины поворотной за-
слонки, то частица ударяется о козырек.

Если $B^2 - 4Ac < 0$, то частица не будет ударяться о козырек. Не будет ударяться о козырек частица и в том случае, если $B^2 - 4Ac > 0$, но x_1 и x_2 находятся вне пределов длины козырька. В таком случае частица падает непосредственно в бункер.

Исследуем движение частицы после удара о козырек. Пусть в системе координат XOY плоскость козырька в момент удара частицы по «козырьку» описывается уравнением (рис. 2.26)

$$y = y_{O_3} = K(x - x_{O_3}) \quad (2.251)$$

где K – угловой коэффициент следа плоскости на плоскости XOY .

Пусть частица ударяется о козырек в некоторой точке $(M_0(x_0 y_0))$ со скоростью падения v_n под углом падения α к нормали

n плоскость козырька. Согласно теории удара, скорость отражения частицы от козырька определится зависимостью

$$v_{om} = v_n \sin \alpha \sqrt{1 + E^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha}, \quad (2.252)$$

где E – коэффициент восстановления для материала продукта и материала козырька.

Скорость отражения v_{om} направления под углом отражения β к нормали козырька. Угол β определяется зависимостью

$$\beta = \operatorname{arccctg}(E \operatorname{ctg} \alpha), \quad (2.253)$$

но при этом имеем место равенство

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1}{E} \operatorname{tg} \alpha, \operatorname{tg} \beta > \operatorname{tg} \alpha, \beta > \alpha, v_{or} < v_n$$

Движение частицы материала после ее отражения от заслонки представляет движение частицы, брошенной под углом α_0 к горизонту со скоростью v_{om} (рис. 2.26).

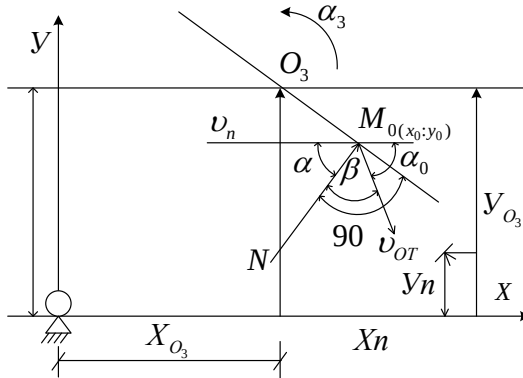


Рис. 2.26. Схема движения частицы после удара о распределяющий козырек

Из рисунка 2.25 следует, что

$$\alpha_o = \alpha_3 - (90^\circ - \beta), \quad (2.254)$$

где α_3 – угол наклона козырька к оси X (угол $90 - \beta$) – отрицательный, ($\beta > 0$).

В уравнении (2.250)

$$K = tg\alpha_3 \quad (2.255)$$

Из (2.255) следует, что

$$\alpha_3 = arctgK \quad (2.256)$$

С учетом (2.256) и (2.253) выражение (2.255) примет вид:

$$\alpha_o = arctgK - (90^\circ - arcctg(E - ctg\alpha)) \quad (2.257)$$

По аналогии с формулой (2.237), траектория движения частицы после отражения от козырька (без учета сопротивления воздуха и т.д., т.е. при учете действия только силы веса) описывается уравнением

$$y = -\frac{g}{2} \left(\frac{x - x_o}{v_{OT} \cos \alpha_o} \right) + (x - x_o) \cdot tg\alpha_o + y_o \quad (2.258)$$

Для определения координаты X_n точка падения частицы на поверхности монолита в бункере (полагаем, что поверхность монолита в бункере представляет плоскость) подставим в левую часть (2.258) $y = y_n$, где y_n – положение поверхности монолита в бункере относительно оси X.

В результате имеем

$$y_n = -\frac{g}{2} \left(\frac{x_n - x_o}{v_{OT} \cos \alpha_o} \right) + (x_n - x_o) \cdot tg\alpha_o + y_o \quad (2.259)$$

решая (2.259) относительно X_n получим:

$$x_n = \left(\frac{gx_o}{v_{OT} \cos \alpha_o} - tg\alpha_o \right) \times \\ \times \sqrt{\left(\frac{gx_o}{v_{OT} \cos \alpha_o} - tg\alpha_o \right)^2 - 4 \left(\frac{g}{v_{OT}^2 \cos^2 \alpha_o} \right) \left(\frac{gx_o^2}{2v_{OT}^2 \cos^2 \alpha_o} + x_o tg\alpha_o + y_o \right)} + \\ + \frac{g}{v_{OT}^2 \cos^2 \alpha_o} \quad (2.260)$$

Выражение (2.260) имеет место в том случае, если $X_n \leq X_{max}$, где X_{max} – расстояние от начала координат XOY до крайней точки бункера ($X_{max} = L$), L – длина бункера. В случае, когда X_n , вычисленное по формуле (2.260) меньше X_{max} , частица материала до-

стигает задней стенки бункера и дальность частицы можно считать равной $X_{\max}$.

Анализом движения частиц продукта установлено, что в процессе работы ИРУ поверхность формируемого монолита в бункере определяется вертикальной координатой

$$y_i = -\frac{g}{2} \left(\frac{x_i - x_o}{v_{OT} \cdot \cos \alpha_o} \right) + (x_i - x_o) \cdot \operatorname{tg} \alpha_o + y_o \quad (2.261)$$

где g – ускорение свободного падения;

x_i, x_o – значения горизонтальной координаты;

v_{OT} – скорость отражения частицы от распределяющего козырька;

α_o – угол между векторами скоростей v_{OT} и v_n ;

y_o – высота профиля монолита.

2.4.2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ФОРМИРОВАНИЯ КОРМОВОГО МОНОЛИТА В БУНКЕРЕ МОБИЛЬНОГО РАЗДАТЧИКА

Приведенные выше положения и подходы к формированию кормового монолита в бункере мобильного питателя позволяют обосновать данную схему заполнения и дать оценку качественным характеристикам, сформированного таким образом, кормового монолита.

Бункер МП с принудительной подачей монолита к битерам представляет емкость в виде параллелепипеда. На основании предварительно проведенных исследований было установлено, что после загрузки поверхность кормового монолита в бункере представляет выпуклую поверхность, объективно представляющую поверхность второго порядка. Для решения вопроса об оценке качестве равномерности заполнения такого бункера, введем прямоугольную декартову систему координат x, y, z (рис. 2.27).

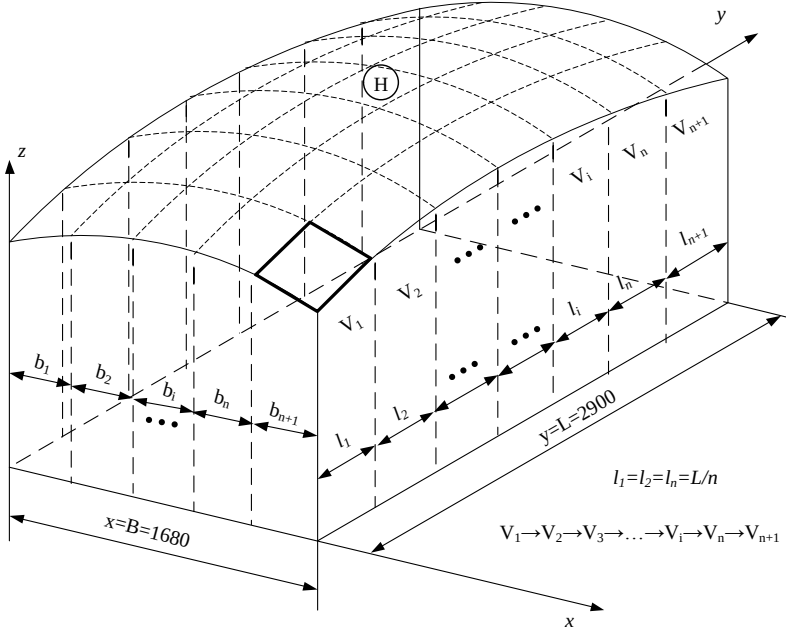


Рис. 2.27. Схема к обоснованию равномерности заполнения бункера МП кормораздатчика и формы кормового монолита в системе координат XYZ

Для каждого из элементарных объемов $V_{i,i+1}$ можно записать, что он есть функция

$$V_{i,i+1} = \int_{y_1}^{y_1=1} \int_{x_0=0}^{x_k=B} z dx dy . \quad (2.262)$$

Для математического описания поверхности H приняты два вида уравнений поверхности:

$$x = \dot{a}_{11}x^2 + \dot{a}_{22}y^2 + \dot{a}_{12}xy + \dot{a}_1x + \dot{a}_2y + \dot{a}_0 \quad (2.263)$$

$$z^2 = a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{12}xy + a_1x + a_2y + a_0 \quad (2.264)$$

или

$$z = \sqrt{a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{12}xy + a_1x + a_2y + a_0} .$$

Объем кормовой смеси, заложенный между двумя сечениями y_i и y_{i+1} и сечениями $x_0=0$ и $x_K=1680$ мм

$$V_{i,i+1} = \int_{y_i}^{y_{i+1}} \int_{x_0=0}^{x_K=1680} z dx dy . \quad (2.265)$$

С использованием зависимости (2.263), выражение (2.265) принимает вид

$$\begin{aligned} V_{i,i+1} &= \int_{y_i}^{y_{i+1}} \int_{x_0=0}^{x_K=1680} (\dot{a}_{11}x^2 + \dot{a}_{22}y^2 + \dot{a}_{12}xy + \dot{a}_1x + \dot{a}_2y + \dot{a}_0) z dx dy = \\ &= \frac{\dot{a}_{11}}{3} x_K^3 (y_{i+1} - y_i) + \frac{\dot{a}_{22}}{3} x_K (y_{i+1}^3 - y_i^3) + \frac{\dot{a}_{12}}{4} x_K (y_{i+1}^2 - y_i^2) + \\ &+ \frac{\dot{a}_1}{2} x_K^2 (y_{i+1} - y_i) + \frac{\dot{a}_2}{2} x_K (y_{i+1}^2 - y_i^2) + \dot{a}_0 (y_{i+1} - y_i) \quad (2.266) \end{aligned}$$

Исследуем уравнения поверхности (2.263) и (2.264) с целью установления вида этих поверхностей, и в частности, какие виды поверхностей второго порядка они представляют, чтобы в последующем обеспечить возможность определения элементарных объемов V_i в составе кормового монолита.

Поверхности второго порядка определяются уравнениями второй степени относительно декартовых прямоугольных координат. Общее уравнение второй степени относительно переменных x, y, z , имеет вид [104]

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{13}xz + 2a_{23}yz + 2a_{14}x + 2a_{24}y + 2a_{34}z + a_{44} = 0 \quad (2.267)$$

Сначала исследуем поверхность, описываемую уравнением (2.263), которое приравняем к нулю

$$\dot{a}_{11}x^2 + \dot{a}_{22}y^2 + \dot{a}_{12}xy + \dot{a}_1x + \dot{a}_2y - z + \dot{a}_0 = 0 .$$

Для данного уравнения поверхности имеем

$$a_{11} = \dot{a}_{11} ; a_{22} = \dot{a}_{22} ; a_{33} = 0 ; a_{12} = \frac{\dot{a}_{12}}{2} ; a_{13} = 0 ;$$

$$a_{23} = 0 ; a_{14} = \frac{\dot{a}_1}{2} ; a_{24} = \frac{\dot{a}_2}{2} ; a_{34} = -0,5 ; a_{44} = \dot{a}_0 . \quad (2.268)$$

В связи с этим уравнение (2.267) принимает вид

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + 2a_{12}xy + 2a_{14}x + 2a_{24}y + 2(-0,5)z + a_{44} = 0 \quad (2.269)$$

Для установления вида поверхности, описываемой уравнением (2.267) необходимо вычислить четыре инварианты:

$$I = a_{11} + a_{22} + a_{33} + a_{44}. \quad (2.270)$$

$$Y = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{33} & a_{34} \\ a_{13} & a_{11} \end{vmatrix}. \quad (2.271)$$

$$D = A_{44} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}. \quad (2.272)$$

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix}. \quad (2.273)$$

В уравнениях (2.267), (2.271), (2.272), (2.273) — $a_{ik} = a_{ki}$; $i, k = 1, 2, 3, 4$.

Эти инварианты определяют свойства поверхности, не зависящие от ее положения в пространстве.

Детерминант A называется дискриминантом уравнения (2.267).

Кроме инвариантов I, Y, D, A необходимо вычислить величину

$$A' = A_{11} + A_{22} + A_{33} + A_{44}, \quad (2.274)$$

где A_{ik} означает алгебраическое дополнение элемента a_{ik} в определителе $A = \det|a_{ik}|$

Дискриминант A с учетом (2.168) принимает вид

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & 0 & a_{24} \\ 0 & 0 & 0 & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix}. \quad (2.275)$$

Для вычисления (2.175) произведем его разложение по третьему столбцу. В результате будем иметь

$$A = -a_{43} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{24} \\ 0 & 0 & a_{34} \end{vmatrix} = -a_{43}a_{44} \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = -a_{43}a_{34} (a_{11}a_{22} - a_{12}^2) =$$

$$= -a_{34}^2 (a_{11}a_{22} - a_{12}^2). \quad (2.276)$$

Согласно уравнению (2.168) для всех опытов должно соблюдаться условие

$$a_{11}a_{22} - a_{12}^2 > 0.$$

Поэтому для всех опытов

$$A = -a_{34}^2 (a_{11}a_{22} - a_{12}^2) < 0. \quad (2.277)$$

Инвариант

$$D = A_{44} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0. \quad (2.278)$$

Алгебраическое дополнение

$$A_{11} = a_{11} = \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} = a_{11} \begin{vmatrix} a_{22} & 0 & a_{24} \\ 0 & 0 & -0,5 \\ a_{42} & -0,5 & a_{44} \end{vmatrix} = 0,5 \begin{vmatrix} a_{22} & a_{24} \\ 0 & -0,5 \end{vmatrix} = -0,5^2 a_{11}a_{22} \quad (2.279)$$

Алгебраическое дополнение

$$A_{22} = a_{22} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{13} & a_{14} \\ a_{31} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} = a_{22} \begin{vmatrix} a_{11} & 0 & a_{14} \\ 0 & 0 & a_{34} \\ a_{41} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} =$$

$$= -a_{22}a_{43} \begin{vmatrix} a_{11} & a_{14} \\ 0 & a_{34} \end{vmatrix} = -a_{22}a_{43}a_{11}a_{34} = -a_{22}a_{11}a_{34}^2. \quad (2.280)$$

Согласно уравнению (2.268) также для всех опытов должно соблюдаться условие

$$A_{11} < 0; A_{22} < 0. \quad (2.281)$$

Алгебраическое дополнение

$$A_{33} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{24} \\ a_{41} & a_{42} & a_{44} \end{vmatrix} = 0, \quad (2.282)$$

так как $a_{33} = 0$, следовательно

$$A_{33}=0. \quad (2.283)$$

Алгебраическое дополнение

$$A_{44}=D=0 \quad (2.284)$$

Так как $A_{11}<0$; $A_{22}<0$; $A_{33}=A_{44}=0$,

$$A' = A_{11} + A_{22} + A_{33} + A_{44} < 0 \quad (2.285)$$

Инвариант

$$Y = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{33} & a_{34} \\ a_{13} & a_{11} \end{vmatrix} = (a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}) + \\ + (a_{22}a_{33} - a_{23}a_{32}) + (a_{33}a_{11} - a_{34}a_{13}). \quad (2.286)$$

На основании уравнения (2.168) можно заключить, что в нашем случае для всех опытов

$$(a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}) = (a_{11}a_{22} - a_{12}^2) > 0. \quad (2.287)$$

$$(a_{22}a_{33} - a_{23}a_{32}) = (a_{22}a_{33} - a_{23}^2) > 0. \quad (2.288)$$

$$(a_{33}a_{11} - a_{34}a_{13}) > 0. \quad (2.289)$$

На основании уравнения (2.286) с учетом уравнений (2.287), (2.288) и (2.289) заключаем, что

$$Y > 0 \quad (2.290)$$

Из уравнений (2.277), (2.278) и (2.290) следует, что для всех опытов

$$D=0; A<0; Y>0.$$

В соответствии с классификацией поверхностей второго порядка при $D=0$; $A<0$; $Y>0$ имеет место эллиптический параболоид. Итак, во всех предположениях поверхности описываемые уравнениями (2.263) представляют эллиптические параболоиды.

Исследуем поверхность, описываемую уравнением (2.264).

Для поверхности, по уравнению (2.264), значения коэффициентов равны

$$a_{11}=a_{11}; a_{22}=a_{22}; a_{33}=-1; a_{13}=0; a_{23}=0; a_{34}=0; a_{44}=0. \quad (2.291)$$

Для этой же поверхности

$$D = A_{44} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} =$$

$$= -(a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}) = -(a_{11}a_{22} - a_{12}^2).$$

Согласно данным (2.291) для всех опытов выполняется условие

$$D = -(a_{11}a_{22} - a_{12}^2) < 0. \quad (2.292)$$

Для поверхности, представленной уравнением (2.264)

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & 0 & a_{24} \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{44} \end{vmatrix} \quad (2.293)$$

являются положительными величинами, поэтому

$$Y > 0. \quad (2.294)$$

Тогда, для поверхности, описываемой уравнением (2.264)

$$I = a_{11} + a_{22} + a_{33} < 0. \quad (2.195)$$

Произведение DI , как это следует из уравнений (2.292) и (2.295) является положительной величиной, то есть

$$DI > 0. \quad (2.296)$$

Итак, для поверхности, описываемой уравнением (2.264), в соответствии с условиями (2.294), (2.295) и (2.296)

$$A < 0; DI > 0; Y > 0.$$

Из классификации поверхностей второго порядка, при этом условии имеет место действительный эллипсоид.

Таким образом, для всех опытов, обеспечивающих выполнение данного условия, поверхность, описываемая уравнениями (2.263) и (2.264), представляет эллиптический параболоид и, действительный эллипсоид соответственно.

С использованием зависимости (2.264), выражение (2.263) принимает вид

$$V_{i,i+1} = \int_{y_i}^{y_{i+1}} \int_{x_0=0}^{x_k} \sqrt{a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{12}xy + a_1x + a_2y + a_0} dx dy. \quad (2.297)$$

Радикал, входящий в подынтегральную функцию (2.297), представлен в виде

$$\begin{aligned} & \sqrt{a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{12}xy + a_1x + a_2y + a_0} = \\ & = \sqrt{a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + (a_{12}y + a_1) + a_2y + a_0} . \end{aligned} \quad (2.298)$$

Введем обозначения

$$a = a_{11} ; \quad (2.299)$$

$$b = a_{12}y + a_1 ; \quad (2.300)$$

$$c = a_{22}y^2 + a_2y + a_0 . \quad (2.301)$$

С учетом (2.299), (2.300) и (2.301) выражение (2.297) примет вид

$$V_{i,i+1} = \int_{y_i}^{y_{i+1}} \left(\int_{x_0=0}^{x_k} \sqrt{ax^2 + bx + c} dx \right) dy. \quad (2.302)$$

В интеграле

$$\int_{x_0=0}^{x_k} \sqrt{ax^2 + bx + c} dx. \quad (2.303)$$

коэффициенты a , b , c в соответствии с выражениями (2.299), (2.300) и (2.301) являются функциями y .

Интеграл (2.303) является интегралом от иррациональной функции вида

$$\int R(x, \sqrt{ax^2 + bx + c}) dx, \quad (2.304)$$

где $a \neq 0$.

Так как в нашем случае $a < 0$, то для вычисления (2.303) применим третью подстановку Эйлера.

Пусть α и β - действительные корни трехчлена $ax^2 + bx + c$.

Полагаем

$$\sqrt{ax^2 + bx + c} = (x - \alpha)t .$$

Так как $ax^2 + bx + c = a(x - \alpha)(x - \beta)$, то

$$\sqrt{a(x - \alpha)(x - \beta)} = (x - \alpha)t . \quad (2.305)$$

Возводя (2.305) в квадрат, получим

$$a(x - \alpha)(x - \beta) = (x - \alpha)^2 t^2 . \quad (2.306)$$

Из (2.306) имеем

$$a(x - \beta) = (x - \alpha)t^2.$$

Отсюда находим x как рациональную функцию от t

$$x = \frac{a\beta - \alpha t^2}{a - t^2}. \quad (2.307)$$

Так как dx и $\sqrt{ax^2 + bx + c}$ тоже рационально зависит от t , то данный интеграл преобразуется в интеграл от рациональной функции по t .

Преобразуем интеграл (2.303) в рациональную функцию от t .

На основании выражения (2.307) имеем

$$dx = \frac{2a(\beta - \alpha)t}{(a - t^2)^2} dt. \quad (2.308)$$

С учетом выражений (2.307) и (2.308), интеграл (2.303) принимает вид

$$\int \sqrt{ax^2 + bx + c} dx = 2a^2(\beta - \alpha)^2 \int \frac{t^2}{(a - t^2)^3} dt. \quad (2.309)$$

Интеграл

$$I_0 = \int \frac{t^2}{(a - t^2)^3} dt, \quad (2.310)$$

входящий в равенство (2.309), представим следующим образом

$$I_0 = - \int \frac{t^2}{(a - t^2)^3} dt. \quad (2.311)$$

Так как $a < 0$, то можно ввести обозначение

$$m^2 = a \quad (2.312)$$

Тогда выражение (2.310) принимает вид

$$I_0 = \int \frac{t^2}{(t^2 + m^2)^3} dt. \quad (2.313)$$

Интеграл (2.313) представляет интеграл от подынтегральной функции в виде рациональной дроби. Интегрирование выражения (2.313) дает

$$I = -\frac{1}{4} \left[\frac{t}{(t^2 + m^2)^2} - \frac{t}{2m^2(t^2 + m^2)} - \frac{1}{2m^3} \operatorname{actg} \frac{t}{m} \right]. \quad (2.314)$$

С учетом выражений (2.314), (2.312), (2.311) интеграл (2.309) представляется в виде

$$\int \sqrt{ax^2 + bx + c} dx = \frac{a^2(\beta - \alpha)^2}{2} \left[\frac{t}{(t^2 + m^2)^2} - \frac{t}{2m^2(t^2 + m^2)} - \frac{1}{2m^3} \operatorname{actg} \frac{t}{m} \right]. \quad (2.315)$$

На основании выражения (2.307) имеем

$$t = \sqrt{\frac{a(x - \beta)}{(x - \alpha)}} \quad (2.316)$$

и тогда равенство (2.315) принимает вид

$$\int \sqrt{ax^2 + bx + c} dx = \frac{a^2(\beta - \alpha)^2}{2} \cdot \left\{ \frac{\sqrt{\frac{a(x - \beta)}{(x - \alpha)}}}{\frac{a(x - \beta)}{(x - \alpha)} - a} - \frac{\sqrt{\frac{a(x - \beta)}{(x - \alpha)}}}{-2a \left(\frac{a(x - \beta)}{(x - \alpha)} - a \right)} - \frac{1}{2(-a)\sqrt{-a}} \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{\frac{a(x - \beta)}{(x - \alpha)}}}{\sqrt{-a}} \right\}. \quad (2.317)$$

Возвращаясь к выражению (2.202) с учетом равенства (2.317) имеем

$$V_{i,i+1} = \int_{y_i}^{y_{i+1}} \left(\frac{a^2(\beta - \alpha)^2}{2} \left[\frac{\sqrt{\frac{a(x_k - \beta)}{(x_k - \alpha)}}}{\frac{a(x_k - \beta)}{(x_k - \alpha)} - a} - \frac{\sqrt{a \frac{\beta}{\alpha}}}{\left(a \frac{\beta}{\alpha} - a \right)} + \frac{\sqrt{\frac{a(x_k - \beta)}{(x_k - \alpha)}}}{2a \left(\frac{a(x_k - \beta)}{(x_k - \alpha)} - a \right)} - \frac{\sqrt{a \frac{\beta}{\alpha}}}{2a \left(a \frac{\beta}{\alpha} - a \right)} + \frac{1}{2a\sqrt{-a}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{(x_k - \beta)}{(x_k - a)}} - \frac{1}{2a\sqrt{-a}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\beta}{\alpha}} \right] \right), \quad (2.318)$$

где

$$\beta = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}; \quad (2.319)$$

$$\beta = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}. \quad (2.320)$$

Вполне очевидно, что подынтегральная функция в выражении (2.318)

$$f(y) = \frac{a^2(\beta - \alpha)^2}{2} \left(\frac{\sqrt{a \frac{(x_k - \beta)}{(x_k - \alpha)}}}{\left(\frac{a(x_k - \beta)}{(x_k - \alpha)} - a \right)^2} - \frac{\sqrt{a \frac{\beta}{\alpha}}}{\left(a \frac{\beta}{\alpha} - a \right)^2} + \frac{\sqrt{a \frac{(x_k - \beta)}{(x_k - \alpha)}}}{2a \left(\frac{a(x_k - \beta)}{(x_k - \alpha)} - a \right)} - \frac{\sqrt{a \frac{\beta}{\alpha}}}{2a} + \right. \\ \left. + \frac{1}{2a\sqrt{-a}} \arctg \sqrt{-\frac{(x_k - \beta)}{(x_k - a)}} - \frac{1}{2a\sqrt{-a}} \arctg \sqrt{-\frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad (2.321)$$

имеет довольно сложный вид.

Поэтому интеграл

$$I_y = \int f(y) dy \quad (2.322)$$

выразить в элементарных функциях не представляется возможным.

В этой связи, для вычисления значений элементарных объемов сформированного в бункере монолита

$$V_{i,i+1} = \int_{y_i}^{y_{i+1}} f(y) dy. \quad (2.323)$$

воспользуемся теоремой о среднем для определенных интегралов, в соответствии с которой

$$V_{i,i+1} = \int_{y_i}^{y_{i+1}} f(y) dy \approx f\left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2}\right)(y_i - y_{i+1}). \quad (2.324)$$

Тогда, выражение для определения коэффициента вариации, с помощью которого оценивается равномерность заполнения бункера МП, примет вид

$$\delta_s = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i - m_v)^2}}{n-1} / m_v, \quad (2.325)$$

где m_v – среднее значение V_i . При $\delta_s \approx 0$, $\delta_p \approx 0$, $\delta_{птр} \approx 0$, значение $\delta_p = \delta_s$, где δ_p – неравномерность подачи кормов МП.

2.5 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОЦЕНКЕ СМЕШИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННЫХ

ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ТЫКВЕННО-ЗЕРНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Как установлено нашими исследованиями, между массами компонентов кормовой смеси имеется связь. Парная связь характеризуется парными коэффициентами корреляции ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$). Связь между совокупностью масс всех компонентов в некотором смысле описывается корреляционной матрицей $\|\rho_{ij}\|$ [104].

При производстве и оценке смесей обычно различают главный компонент (контрольный) и второстепенные. Между контрольным компонентом и остальными компонентами имеет место определенная связь в смысле распределения их масс по пробам и в пределах одной пробы. Эту связь определим величиной множественного коэффициента корреляции между массой контрольного компонента смеси и массой оставшихся ($n-1$) компонентов. Множественный коэффициент корреляции есть мера линейной зависимости между одной и некоторой совокупностью случайных величин [36]. Точнее, если $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ случайный вектор (таким вектором является вектор x ($x_1, x_2, \dots, x_n$) масс 1-го, 2-го, ..., n -го компонента смеси), то множественный коэффициент корреляции между x_1 и величинами $x_2, x_3, \dots, x_n$ определяется как обычный коэффициент корреляции между $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ и обозначается $\alpha_{1(2, 3, \dots, n)}$. При $n = 2$ множественный коэффициент корреляции равен обычному коэффициенту корреляции α_{12} между x_1 и x_2 .

Множественный коэффициент корреляции $\alpha_{1(2, 3, \dots, n)}$ можно принять в качестве критерия оценке качества однородности смешивания исходя из ряда соображений, обосновывающих его внутреннюю структуру.

Множественный коэффициент корреляции выражается через элементы корреляционной матрицы $\|\alpha_{ij}\|$, описанной выражением следующим образом:

$$\alpha_{ij} = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & \cdots & \alpha_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & \cdots & \alpha_{nn} \end{vmatrix}, \quad (2.326)$$

которая характеризуется следующим выражением:

$$\alpha_{1(2,3,\dots,n)} = \sqrt{1 - \frac{\det \alpha_{ij}}{R_{11}}}, \quad (2.327)$$

где $\det ||\alpha_{ij}||$ - определитель матрицы.

Данный определитель можно представить как

$$\det \alpha_{ij} = \begin{vmatrix} 1 & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & 1 & \alpha_{23} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & 1 & \cdots & \alpha_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & \cdots & 1 \end{vmatrix}. \quad (2.328)$$

R_{11} – алгебраическое дополнение элемента в определителе $\det ||\alpha_{ij}||$.

Обращаясь к определителю $\det ||\alpha_{ij}||$, видим, что алгебраическое дополнение R_{11} элемента $\alpha_{11} = 1$, получаемое после зачеркивания первой строки и первого столбика в матрице $||\alpha_{ij}||$ определяется выражением

$$R_{11} = (-1)^{1+1} \begin{vmatrix} \alpha_{22} & \alpha_{23} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \alpha_{32} & \alpha_{33} & \cdots & \alpha_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & \cdots & \alpha_{nn} \end{vmatrix}. \quad (2.329)$$

Подставляя в формулу (2.327) значение $\det ||\alpha_{ij}||$ из (2.328) и значение R_{11} из (2.329), получим выражение для определения множественного коэффициента корреляции $\alpha_{1(2,3,\dots,n)}$ в развернутом виде

$$\alpha_{1(2,3,\dots,n)} = \left(\begin{array}{ccccc} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & \cdots & \alpha_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & \cdots & \alpha_{nn} \end{array} \right) \cdot \quad (2.330)$$

$$\left(\begin{array}{ccccc} \alpha_{22} & \alpha_{23} & \alpha_{24} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \alpha_{32} & \alpha_{33} & \alpha_{34} & \cdots & \alpha_{3n} \\ \alpha_{42} & \alpha_{43} & \alpha_{44} & \cdots & \alpha_{4n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & \alpha_{n4} & \cdots & \alpha_{nn} \end{array} \right)$$

Для вычисления множественного коэффициента корреляции $\alpha_{1(2,3,\dots,n)}$ могут оказаться более удобными и предпочтительными следующие выражения.

Для вычисления множественного коэффициента корреляции можно использовать формулу [104].

$$\alpha_{1(2,3,\dots,n)} = \sqrt{1 - \frac{\sigma_{1(2,3,\dots,n)}^2}{\sigma_1^2}}, \quad (2.331)$$

где $\sigma_1^2 = \sigma_{x_1}^2$ – дисперсия массы первого компонента x_1 ;

$\sigma_{1(2,3,\dots,n)}^2$ – дисперсия x_1 относительно регрессии по $x_2, x_3, \dots, x_n$

Дисперсия $\sigma_{1(2,3,\dots,n)}^2$ определяется путем составления уравнения регрессии величины x_1 на остальные $(n - 1)$ величин (второго, третьего, ..., n -го компонента в виде линейной функции - линейной регрессии

$$x_1^1 = m_{x_1} + \sum \beta_{1k} (x_k - m_{x_k}), \quad (2.332)$$

где β_{1k} – коэффициенты линейной регрессии, определяемые по формулам

$$\beta_{1k} = -\frac{R_{1k}}{R_{11}} \quad (k = 2, 3, \dots, n).$$

В данном выражении R_{1k} – алгебраическое дополнение элемента α_{1k} определителя $\det||\alpha_{ij}||$, а R_{11} – алгебраическое дополнение элемента α_{11} определителя $\det||\alpha_{ij}||$.

(2.336) представим в следующем виде

$$D = \begin{vmatrix} \alpha_{22} & \alpha_{23} & \alpha_{24} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \alpha_{32} & \alpha_{33} & \alpha_{34} & \cdots & \alpha_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & \alpha_{n4} & \cdots & \alpha_{nn} \end{vmatrix}. \quad (2.338)$$

Вполне очевидно, что определитель (2.338) представляет алгебраическое дополнение R_{11} элемента α_{11} определителя $\det||\alpha_{ij}||$ описываемого уравнением (4), то есть

$$D = R_{11}. \quad (2.339)$$

Для определения корня β_i ($i=2, 3, \dots, n$) необходимо вычислить определитель, полученный из определителя D путем соответствующей замены элементов β_i ($i=2, 3, \dots, n$) i -го столбца элементами следующего столбца уравнений (2.336)

$$\begin{vmatrix} \alpha_{21} \\ \alpha_{31} \\ \dots \\ \alpha_{n1} \end{vmatrix}.$$

Таким образом, необходимо составить определитель

$$D_{\beta i} = R_{11(\beta i)} = \begin{vmatrix} \alpha_{22}\alpha_{23} & \cdots & \alpha_{2(i-1)}\alpha_{21}\alpha_{2(i+1)} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \alpha_{32}\alpha_{33} & \cdots & \alpha_{3(i-1)}\alpha_{31}\alpha_{3(i+1)} & \cdots & \alpha_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n2}\alpha_{n3} & \cdots & \alpha_{n(i-1)}\alpha_{n1}\alpha_{n(i+1)} & \cdots & \alpha_{nn} \end{vmatrix}. \quad (2.340)$$

По правилу Крамера корень β_i равен

$$\beta_i = \frac{D_{\beta i}}{D} = \frac{R_{11(\beta i)}}{R_{11}} \quad (i = 2, 3, \dots, n). \quad (2.341)$$

Представляя значения β_i из (2.341) в (2.335), получим

$$\alpha_{1(2,3,\dots,n)} = \sqrt{\alpha_{12} \frac{R_{11(\beta 2)}}{R_{11}} + \alpha_{13} \frac{R_{11(\beta 3)}}{R_{11}} + \dots + \alpha_{1n} \frac{R_{11(\beta n)}}{R_{11}}} = \sqrt{\sum_{i=2}^n \frac{\alpha_{1i}}{R_{11}}}. \quad (2.340)$$

Множественный коэффициент корреляции $\alpha_{1,(2,3,\dots,n)}$ называют сводным коэффициентом корреляции [104]. При этом, свод-

ный коэффициент корреляции вычисляют по следующей зависимости.

Алгоритм вычисления сводного коэффициента корреляции сводится к тому, что в начале определяются центральные моменты второго порядка

$$\lambda_{jk} = \lambda_{ji} = \frac{\sum_{i=1}^m (X_j^{(i)} - m_{xj})(X_k^{(i)} - m_{xk})}{m}. \quad (2.341)$$

$D_{xi} = \sigma_i^2$ при $i=k$ (дисперсия); $\text{cov } x_i x_k$ при $x \neq k$ (ковариация); $i=k=1, 2, \dots, n$.

Данные моменты определяют матрицу моментов $\|\lambda_{ik}\|$. Ее определитель $\det\|\lambda_{ik}\|$ представляет собой обобщенную дисперсию n -мерного распределения.

Затем находится регрессия величины x_1 на остальные $n-1$ величины в виде линейной функциональной регрессии

$$x_1^1 = m_{x1} + \sum_{k \neq 1} \beta_{1k} (x_k - m_{xk}), \quad (2.342)$$

где β_{ik} – коэффициенты линейной регрессии, определяемые по зависимости

$$\beta_{1k} = -\frac{A_{1k}}{A_{11}}, \quad (2.343)$$

где $\|A_{ik}\| = \|\lambda_{ik}\|^{-1}$ есть матрица, обратная матрице моментов $\|\lambda_{ik}\|$.

Тогда сводный коэффициент корреляции определяется по зависимости

$$\alpha(x_1, x_1^1) = \sqrt{1 - \frac{1}{\lambda_{11} A_{11}}} \quad (2.344)$$

Матрица $\|\lambda_{ik}\|^{-1} = \|A_{ik}\|$ – представляет собой обратную матрицу моментов [45] то есть матрица, для которой

$$\|A_{ik}\| \|A_{ik}\|^{-1} = E. \quad (2.345)$$

Здесь E – единичная матрица, имеющая вид

$$E = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{vmatrix}. \quad (2.346)$$

Для матрицы $\|\lambda_{ik}\|$ обратной является матрица $\|\lambda_{ik}\|^{-1}$, элементы которой определяются по зависимости

$$\|\lambda_{ik}\| = \frac{A_{ik}}{\det \|\lambda_{ik}\|}, \quad (2.347)$$

где A_{ik} – алгебраическое дополнение элемента λ_{ik} определителя $\det \|\lambda_{ik}\|$ [104].

В частности, для элемента A_{11} , входящего в формулу (2.244) по определению сводного коэффициента корреляции выражение (2.347) принимает вид

$$\lambda_{11} = \frac{A_{11}}{\det \|\lambda_{ik}\|}, \quad (2.348)$$

В выражении A_{11} определяется по зависимости

$$A_{11} = \begin{vmatrix} \sigma_{x_2}^2 & \text{cov } x_2 x_3 & \text{cov } x_2 x_4 & \cdots & \text{cov } x_2 x_n \\ \text{cov } x_2 x_3 & \sigma_{x_3}^2 & \text{cov } x_3 x_4 & \cdots & \text{cov } x_3 x_n \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \text{cov } x_n x_2 & \text{cov } x_n x_3 & \text{cov } x_n x_4 & \cdots & \sigma_{x_n}^2 \end{vmatrix}. \quad (2.349)$$

При этом, величина λ_{11} , входящая в равенство (2.344), определяется по зависимости

$$\lambda_{11} = \sigma_{x_1}^2 = \sigma_1^2 \quad (2.350)$$

С учетом выражений (2.348) и (2.350) формула (2.344) принимает вид

$$\alpha(x_1, x_1^1) = \sqrt{1 - \frac{1}{\lambda_{11} A_{11}}} = \sqrt{1 - \frac{\det \|\lambda_{ik}\|}{\sigma_1^2 A_{11}}}. \quad (2.351)$$

Квадрат множественного коэффициента корреляции принято называть коэффициентом детерминации. Исходя из вышеизложенного, коэффициент детерминации можно определить по любой из следующих зависимостей:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{1(2,3,\dots,n)}^2 &= 1 - \frac{|R|}{R_{11}} \\ \alpha_{1(2,3,\dots,n)}^2 &= 1 - \frac{\sigma_{1(2,3,\dots,n)}^2}{\sigma_1^2} \\ \alpha_{1(2,3,\dots,n)}^2 &= \beta_2 \alpha_{12} + \beta_3 \alpha_{13} + \dots + \beta_n \alpha_{1n} \end{aligned} \right\} \cdot \quad (2.352)$$

Коэффициент детерминации показывает какая доля дисперсии компонента X_1 определяется контролируемой вариацией компонентов $x_2, x_3, \dots, x_n$. Соответственно, оставшаяся доля дисперсии компонента x_1 (т.е. величина $1 - R_{1(2,3,\dots,n)}^2$) объясняется воздействием других неконтролируемых случайных компонентов.

Множественный коэффициент корреляции может находиться в интервале $1 \geq \alpha_{1(2,3,\dots,n)} \geq 0$. Если $\alpha_{1(2,3,\dots,n)} = 1$, то это говорит о том, что имеет место идеальное смешивание компонентов, то есть, что имеет место строго пропорциональное соотношение между массой первого компонента и остальными $(n-1)$ компонентами, что имеет место строго линейная зависимость между массой первого и остальными компонентами. В таком случае коэффициент детерминации $\alpha_{1(2,3,\dots,n)}^2 = 1$ и дисперсия компонента x_1 строго детерминируется контролируемой дисперсией компонентов $x_2, x_3, \dots, x_n$.

Если $\alpha_{1(2,3,\dots,n)} = 0$, то это говорит о том, что смешивание компонентов отсутствует, то имеет место чисто случайное соотношение между массой первого и массой остальных $(n-1)$ компонентов. При этом, отсутствует всякая функциональная, в том числе и линейная зависимость между массой первого компонента и массами остальных $(n-1)$ компонентов. При этом будет отсутствовать и зависимость между массами всех остальных $(n-1)$ компонентов. Здесь рассмотрены два крайних случая, когда $\alpha_{1(2,3,\dots,n)} = 1$ и $\alpha_{1(2,3,\dots,n)} = 0$. Такие случаи на практике отсутствуют, поэтому множественный коэффициент корреляции находится не в закрытом интервале $0 \leq \alpha_{1(2,3,\dots,n)} \leq 1$ а в открытом интервале $0 < \alpha_{1(2,3,\dots,n)} < 1$.

При этом, чем больше множественный коэффициент корреляции $\alpha_{1(2,3,\dots,n)}$, тем он меньше отличается от единицы, тем лучше

качество смешивания компонентов смеси и тем больше преобладает линейная зависимость между массами первого и остальными компонентами по сравнению с чисто случайной зависимостью.

В то же время, чем меньше множественный коэффициент корреляции $\alpha_{1,(2,3,\dots,n)}$, то есть чем он меньше он отличается от нуля, тем хуже качество смешивания компонентов смеси и тем меньше влияние линейной зависимости между массами компонентов, тем больше преобладает случайная зависимость между соотношениями масс компонентов смеси.

В конечном итоге, можно записать

$$\theta = \left[1 - \frac{\sigma_{1(2,3,\dots,n)}^2}{\sigma_1^2} \right]^{1/2} 100\%. \quad (2.353)$$

Анализ выражения (2.353) показывает, что при $\alpha \rightarrow 1$ $\theta \rightarrow 100\%$. При таких условиях параметр $\Delta\mathcal{E}_4$ согласно принятой модели в уравнении (2.8) стремится к максимуму.

2.6 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННО-БРИКЕТИРОВАННЫХ КОРМОВЫХ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЫКВЕННО-ЗЕРНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

2.6.1 ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПРЕССА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННО-БРИКЕТИРОВАННЫХ СМЕСЕЙ

В соответствии с проведенным в главе 1 анализом, поставленной целью и задачами исследований, а так же принятой рабочей гипотезой установлено, что основными критериями оптимизации данного процесса являются прочность гранулированно-брикетированного продукта – $Pr, \%$, а так же энергоемкость разрабатываемого технологического процесса – $N_{\mathcal{E}}, \frac{Bm \cdot ч}{кг}$.

Экономическую эффективность от реализации мероприятий, обеспечивающих снижение крошимости гранул определили, как

$$\Delta\mathcal{E} = C_N^B - C_N^{Pr}, \quad (2.354)$$

где C_N^B и C_N^{Pr} – стоимость затрат энергии с учетом прочности гранулированно-брикетированных продуктов и производительности оборудования по базовому и предлагаемому вариантам соответственно, кВт·ч·руб/кг·%.

Стоимость затрат энергии определяется следующим равенством

$$C_N^{B(Pr)} = \mathcal{E}_{zp}^{B(Pr)} \cdot Q_{zp}^{B(Pr)} \cdot Pr^{B(Pr)} \cdot C_{\mathcal{E}}, \quad (2.355)$$

где $\mathcal{E}_{zp}^{B(Pr)}$ – энергоемкость процесса получения гранулята (брикетов), кВт·ч/кг·%;

$Q_{zp}^{B(Pr)}$ – производительность процесса по базовому (предлагаемому) вариантам, кг/ч;

$Pr^{B(Pr)}$ – прочность гранул (брикетов), %;

$C_{\mathcal{E}}$ – цена электроэнергии, руб /кВт ·ч.

Энергоемкость процесса получения гранул (брикетов)

$$\mathcal{E}_{zp}^{B(Pr)} = 100 \cdot \frac{N_{zp}^{B(Pr)}}{Q_{zp}^{B(Pr)} \cdot Pr^{B(Pr)}}, \quad (2.356)$$

где $N_{zp}^{B(Pr)}$ – затраты электроэнергии на процессы получения гранулированно-брикетированных продуктов.

На основании проведенного анализа, а также принятых допущений и выдвинутых на решение положений по механизированному кормлению животных гранулированно-брикетированными кормовыми смесями с использованием тыквенно-зерновых композиций, разработана структурная схема пресса (рис. 2.28).

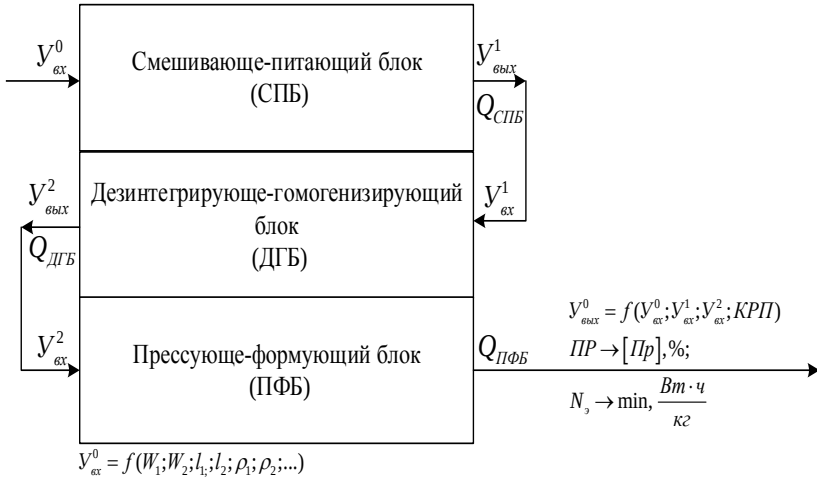


Рис. 2.28. Структурно-функциональная схема прессы для получения гранулированно-брикетированных смесей на основе корнеплодно-зерновых композиций

2.6.2 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СМЕШИВАЮЩЕ-ПИТАЮЩЕГО БЛОКА ПРЕССА

Подача любого технического устройства, содержащего n - последовательно установленных и перерабатывающих сырье в соответствующий продукт определяется неравенством

$$Q_1 \leq Q_2 \leq Q_i \leq Q_n, \quad (2.357)$$

где Q_1, Q_2, Q_i, Q_n – подача соответствующего структурного элемента кормо-перерабатывающего устройства.

Для дезинтегрирующе-гомогенизирующего блока, как базового (рисунок 2.27) подача определяется неравенством:

$$Q_{\text{СПБ}} \leq Q_{\text{ДГБ}} \leq Q_{\text{ПФБ}}, \quad (2.358)$$

где $Q_{\text{СПБ}}$ – подача питателя;

$Q_{дгб}$ – пропускная способность дезинтегрирующе-гомогенизирующего блока;

$Q_{пфб}$ – пропускная способность формирующего сопла соответствующего диаметра и конфигурации.

В общем случае имеем:

– для винтового питателя:

$$Q_{СПБ} = \pi \left[(D^2 - d^2) / 4 \right] \cdot S \cdot n \cdot \rho \cdot \psi , \quad (2.359)$$

где D и d – соответственно диаметры винта и вала;

S – шаг винта;

n – частота вращения винта;

ρ – плотность продукта;

ψ – коэффициент заполнения винта.

Следует отметить, что произведение $S \cdot n$ по сути есть параметр, характеризующий скорость движения продукта в камере питателя вдоль его оси – v_0^k .

Длина питателя L_{Π} связана по сути со временем релаксации продукта в камере прессующего сопла – $t_{\text{рел}}$, входящего в состав прессы и, следовательно, с длиной канала сопла l_c^c , входящего в состав этого прессы:

$$L_{\Pi} = S \cdot n \cdot t_{\text{рел}} \geq v_0^k \cdot t_{\text{рел}} , \quad (2.360)$$

где $t_{\text{рел}} = l^c / v^c$ (v^c – скорость перемещения продукта по соплу).

Осевую скорость перемещения продукта по соплу определим используя следующий методологический подход.

Во-первых, примем, что продукт имеет массу q .

Во-вторых, продукт движется по каналу прямолинейно, под действием осевой силы F_0 .

С учетом принятых допущений, имеем что расход мощности на подачу составляет

$$N_{СПБ} = 0,01kQ_{СПБ} \cdot L_{\Pi} , \quad (2.361)$$

где k – приведенный коэффициент сопротивления движению корма по кожууху прессующего устройства $k = 8 - 10$.

2.6.3 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ДЕЗИНТЕГРАЦИИ-ГОМОГЕНИЗАЦИИ ТЫКВЕННО-ЗЕРНОВОЙ КОМПОЗИЦИИ РЕШЁТЧНО-НОЖЕВЫМ АППАРАТОМ

Для рассматриваемой системы разрушения сырья в бинарной композиции, уравнение баланса имеет вид

$$\frac{K \sum_{i=1}^n V_{K_i} \cdot \rho_{K_i} \cdot \varphi_3}{F_p} = \prod_{j=1}^{\gamma} \lambda_j \frac{\sum_{z=1}^m V_{q_z} \rho_{q_z}}{\sum_{c=1}^k F_{0p}}, \quad (2.362)$$

где V_{K_i} – объем частиц исходной бинарной композиции в площади кольцевого сектора ножа;

ρ_i – плотность композиционного продукта;

K – количество ножей измельчающего аппарата;

φ_3 – коэффициент заполнения межперьевого пространства ножа;

F_p – площадь решётки;

n – количество перьев ножей;

λ_j – степень измельчения на j -ой ступени дезинтеграции частиц композиции;

V_{q_z} – объем частиц конечного размера, принимаемых за шар;

ρ_{q_z} – плотность измельчённого продукта;

F_{0p} – площадь отверстий измельчающей решетки

Уравнение (2.362) перепишем с учетом рисунка 2.29.

При этом, фигурами, представленными на рисунке 2.29 *а* и *б*, являются кольцевые сектора различного объема, а на рисунке 2.29 *в* – сегмент.

Тогда, согласно рисунку 2.29 *а* и *б* имеем, что

$$\frac{K \cdot \sum_{i=1}^n \pi \varphi_i (R^2 - r^2) \rho_{K_i} \varphi_3 h_K}{360 \cdot F_p} = \prod_{j=1}^{\gamma} \lambda_{j-1}^{\gamma} \frac{\pi \cdot \sum_{z=1}^m v_{q_z} \rho_{q_z}}{6 \sum_{c=1}^k F_{0p}}, \quad (2.363)$$

а согласно рисунку 2.2 в

$$\frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n \rho_{K_i} \varphi_3 h_K [R(l - a_x) + a_x h_c]}{2 \cdot 360^\circ \cdot F_p} = \prod_{j=1}^{\gamma} \lambda_{j-1}^c \frac{\pi \sum_{z=1}^m d_{q_z}^3 \rho_{q_z}}{6 \sum_{c=1}^k F_{0p}}, \quad (2.364)$$

где φ_3 – угол, образующий сектор;

R – радиус решетки;

r – радиус ступицы ножа;

h_K – толщина ножа;

l – дуга;

a_x – хорда;

h_c – стрелка (для нашего случая, $h_c = 2R$);

$d_{q_z}^3$ – конечный диаметральный размер частицы, принятой за

шар;

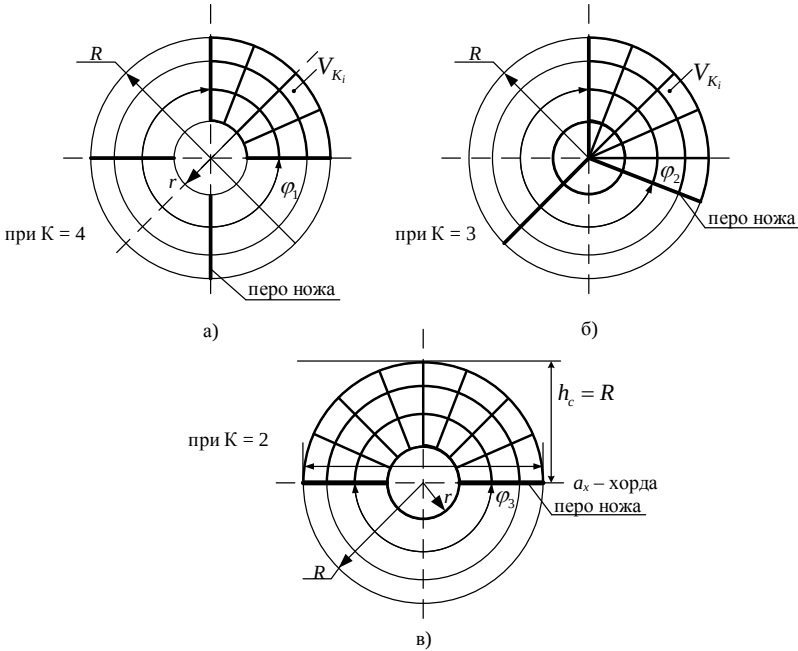


Рис. 2.29. Схема к обоснованию параметров
измельчающего аппарата

Преобразование данных уравнений, относительно соответствующих параметров, дает следующие расчетные формулы:

– для степени измельчения:

$$\lambda_{j-1}^y = \frac{K \cdot \sum_{i=1}^n \pi \varphi_i (R^2 - r^2) \rho_{K_i} \cdot \varphi_3 h_K \cdot 6 \sum_{c=1}^k F_{0p}}{\prod_{j=1}^{\gamma} 360^0 \cdot F_p \cdot \pi \sum_{z=1}^m d_{u_z}^3 \rho_{u_z}} = \frac{0,017K \cdot \sum_{i=1}^n \varphi_i \varphi_3 \cdot \rho_{K_i} \cdot h_K \cdot \sum_{c=1}^k F_{0p}}{\prod_{j=1}^{\gamma} F_p \cdot \sum_{z=1}^m d_{u_z}^3 \rho_{u_z}}, \quad (2.365)$$

$$\lambda_{j-1}^c = \frac{0,017 \cdot \sum_{i=1}^n h_K [R(l - a_x) + a_x h_c] \cdot \sum_{c=1}^k F_{0p} \cdot \rho_{K_i} \cdot \varphi_3}{\prod_{j=1}^{\gamma} F_p \cdot \sum_{z=1}^m d_{u_z}^3 \rho_{u_z}}, \quad (2.366)$$

где $\rho_{K_i} / \rho_{u_z} = 1/k_y$ – величина, обратная степени уплотнения
– для конечного размера частицы

$$d_{u_z}^y = \sqrt[3]{\frac{0,017K \cdot \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot \varphi_3 \cdot \rho_{K_i} \cdot \sum_{c=1}^k F_{0p} \cdot h_K}{\prod_{j=1}^{\gamma} F_p \cdot \sum_{z=1}^m \rho_{u_z} \cdot \lambda_{j-1}^y}}, \quad (2.367)$$

$$d_{u_z}^c = \sqrt[3]{\frac{0,017 \cdot \sum_{i=1}^n h_K [R(l - a_x) + a_x h_c] \cdot \sum_{c=1}^k F_{0p} \cdot \rho_{K_i} \cdot \varphi_3}{\prod_{j=1}^{\gamma} F_p \cdot \sum_{z=1}^m \rho_{u_z} \cdot \lambda_{j-1}^c}}, \quad (2.368)$$

Пропускная способность решёточно-ножевого аппарата дезинтегрирующего-гомогенизирующего блока пресса равна

$$Q_{ДГБ} = 0,125d_o^2 \cdot z_o \cdot h_p \cdot \rho \cdot z_n, \quad (2.369)$$

где d_o – диаметр отверстия решетки, равный значению $d_{u_z}^c$, определяемому по выражению (2.368);

z_o – число отверстий в решетке;

h_p – толщина решетки;

ρ – плотность продукта;

z_n – число ножей в аппарате;

Расход мощности на гомогенизацию-дезинтеграцию продукта в решёточно-ножевом аппарате определяется по формуле

$$N_{ДГБ} = Q_{ДГБ} \cdot A_{ДГБ}, \quad (2.370)$$

где $A_{ДГБ}$ – работа, затрачиваемая на осуществление процесса и определяемая по формуле Мельникова С.В. [62].

С учетом равенства (2.369) и формулы Мельникова С.В., для определения энергоёмкости ДГБ, имеем следующее уравнение

$$N_{ДГБ} = \frac{0,125d_o^2 \cdot z_o \cdot h_p \cdot \rho \cdot z_n [c_1 \cdot \lg \lambda^3 + c_2 (\lambda - 1)]}{Q_{ДГБ} \cdot \lambda} \quad (2.371)$$

где $c_1 = (10 - 15) \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ и $c_2 = (6 - 9) \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ [62].

В уравнении (2.371) значение параметра λ определяется по формуле (2.366).

2.6.4 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЕССУЮЩЕ-ФОРМУЮЩЕГО БЛОКА

Для схемы рабочего процесса ПСБ прессующего устройства рисунок 2.30 и формализованной схемы его прессующего сопла согласно рисунку 2.31, запишем следующее условие

$$\left. \begin{aligned} v_n \cdot \rho_n &= v_z \cdot \rho_z = v_k \cdot \rho_k \\ \frac{P_n}{\rho_n} &= \frac{P_z}{\rho_z} = \frac{P_k}{\rho_k} \end{aligned} \right\}, \quad (2.372)$$

где v_n , v_z , v_k – скорость движения продукта внутри сопла, соответственно в начальный, текущий и конечный момент обработки и продвижения продукта в канале прессования

ρ_n , ρ_z , ρ_k – плотность соответственно;

P_n , P_z , P_k – давление соответственно.

Решая совместно уравнения в системе (2.372) имеет, что

$$v_n \cdot P_n = v_z \cdot P_z = v_k \cdot P_k \quad (2.373)$$

Для начального момента времени, согласно рисунку 2.31, получаем

$$-dp_z = 0,5\Delta\rho_z \cdot v_z^2/d_{\Gamma C}, \quad (2.374)$$

где Δ – коэффициент, учитывающий сопротивление передвижению продукта в канале;

$d_{\Gamma C}$ – диаметр канала – сопла.

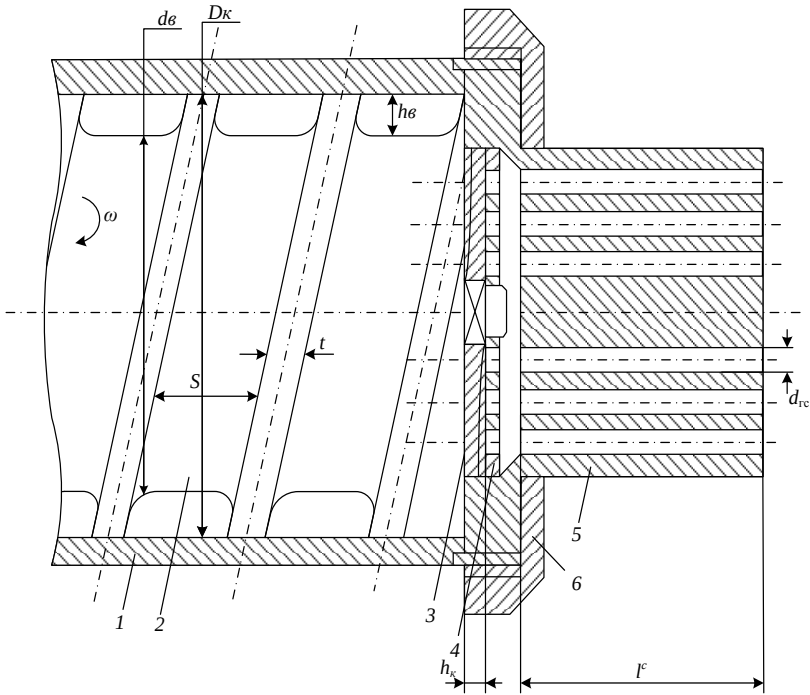


Рис. 2.30. Схема к обоснованию параметров
ПСБ прессующего устройства:

1 – кожух; 2 – винт; 3 – нож; 4 – решётка;

5 – прессующая матрица с отверстиями; 6 – гайка

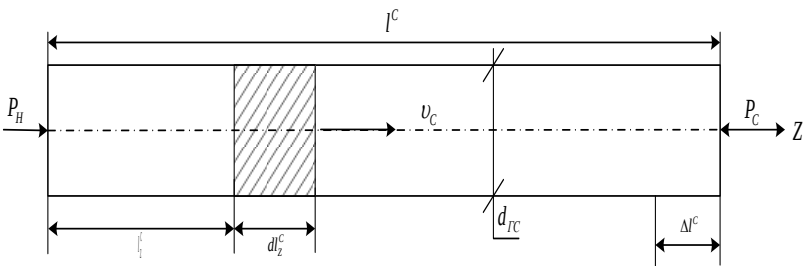


Рис. 2.31. Схема к расчету параметров формующего сопла (канала)
Решая совместно уравнения (2.372) и (2.274) получаем, что

$$v_z = v_n \cdot P_n / P_z \quad (2.375)$$

и
$$-dp_z = \frac{0,5 \cdot \rho_n \cdot v_n^2 \cdot P_n \cdot \Delta}{d_{GC} \cdot P_z} \cdot dz \quad (2.376)$$

Уравнение (2.376) преобразуем к следующему виду

$$-\int_{P_n}^{P_z} P_z \cdot d_z = \frac{0,5 \cdot \Delta \cdot \rho_n \cdot v_n^2 \cdot P_n}{d_{GC}} \int_0^z dz \quad (2.377)$$

Интегрирование данного уравнения дает

$$-0,5P_z^2 + 0,5P_n^2 = \frac{0,5 \cdot \rho_n \cdot v_n^2 \cdot P_n \cdot l_z^c}{d_{GC}} \quad (2.378)$$

Давление прессования в произвольном сечении канала-сопла равно

$$P_z = P_n \left(1 - \frac{0,5 \Delta \cdot \rho_n \cdot v_n^2 \cdot l^c}{d_{GC}} \right)^{0,5} \quad (2.379)$$

Исходя из уравнений (2.372) и (2.373) получаем равенство

$$v_z = v_\kappa \cdot P_\kappa / P_z \quad (2.380)$$

и
$$-dp_z = \frac{0,5 \cdot \Delta \cdot \rho_\kappa \cdot v_\kappa^2 \cdot P_\kappa}{d_{GC} \cdot P_z} \quad (2.381)$$

Преобразовав уравнение к виду

$$\left. \begin{aligned} -\int P_z \cdot dz &= \frac{0,5 \Delta \cdot \rho_z \cdot v_z^2 \cdot P_z}{d_{GC}} \int dz; \\ -0,5P_z^2 &= \left[0,5 \Delta \rho_\kappa \cdot v_\kappa^2 \cdot P_\kappa \cdot l_z^c / d_{GC} \right] + C; \end{aligned} \right\} \quad (2.382)$$

и приняв $z=0$ и $P_z = P_n$, имеем, что

$$C = -0,5P_n^2 \quad (2.383)$$

Используя исходные значения параметров, таких как $Z=l^c$, $P_z=P_\kappa$ и подставляя их в первое уравнение системы (2.382) имеем

$$P_n = P_\kappa \left(1 + \frac{\Delta \cdot v_\kappa^2 \cdot l^c \cdot \rho_\kappa}{d_{GC} \cdot P_\kappa} \right) \quad (2.384)$$

Работа прессования на элементарном участке dz (рис. 2.30) составит

$$A_{np} = 0,785 d_{GC}^2 \cdot P_n \cdot dz \quad (2.385)$$

При этом, полная работа на длине прессующего канала-сопла равна

$$A_{np} = 0,785d_{TC}^2 \int_0^z P_n \cdot dz \quad (2.386)$$

Мощность, затрачиваемая на осуществление процесса прессования продукта в предлагаемом устройстве, определяется как

$$N_{ПФБ} = K_K \cdot A_{ПФБ} \cdot Q_{ПФБ}, \quad (2.387)$$

где K_K – количество прессующих каналов;

$Q_{ПФБ}$ – подача прессующего устройства.

Подача прессующего устройства предложенного типа определяется по выражению

$$Q_{ПФБ} = 0,785d_{TC}^2 \cdot \rho_K \cdot v_K \cdot K_K, \quad (2.388)$$

где параметр v_K определили в результате следующего методического подхода.

В рамках принятых допущений, согласно рисунку 2.4 дифференциальное уравнение движения продукта в канале пресса имеет вид

$$q \frac{d^2 l^c}{dt} = F_0 \quad (2.389)$$

Для уравнения (2.389) начальными условиями являются

$$l^c = l_n^c, \quad v^c = v_n^c \quad \text{при} \quad t = t_n \quad (2.390)$$

Так как $\frac{dl^c}{dt} = v$, а $\frac{d^2 l^c}{dt} = \frac{dv}{dt}$, то уравнение (2.389) сводится

к уравнению с разделяющимися переменными $q \frac{dv}{dt} = F_0(t)$ и, соответственно,

$$v = \frac{1}{q} \int_{t_n}^t F_0(z) \cdot dz + C_1, \quad (2.391)$$

где Z – переменная интегрирования

Значение C_1 найдем из принятых за начальные условия (2.390) согласно которым $C_1 = v_0^c$ и, тогда

$$\begin{aligned} v &= v_0^c + \frac{1}{q} \int_{t_n}^t F_0(z) \cdot dz \\ \frac{dl^c}{dt} &= v_0^c + \frac{1}{q} \int_{t_n}^t F_0(z) \cdot dz \end{aligned} \quad (2.392)$$

Повторное интегрирование дает

$$l^c = v_0^c t + \frac{1}{q} \int_{t_n}^t \left(\int_{t_n}^u F_0(z) dz \right) \cdot du + C_2, \quad (2.393)$$

где $\int_{t_n}^t \left(\int_{t_n}^u F_0(z) dz \right) \cdot du$ есть вторичный интеграл.

Постоянную C_2 найдем исходя из начальных условий $l^c = l_n^c$, при $t = t_n$

$$C_2 = l_n^c - v_0^c \cdot t_n, \quad (2.394)$$

Тогда закон движения кормового продукта внутри канала-сопла определенного поперечного сечения, имеет следующий вид

$$l^c = l_n^c + v_0^c (t - t_n) + \frac{1}{q} \int_{t_n}^t \left(\int_{t_n}^u F_0(z) dz \right) \cdot du \quad (2.395)$$

Вполне очевидно, что сила F_o равна силе трения продукта о стенки сопла: т.е.

$$F_o^o = f \xi \cdot \pi d_c \int_0^{l^c} P_e \cdot dl, \quad (2.396)$$

где f – коэффициент трения;

ξ – коэффициент бокового распора;

P_e – осевое давление в продукте;

d_c – диаметр сопла.

По условию принятых допущений, сила F равна

$$F_o = F_o^o - \gamma t,$$

где F_o – начальное значение осевой силы;

γ – коэффициент пропорциональности

Так как $F_o = 0$, при $t = t_{\text{рел}}$, то $F_o^o - \gamma t_{\text{рел}} = 0$, откуда

$\gamma = F_0^0/t_{\text{рел}}$ и, следовательно $F_0 = F_0^0(1-t/t_{\text{рел}})$.

В этой связи имеем, что

$$v^c = \frac{F_0^0}{q} \int_0^t \left(1 - \frac{z}{t_{\text{рел}}}\right) dz \quad \text{или} \quad v^c = \frac{F_0^0}{q} \left(t - \frac{t^2}{2t_{\text{рел}}}\right) \quad (2.397)$$

При этом

$$l^c = \frac{F_0^0}{q} l \int_0^t \left(\int_0^u \left(1 - \frac{z}{t_{\text{рел}}}\right) dz \right) \cdot du \quad \text{или} \quad l^c = \frac{F_0^0 \cdot t^2}{2q} \left(1 - \frac{t}{3t_{\text{рел}}}\right) \quad (2.398)$$

Примем, что $t = t_{\text{рел}}$ и, тогда

$$\left. \begin{aligned} v^c &= \frac{F_0^0 \cdot t_{\text{рел}}}{2q} \\ l^c &= \frac{F_0^0 \cdot t_{\text{рел}}^2}{3q} \end{aligned} \right\} \quad (2.399)$$

Запишем уравнение движения для случая

$$q \frac{d^2 l^c}{dt} = F(v^c) \quad (2.400)$$

Произведя замену $\frac{dl^c}{dt} = v^c$, получим

$$q \frac{dv}{dt} = F(v^c) \quad (2.401)$$

и тогда

$$q \int_{v_0^c}^{v^c} \frac{dz}{F(z)} = t + C_1 \quad (2.402)$$

При $t = t_0$ $v^c = v_0^c$, а потому $C_1 = -t_0$.

Следовательно,

$$q = \int_{v_0^c}^{v^c} \frac{dz}{F(z)} = t - t_0 \quad (2.403)$$

Интегрирование данного уравнения и его разрешение относительно $\frac{dl^c}{dt} = v^c$, где $v^c = \psi(t; t_0; v_0^c)$ и тогда

$$l^c = \int_0^t \psi(u; t_0; v_0^c) \cdot du + C_2 \quad (2.404)$$

В уравнении (2.403) C_2 определяется из условия, что $l^c = l_0^c$ при $t = t_0$, т.е. $C_2 = v_0^c$.

Следовательно, в конечном итоге имеем, что

$$l^c = l_0^c + \int_{t_0}^t \psi(u; t_0; v_0^c) \cdot du \quad (2.405)$$

Произведем в уравнении (2.400) замену

$$\frac{dl^c}{dt} = v^c \frac{d^2 l^c}{dt^2} = \frac{dv^c}{dt} = \frac{dv^c}{dt} \cdot \frac{dl^c}{dt} = v^c \frac{dv^c}{dl^c} \quad (2.406)$$

и запишем уравнение

$$q \cdot v^c \frac{dv^c}{dl^c} = F(v^c) \quad (2.407)$$

Из данного уравнения следует, что

$$l^c = q \int_{v_0^c}^{v^c} \frac{z dz}{F(z)} + C \quad (2.408)$$

Из начальных условий при $v^c = v_0^c$, следует, что $l^c = l_0^c$; $C = l_0^c$. В данном случае движущая сила должна быть больше силы трения, определяемой по уравнению (2.383). В этом случае можно считать, что $F(v^c) = -\gamma v^c$ и тогда уравнение (2.408) примет вид

$$l^c = l_0^c - \frac{q}{\gamma} (v^c - v_0^c) \quad (2.409)$$

Уравнение (2.403) в этом случае может быть приведено к следующей форме

$$\frac{q}{\gamma} \ln \frac{v_0^c}{v^c} = t - t_0 \quad (2.410)$$

$$\text{или} \quad v^c = v_0^c \cdot e^{\gamma(t-t_0)/q} \quad (2.411)$$

Рассмотрим случай когда $F = q \cdot a - \gamma v^{c(2)}$.

Для этого случая

$$t_{\text{пел}} = q \int_{v_0^c}^{v^c} \frac{dz}{q \cdot a - \gamma v^{c(2)}} \quad (2.412)$$

При $F > 0$ и $ma - \gamma v^{c(2)} > 0$ или $v^c < \sqrt{m \cdot a / \gamma}$. Примем, что $\sqrt{m \cdot a / \gamma} = v_{\text{пп}}^c$, и тогда

$$t_{\text{пел}} = \frac{q}{2\gamma v_{\text{пп}}^c} \left(\ln \frac{v_{\text{пп}}^c + v^c}{v_{\text{пп}}^c - v^c} - \ln \frac{v_{\text{пп}}^c + v_0^c}{v_{\text{пп}}^c - v_0^c} \right) \quad (2.413)$$

или

$$t_{\text{пел}} = \frac{q}{\gamma v_{\text{пп}}^c} \left(\text{Arth} \frac{v^c}{v_{\text{пп}}^c} - \text{Arth} \frac{v_0^c}{v_{\text{пп}}^c} \right) \quad (2.414)$$

Здесь существует равенство $\frac{q}{\gamma} = \frac{v_{\text{пп}}^{c(2)}}{a}$ и поэтому имеем, что

$$\frac{\gamma v_{\text{пп}}^c}{q} = \frac{a}{v_{\text{пп}}^c} \quad (2.415)$$

В то же время, с учетом (2.415) получаем, что

$$\text{Arth} \frac{v^c}{v_{\text{пп}}^c} = \text{Arth} \frac{v_0^c}{v_{\text{пп}}^c} + \frac{at}{v_{\text{пп}}^c} \quad (2.416)$$

Возьмем гиперболические тангенсы от обеих частей уравнения (2.416) и, тогда

$$v^c = v_{\text{пп}}^c \frac{(v_0^c / v_{\text{пп}}^c) + \text{th}(at / v_{\text{пп}}^c)}{1 + (v_0^c / v_{\text{пп}}^c) \text{th}(at / v_{\text{пп}}^c)} \quad (2.417)$$

$$\text{или} \quad v^c = v_0^c + v_{\text{пп}}^c \frac{(1 - v_0^{c(2)}) \text{th}(at / v_{\text{пп}}^c)}{1 + (v_0^c / v_{\text{пп}}^c) \text{th}(at / v_{\text{пп}}^c)} \quad (2.418)$$

В частом случае, при $v_0^c = 0$ имеем, что

$$v^c = v_{\text{пп}}^c \text{th}(at / v_{\text{пп}}^c), \quad (2.419)$$

а, при $v_0^c = v_{\text{пп}}^c$

$$v^c(t)^0 = v_0^c = v_{\text{пп}}^c \quad (2.420)$$

Для нахождения длины формирующего канала-сопла проинтегрируем уравнение (2.417)

$$dl^c = v_{\text{ИП}}^c \frac{(\nu_0^c/\nu_{\text{ИП}}^c) + th(at/\nu_{\text{ИП}}^c)}{1 + (\nu_0^c/\nu_{\text{ИП}}^c)th(at/\nu_{\text{ИП}}^c)} dt \quad (2.421)$$

и, получим

$$l^c = v_{\text{ИП}}^c \int_0^t \frac{(\nu_0^c/\nu_{\text{ИП}}^c) + th(at/\nu_{\text{ИП}}^c)}{1 + (\nu_0^c/\nu_{\text{ИП}}^c)th(a \cdot u/\nu_{\text{ИП}}^c)} dt + C \quad (2.422)$$

Для вычисления интеграла в правой части используем подстановку $th(a \cdot u/\nu_{\text{ИП}}^c) = z$ или $u = (\nu_{\text{ИП}}^c/a) Arth z$ и замену $\nu_0^c/\nu_{\text{ИП}}^c = \varphi$. Тогда интеграл примет следующую форму

$$J = \frac{\nu_{\text{ИП}}^{c(2)}}{a} \int_0^{z_0} \frac{\varphi + z}{(1 + \varphi \cdot z)(1 - z^2)} dz \quad (2.423)$$

В уравнении (2.423) $z_0 = th(at/\nu_{\text{ИП}}^c)$.

Разложение подынтегрального выражения дает

$$\frac{\varphi + z}{(1 + \varphi \cdot z)(1 - z^2)} = \frac{\varphi}{1 + \varphi z} - \frac{1}{2(1 + z)} + \frac{1}{2(1 - z)} \quad (2.424)$$

В результате подстановки (2.424) в (2.423) имеем, что

$$\begin{aligned} J &= \frac{\nu_{\text{ИП}}^{c(2)}}{a} \left[\ln(1 + \varphi \cdot z) - \frac{\ln(1 + z)}{2} - \frac{\ln(1 - z)}{2} \right]_0^{z_0} = \left| \frac{\nu_{\text{ИП}}^{c(2)}}{a} \ln \frac{1 + \varphi \cdot z}{(1 - z^2)^{0.5}} \right|_0^{z_0} = \\ &= \frac{\nu_{\text{ИП}}^{c(2)}}{a} \ln \frac{1 + (\nu_0^c/\nu_{\text{ИП}}^c)th(at/\nu_{\text{ИП}}^c)}{(1 - th^2(at/\nu_{\text{ИП}}^c))^{0.5}} = \frac{\nu_{\text{ИП}}^{c(2)}}{a} \ln \left(ch \frac{a \cdot t}{\nu_{\text{ИП}}^c} + \frac{\nu_0^c}{\nu_{\text{ИП}}^c} \cdot Sh \frac{a \cdot t}{\nu_{\text{ИП}}^c} \right) \end{aligned} \quad (2.425)$$

В конечном итоге, получаем

$$l^c = \frac{\nu_{\text{ИП}}^{c(2)}}{a} \ln \left(ch \frac{a \cdot t}{\nu_{\text{ИП}}^c} + \frac{\nu_0^c}{\nu_{\text{ИП}}^c} \cdot Sh \frac{a \cdot t}{\nu_{\text{ИП}}^c} \right) + C \quad (2.426)$$

С целью определения значения C примем $l^c = l_0^c$, при $t = 0$ $C = l_0^c$ и, тогда

$$l^c = l_0^c + \frac{\nu_{ПП}^{c(2)}}{a} \ln \left(\frac{a \cdot t}{\nu_{ПП}^c} + \frac{\nu_0^c}{\nu_{ПП}^c} \cdot Sh \frac{a \cdot t}{\nu_{ПП}^c} \right) \quad (2.427)$$

Примем, что $l_0^c = 0$ и, тогда получаем

$$l^c = \frac{\nu_{ПП}^{c(2)}}{a} \ln \left(ch \frac{a \cdot t}{\nu_{ПП}^c} + \frac{\nu_0^c}{\nu_{ПП}^c} \cdot Sh \frac{a \cdot t}{\nu_{ПП}^c} \right) \quad (2.428)$$

Если принять, что $\nu_0^c = 0$ то, в конечном итоге, имеем

$$l^c = \frac{\nu_{ПП}^{c(2)}}{a} \ln ch \frac{a \cdot t}{\nu_{ПП}^c} \quad (2.429)$$

Для уравнения движения

$$q \frac{d^2 l^2}{dt^2} = F(l_c) \quad (2.430)$$

справедливы следующие равенства

$$\frac{dl^2}{dt} = \nu^c; \frac{d^2 l^2}{dt^2} = \frac{d\nu^c}{dt} = \nu^c \frac{d\nu^c}{dt} \quad (2.431)$$

С учетом равенства (2.431), уравнение движения продукта по каналу-соплу, принимает вид

$$q \cdot \nu^c \frac{d\nu^c}{dt} = F(l^c) \quad (2.432)$$

Путем разделения переменных в уравнении (2.432) получаем, что

$$0,5q \cdot \nu^{c(2)} = \int_{l_0^c}^{l^c} F(z) dz + C, \quad (2.433)$$

где z – переменная интегрированная.

Исходя из начального условия $\nu^c = \nu_0^c$ при $l^c = l_0^c$
 $C_1 = 0,5q \cdot \nu_0^{c(2)}$ и, тогда

$$C_1 = 0,5q \cdot \nu_0^{c(2)} + \int_{l_0^c}^{l^c} F(z) dz \quad (2.434)$$

Решая уравнение (2.434) относительно параметра ν^c , с уче-

том того, что $\nu^c = \frac{dl^c}{dt}$ имеем

$$\frac{dl^c}{dt} = \left[\nu_0^{c(2)} + \frac{2}{q} \int_{l_0^c}^{l^c} F(z) dz \right]^{0.5} \quad (2.435)$$

$$\text{или} \quad t = \int_{l_0^c}^{l^c} \left\{ du / \left[\nu_0^{c(2)} + \frac{2}{q} \cdot \int_{l_0^c}^u F(z) dz \right] \right\} + C_2 \quad (2.436)$$

Равенство $l^c = l_0^c$ справедливо при $t^c = t_0^c$, поэтому $C_2 = t_0^c$.

С учетом данного условия имеем, что

$$t = t_0^c + \int_{l_0^c}^{l^c} du / \left[\nu_0^{c(2)} + \frac{2}{q} \cdot \int_{l_0^c}^u F(z) dz \right]^{0.5} \quad (2.437)$$

С учетом того, что $F = \gamma \cdot q / l^{c(3)}$, при значении $l^c = l_0^c$,

$\nu^c = \nu_0^c$, $t^c = t_0^c$ имеем

$$t = \int_{l_0^c}^{l^c} du / \left(\nu_0^{c(2)} + \frac{2}{q} \cdot \int_{l_0^c}^u \frac{\gamma \cdot q}{z^3} dz \right)^{0.5} = l_0^c \int_{l_0^c}^{l^c} u \cdot du / \left[\left(\nu_0^{c(2)} \cdot l_0^{c(2)} + \gamma \right) \cdot u^2 - \gamma l_0^{c(2)} \right]^{0.5} \quad (2.438)$$

В конечной форме уравнение (2.438) принимает вид

$$t = l_0^c \left(\nu_0^{c(2)} l_0^{c(2)} + \gamma \right)^{-1} \left\{ \left[\left(\nu_0^{c(2)} \cdot l_0^{c(2)} + \gamma \right) \cdot l_0^{c(2)} - \gamma l_0^{c(2)} \right]^{0.5} - \nu_0^c \cdot l_0^c \right\} \quad (2.439)$$

Решая это уравнение, относительно параметра l^c , имеем

$$l^c = \left[\left(l_0^c + \nu_0^c t \right)^2 + \frac{\gamma t^2}{l_0^{c(2)}} \right]^{0.5} \quad (2.440)$$

Приняв, что $t = t_{\text{пер}}$ и преобразовав уравнение (2.440) получаем

$$t_{\text{пер}} = l_0^c / \gamma - \nu_0^c l_0^c \quad (2.441)$$

Общий расход мощности составит

$$N_O = (N_{\text{СПБ}} + N_{\text{ДБП}} + N_{\text{ПФБ}} + N_{\text{ХХ}}) / \eta, \quad (2.442)$$

где $N_{\text{ХХ}}$ – мощность холостого хода;

η – КПД передачи.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

3.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИСХОДНОГО ПЛОДОВОГО И ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ

Для определения физико-механических свойств плодов тыквы и зерна проведены исследования по замерам соответствующих показателей, в результате которых установлены их характеристики. Известно, что качество готовых кормовых продуктов во многом зависит от исходных физико-механических свойств сырья.

Объектом основного исследования являлся местный, широко распространенный в сорт тыквы кормовой «Стофунтовая». Это крупноплодная кормовая тыква, имеющая шаровидные и коротко-овальные плоды, среди которых встречаются неправильно-шаровидные и сплюснутые. Поверхность плода гладкая или слабобугристая. Средняя масса плода составляет от 10 до 20 кг. Окраска поверхности плода розовая, желтая, оранжевая и серая. Кора тонкая, гибкая. Мякоть кремовая и желтая, толщиной 40-50 мм. Урожайность в зонах районирования составляет 32,4-63,0 т/га.

Для обоснования вместимости камеры с ограничителем по максимальному коэффициенту заполнения, проведены исследования размерных характеристик плодов тыквы: диаметр, высота и коэффициент формы [28].

Обработка результатов измерений производилась методами математической статистики [36, 109]. При оценке эмпирических распределений измеряемых параметров производился подсчет средних арифметических $\bar{X}$, дисперсий S^2 , асимметрий S_k , эксцесса E_k и коэффициента вариации v .

Результаты обработки результатов измерений приведены в таблицах 3.2-3.4.

Результаты измерений и расчетов показали, что диаметр тыквы изменяется от 160 до 460 мм, а ее среднеарифметическое $\bar{D} = 294,4$ мм, среднее квадратическое отклонение $S = 55,15$, асимметрия $S_k = 0,29$, эксцесс $E_k = -0,132$, а коэффициент вариации составил $v = 18,7\%$. Высота тыквы колеблется в пределах 140-

435 мм, $\bar{X} = 272,75$ мм, $S = 56,81$, $S_k = 0,14$, $E_k = -0,092$ и $\nu = 20,7\%$.

Эмпирическое распределение диаметра, высоты, коэффициента формы плодов тыквы представлены в виде гистограмм (рис. 3.1 - 3.3).

Таблица 3.1

Интервалы, частоты распределения и значения нормальной плотности вероятности диаметра плодов тыквы

Интервалы	Середина интервала x_i	Частота абсолютная n_i	Относительная середина интервала y_i	Частота $\omega(x)$	Нормирование середины интервала $z = \frac{x - a}{\sigma}$	Плотности вероятности в серединах интервала $P(z)$	Отношение $\frac{\omega(x)}{\Delta Z}$
1	175	2	-4	0,02	-2,165	0,03871	0,037
2	205	7	-3	0,07	-1,621	0,1074	0,128
3	235	13	-2	0,13	-1,077	0,2251	0,239
4	265	17	-1	0,17	-0,533	0,3467	0,312
5	295	23	0	0,23	0,011	0,3989	0,422
6	325	20	1	0,20	0,555	0,3429	0,367
7	355	9	2	0,09	1,099	0,2203	0,165
8	385	5	3	0,05	1,643	0,1040	0,092
9	415	3	4	0,03	2,186	0,03706	0,055
10	445	1	5	0,01	2,731	0,00960	0,018

Таблица 3.2

Интервалы, частоты распределения и значения нормальной плотности вероятности высоты плодов тыквы

Интервалы	Середина интервала x_i	Частота абсолютная n_i	Относительная середина интервала y_i	Частота $\omega(x)$	Нормирование середины интервала $z = \frac{x - a}{\sigma}$	Плотности вероятности в серединах интервала $P(z)$	Отношение $\frac{\omega(x)}{\Delta Z}$
1	154,75	4	-4	0,04	-2,093	0,0449	0,077
2	184,24	6	-3	0,06	-1,573	0,1163	0,115
3	213,75	9	-2	0,09	-1,054	0,2299	0,173
4	243,25	19	-1	0,19	-0,535	0,3467	0,366
5	272,75	25	0	0,25	0,015	0,3989	0,48
6	302,25	18	1	0,18	0,503	0,3251	0,346
7	331,75	7	2	0,07	1,023	0,2371	0,135
8	361,25	7	3	0,07	1,542	0,1219	0,135
9	390,75	4	4	0,04	2,061	0,0478	0,077
10	420,25	1	5	0,01	2,581	0,0143	0,019

Таблица 3.3

Интервалы, частоты распределения и значения нормальной
плотности вероятности коэффициента формы плодов тыквы

Интервалы	Середина интервала x_i	Частота абсолютная n_i	Относительная середина интервала y_i	Частота $\omega(x)$	Нормирование середины интервала $z = \frac{x - a}{\sigma}$	Плотности вероятности в серединах интервала $P(z)$	Отношение $\frac{\omega(x)}{\Delta Z}$
1	0,196	6	-4	0,06	-1,908	0,06438	0,128
2	1,018	6	-3	0,06	-1,438	0,1415	0,128
3	1,09	10	-2	0,1	-0,967	0,2492	0,213
4	1,162	17	-1	0,17	-0,497	0,3538	0,362
5	1,234	23	0	0,23	-0,026	0,3988	0,489
6	1,306	15	1	0,15	0,444	0,3621	0,319
7	1,378	9	2	0,09	0,915	0,2637	0,191
8	1,45	7	3	0,07	1,386	0,1539	0,149
9	1,522	5	4	0,05	1,856	0,07206	0,106
10	1,594	2	5	0,02	2,327	0,0264	0,042

Для комплексной оценки геометрических параметров тыквы определен коэффициент формы, который варьирует от 0,91-1,63, при этом: $\bar{O} = 1,283$ мм, $S = 0,153$, $S_k = 0,14$, $E_k = -0,341$ и $v = 18,7\%$.

Полученные значения характеристик асимметрий и эксцессов указывает на несущественное отличие распределений, приведенных в таблицах 3.1 - 3.3, от нормального распределения, что позволяет использовать свойства и простейшие положения этого распределения для наших случайных величин.

Нормирование середины интервала Z , плотности вероятности $P(z)$ в серединах интервалов, частоты $\omega(x)$, для построения теоретической кривой распределения, их значения приведены в таблицах 3.1 – 3.3, а на рисунках 3.1 – 3.3 построены графики нормальных плотностей вероятностей диаметра, высоты и коэффициента формы плодов тыквы.

Для обоснования размеров измельчителя необходимо, чтобы вероятность нахождения размеров плодов тыквы группировалась в узком интервале, то есть с вероятностью $P \geq 99,1\%$.

Вероятность $P(x_1 < X < x_2)$ нахождения в интервале $(x_1; x_2)$ геометрических размеров плодов тыквы определим через функцию Лапласа.

Вероятность нахождения для диаметра плода тыквы в интервале (160;400), для высоты плода тыквы в интервале (140;400), для коэффициента формы (0,91;1,63) соответственно $P(160 < d < 400) = 96,5\%$; $P(140 < h < 400) = 97,7\%$; $P(0,91 < k_{cp} < 1,63) = 97,8\%$.

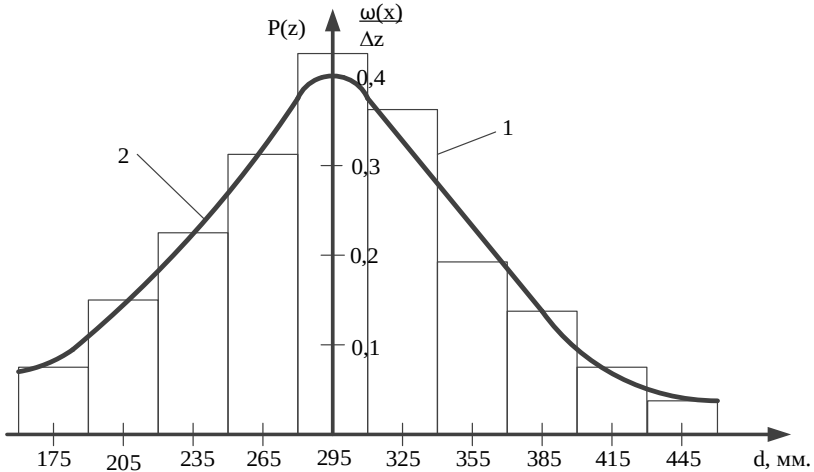


Рис. 3.1. Гистограмма 1 распределения диаметров плодов тыквы, совмещенная с графиком 2 нормальной плотности вероятности $n(z; 0; 1)$

при $a \approx \bar{O} = 294,4$ мм. и $\sigma \approx S = 55,15$ мм.

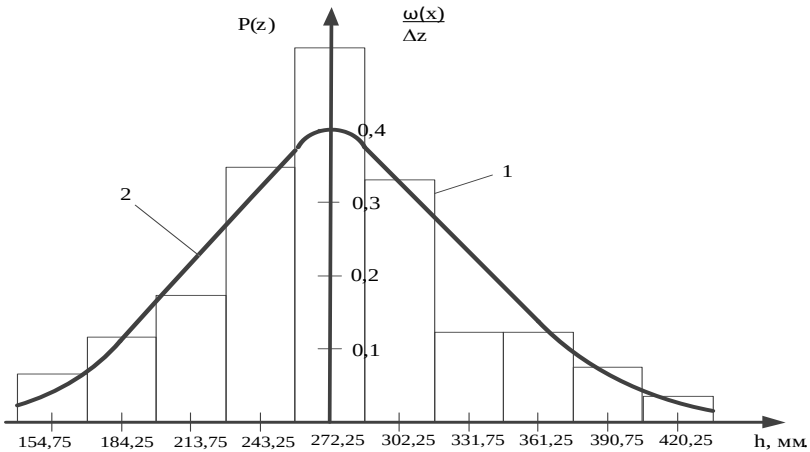


Рис. 3.2. Гистограмма 1 распределения высот плодов тыквы, совмещенная с графиком 2 нормальной плотности вероятности $n(z; 0; 1)$ при $a \approx \bar{x} = 273,6$ мм. и $\sigma \approx S = 56,81$ мм.

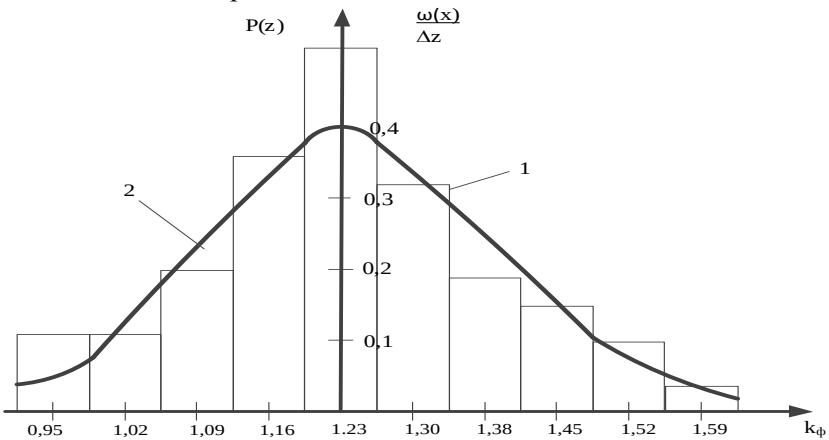


Рис. 3.3. Гистограмма 1 распределения коэффициента формы плодов тыквы, совмещенная с графиком 2 нормальной плотности вероятности $n(z; 0; 1)$ при $a \approx \bar{x} = 1,238$ и $\sigma \approx S = 0,153$

Остальные характеристики плодов тыквы сорта «Стофунтовая»

определялись по известным методикам и приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Физико-механические свойства плодов тыквы

Показатели	Плоды тыквы
Средний диаметр, м	0,295
Средняя длина (высота), м	0,270
Масса плода, кг	2 - 15
Толщина мякоти, м	0,02 - 0,05
Угол естественного откоса, град	30 - 52
Влажность, %	89 - 94
Плотность, кг/м ³	630 - 680
Удельное сопротивление резанию, кН/м	2,3 - 35

Основные физико-механические свойства кормовых компонентов, используемых в экспериментальных исследованиях, приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Физико-механические свойства кормовых компонентов (усредненные)

Наименование показателей	Тыква	Арбуз кормовой	Кабачки	Патиссоны	Капуста (вилки)
Диаметр, мм	295,0	190,0	81,0	140,0	215,0
Длина (высота), мм	270	196	360	64	196
Влагосодержание, %	92,5	95,0	92,0	92,0	88,0
Плотность, кг/м ³	650,0	950,0	630,0	620,0	1125,0
Модуль упругости, МПа *	34-54/ 62-80	30-45/ 50-70	30-35/ 55-65	35-60/ 48-62	30-75/ 50-80
Предел прочности при сжатии, МПа	10-18/ 20-25	10-15/ 22-27	12-16/ 25-34	16-20/ 26-34	16-30/ 28-40
Относительное сжатие, %	25-35/ 3-8	10-15/ 2-6	20-25/ 3-6	20-25/ 3-6	22-27/ 4-7

* В знаменателе указано для замороженной формы кормового сырья

В таблице 3.6 представлена сравнительная питательная ценность кормовых компонентов

Таблица 3.6

Сравнительная питательная ценность кормовых компонентов [97]

Кормовой продукт	К. ед./кг	Содержание, %					Витамины, мг/кг				Мин. в-ва, г/кг	
		вода	протеин	жиры	углеводы	мин. в-ва	β-каротин	К	U	С	Са	Р
Тыква сырая	0,07	92	1-2	0,7	5,0	1-2	15-70	-	-	10	0,3	0,4
Арбуз	0,09	91,9	1,2	0,7	5,7	0,4-0,6	25	-	-	25	0,4	0,2
Кабачки и патиссоны	0,1	92	1,2	0,1	6,1	0,6	5-10	-	-	10	0,6	0,3
Свекла (куу-зика)	0,11	90	0,9	0,31	7,8	0,98	-	-	-	10	0,7	0,4
Картофель	0,31	75	1,4	0,1	15	1,1	-	-	-	25	0,2	0,9
Капуста	0,16	90	1,8	0,1	5,7	0,7	6,8	50	30	45	-	0,3

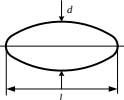
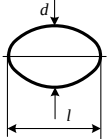
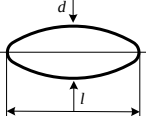
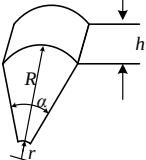
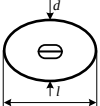
Данные таблицы 3,6 показывают, что использование для кормления животных таких кормов, как тыква, бахчевые, кабачки и капуста является целесообразным из-за наличия в их составе всего набора витаминов и минеральных веществ, необходимых для полноценного роста и развития животных.

На следующем этапе исследований определялись размерные характеристики, а также физико-механические свойства и показатели исходного зернового сырья (табл. 3.7).

Анализ данных, представленных в таблице 3.7 и 4.2 показывает, что характеристики, свойства и показатели исходного сырья варьируют в широких пределах, что необходимо учитывать при проектировании соответствующих процессов и технических средств по их обработке и переработке.

Таблиц 3.7

Размерные характеристики зерна ($\bar{x} \pm m$; $p \leq 0,05$)

Культура (сортовая смесь)	Параметры семян					
	d , мм	l , мм	R , мм	r , мм	α , °	h , мм
Пшеница 	2,0 - 3,0	5,0 - 6,0	—	—	—	—
Ячмень шелушёный 	3,0 - 4,0	5,0 - 7,0	—	—	—	—
Овёс 	3,0 - 4,0	10,0 - 13,0	—	—	—	—
Кукуруза 	—	—	8,0 - 10,0	1,0 - 2,0	45,0 - 60,0	4,0 - 5,0
Соя 	5,0 - 7,0	5,0 - 11,0	—	—	—	—

3.2 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПИТАТЕЛЯ ПЛОДОВ ТЫКВЫ

В процессе экспериментальных исследований по процессу подачи тыквы необходимо обосновать высоту установки ограничителей подачи плодов- H_i , установленных поярусно над подающим транспортером питателя, а также установить зависимость скорости подающего транспортера $v_{трп}$ питателя от размерных характеристик плодов.

Результаты исследований позволяют заключить, что высота H_1 между полотном подающего транспортера и первым ограничителем (рис. 3.4) должна быть не менее 435 мм.

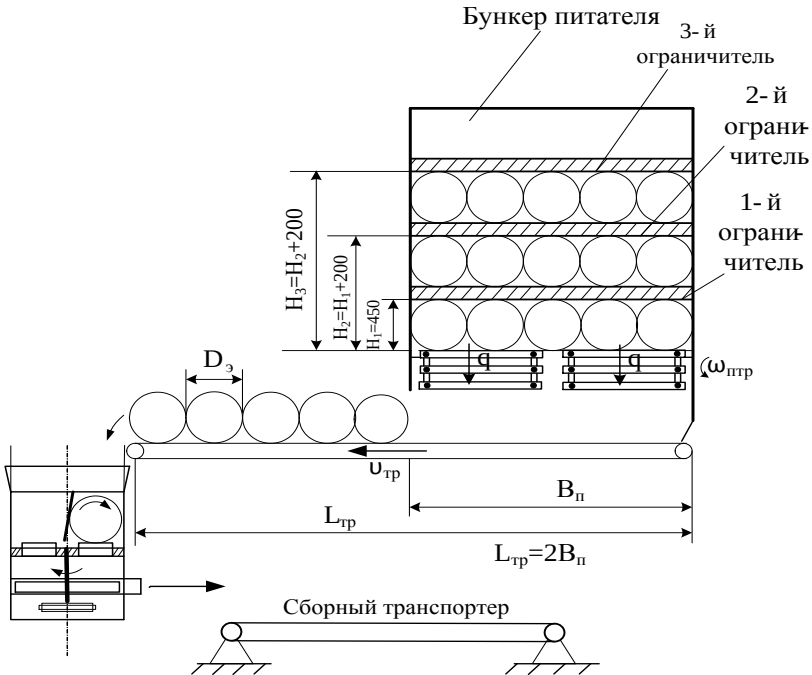


Рис. 3.4. Схема к обоснованию

конструктивно-режимных параметров питателя тыквы

При этом, высота размещения второго ограничителя должна составлять $H_2 = H_1 + 200$ мм и третьего $H_3 = H_2 + 200$ мм. Расстояние

между поярусно расположенными ограничителями принимается в пределах минимального диаметра плода $\ell_1 = \ell_2 = 70$ мм из условия, обеспечивающего возможность поярусного сдвига плодов относительно друг друга.

3.3 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПЛОДОВ ТЫКВЫ ДИСКОВЫМ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ

Для оценки исследуемого объекта выбрано два критерия оптимизации: в качестве критериев оценки эффективности процессов измельчения и смешивания приняты: Y_1 - однородность получаемой композиции силос + тыква $\theta_k, \%$ и Y_2 - энергоёмкость процесса измельчения плодов тыквы и получения бинарной композиции – $N_{y\partial}$, кВт·с/кг.

Поисковыми экспериментами определен общий характер функциональной зависимости осуществления процесса измельчения и смешивания продуктов. При этом установлено, что математическая модель не является линейной и может быть описана полиномом второго порядка, который достаточно адекватно отражает процесс измельчения плодов тыквы и её смешивания с другим компонентом. Априорным ранжированием выявлено, что на процессы измельчения плодов тыквы и получение бинарной композиции на основе тыквы зависит от таких факторов, как:

$n - x_1$ – частота вращения смешивающе-выгрузных лопастей, мин⁻¹;

$s - x_2$ – зазор между диском и стенкой бункера, мм;

$h - x_3$ – высота вылета ножа над диском, мм;

$k - x_4$ – число лопастей, шт.

На основе предварительных опытов выбраны интервалы варьирования факторов, соответствующих стационарной области функции откликов θ_k и $N_{y\partial}$ (табл. 4.6).

Для описания процесса полиномом выбран ортогональный план полного факторного эксперимента (табл. 3.8).

Таблица 3.8

Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Обозначения	x_1	x_2	x_3	x_4
Центр эксперимента	x_0	2100	55	30	4
Интервал варьирования	E	300	45	10	2
Верхний уровень	+1	2400	100	40	6
Нижний уровень	-1	1800	10	20	2

Экспериментальные исследования проводились на основании известных методик. Расчетные значения коэффициентов регрессии приведены ниже.

Для однородности получаемой композиции на основе тыквы:

$$\begin{aligned} b_0 &= 96,16; & b_1 &= 9,95; & b_3 &= -4,82; & b_{23} &= -3,2; \\ b_{34} &= -3,05; & b_{11} &= -5,39; & b_{22} &= -21,18; & b_{33} &= 4,02; \\ b_{44} &= -2,81. \end{aligned}$$

Для энергоемкости процесса измельчения плодов тыквы и получения бинарной композиции тыква+зерно:

$$\begin{aligned} b_0 &= 8,87; & b_1 &= 0,698; & b_3 &= 0,221; & b_4 &= 0,321; \\ b_{14} &= -0,164; & b_{11} &= -0,407; & b_{22} &= 0,299; & b_{33} &= 0,173; \\ b_{44} &= -0,433. \end{aligned}$$

Таблица 3.9

План полного факторного эксперимента и результаты опытов по его реализации

№	x_1	x_2	x_3	x_4	$\theta_k, \%$	$N_{y0}, \text{кВт с/кг}$
1	+1	-1	-1	-1	86,2	8,975
2	-1	+1	-1	-1	69,2	6,854
3	-1	-1	+1	-1	68,3	7,415
4	+1	+1	+1	-1	81,6	9,317
5	+1	-1	-1	+1	89,9	9,098
6	-1	+1	-1	+1	78,6	7,341
7	-1	-1	+1	+1	60,2	8,756
8	+1	+1	+1	+1	78,4	9,610
9	0	+1	-1	+1	96,4	9,170
10	-1	0	-1	-1	92,6	6,902
11	+1	0	+1	+1	99,2	9,220
12	-1	+1	-1	0	81,4	8,585
13	-1	0	+1	+1	84,6	8,366
14	0	+1	+1	-1	78,7	8,878
15	+1	-1	+1	0	89,6	9,488
16	+1	-1	0	+1	87,1	9,390
17	0	-1	+1	-1	85,4	8,780
18	0	0	0	0	99,8	8,659

После получения адекватных математических моделей процесса, определялись координаты оптимума и изучались поверхности откликов в окрестностях оптимума.

В нашем случае возникает необходимость при изучении анализировать два критерия оптимизации: однородность смеси и энергоемкость. Для этого ведем поиск компромисса между этими критериями оптимизации, так как на поверхность отклика одного критерия налагаются ограничения другой поверхности.

Уравнения после раскодирования имеют следующий вид:

– для однородности получаемой двухкомпонентной смеси:

$$\theta_k = -259872,6 + 284,7n + 1363,85s - 1892,89h + 10195k - 7,11sh - 152,54hk - 0,06n^2 - 10,46s^2 + 40,2h^2 - 702,5k^2 \rightarrow \max; \quad (3.1)$$

– для энергоемкости процесса получения двухкомпонентной смеси:

$$N_{y0} = -19288,35 + 22,41n - 16,24s - 81,7h + 1600,5k - 0,27nk - 0,0045n^2 + 0,14s^2 + 1,73h^2 - 108,25k^2 \rightarrow \min; \quad (3.2)$$

Решение компромиссной задачи позволило определить оптимальные значения параметров предложенного измельчителя – смесителя: $x_1 = -0,197$ ($n = 2041$ мин⁻¹); $x_2 = 0,065$ ($s = 57,9$ мм); $x_3 = -1$ ($h = 20$ мм), $x_4 = -1$ ($k = 2$). При данном сочетании факторов, энергоемкость процесса составляет $N_{y0} = 7,88$ кВтс/кг, а однородность смеси $-\theta_k = 93,1\%$.

Для анализа влияния факторов на процесс смешивания и выгрузки были построены двумерные сечения поверхностей откликов, описываемых уравнениями (3.1) и (3.2) при $n = 2040,9$ об/мин. (рис. 3.5); при $s = 57,925$ мм (рис. 3.6); при $h = 20$ мм (рис. 3.7); при $k = 2$ (рис. 3.8).

Снижение частоты вращения лопастей до 2000 об/мин приводит к увеличению мощности на 24,7%, при этом однородность смеси уменьшится на 1%. При частоте вращения вала в пределах от 2040 до 2080 мин⁻¹ удельный расход энергии на смешивание составит 7,80 – 8,80 кВт с/кг.

Изменение величины зазора между диском и стенкой бункера также оказывает большое влияние на энергоемкость и однородность смеси.

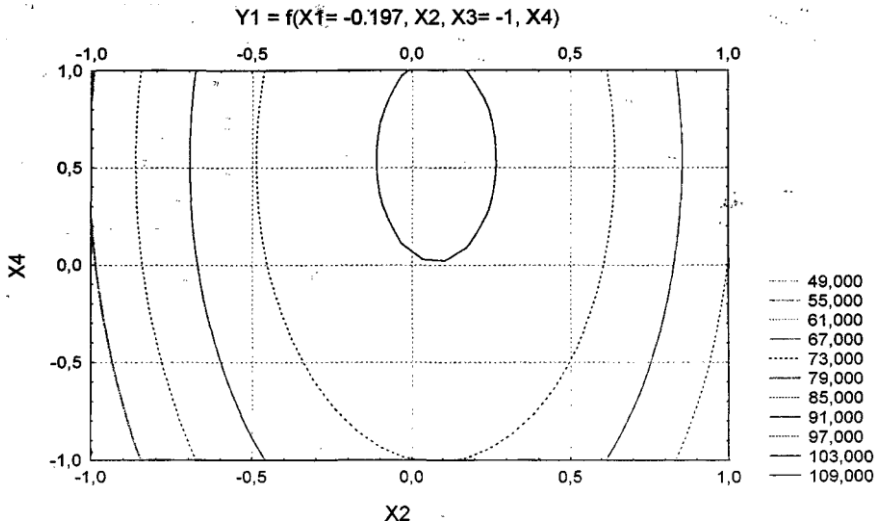


Рис. 3.5. Проекция поверхностей однородности смеси θ_k на плоскость sk при $n=\text{const}$ и $h=\text{const}$

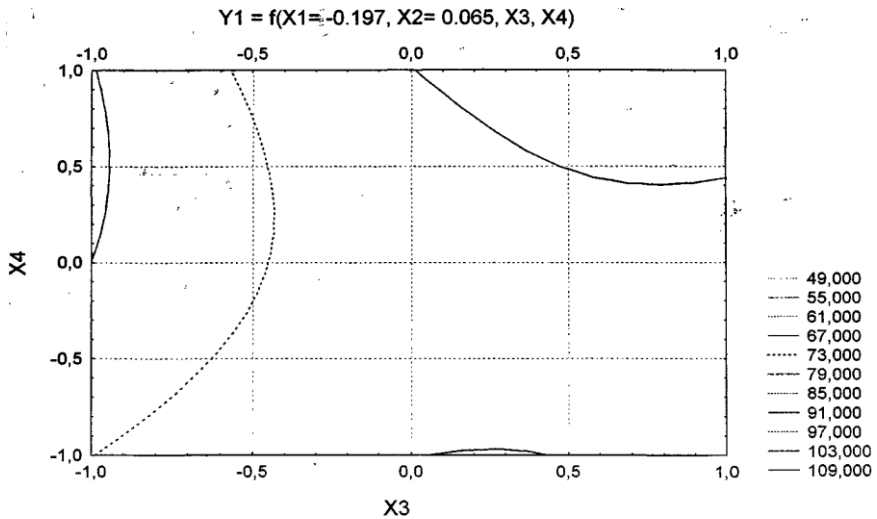


Рис. 3.6. Проекция поверхностей однородности смеси θ_k на плоскость hk при $n=\text{const}$ и $s=\text{const}$

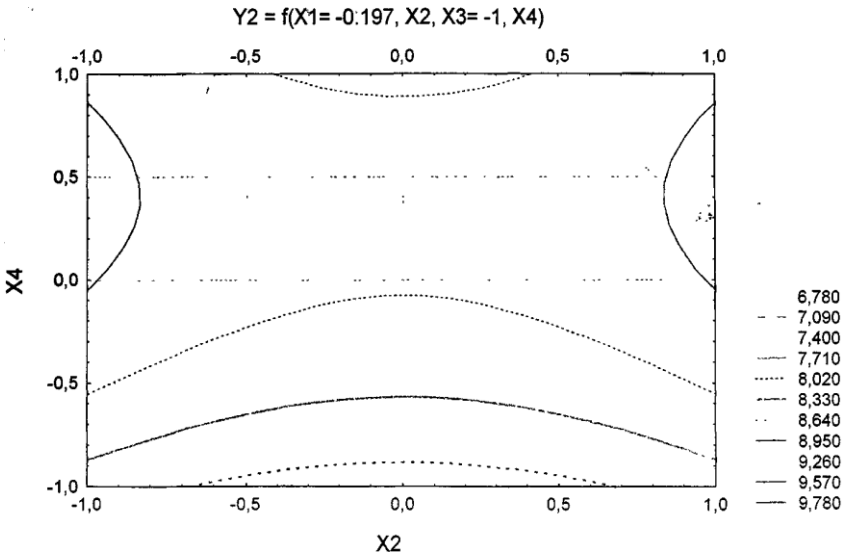


Рис. 3.7. Проекция поверхностей энергоемкости N_{y0} на плоскость sk при $n=\text{const}$ и $h=\text{const}$

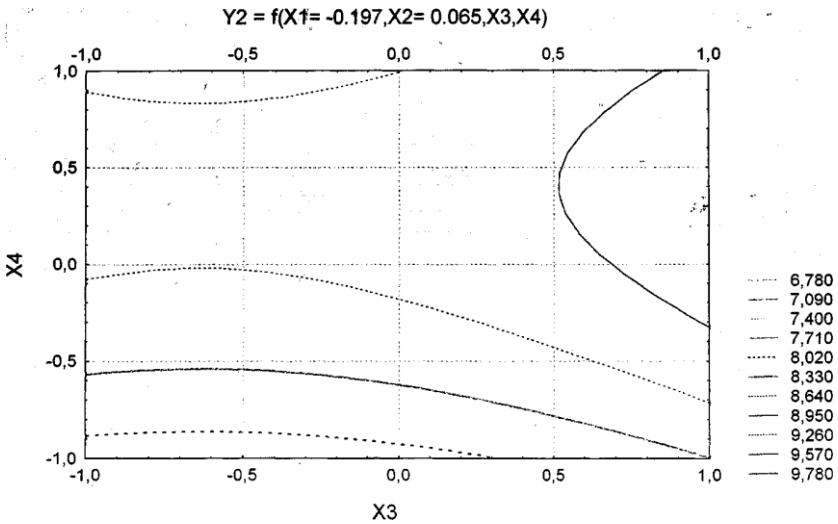


Рис. 3.8. Проекция поверхностей энергоемкости N_{y0} на плоскость hk при $n=\text{const}$ и $s=\text{const}$

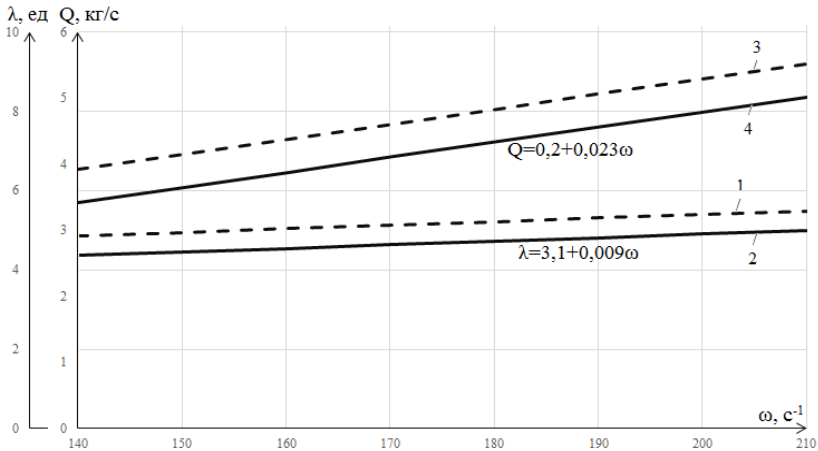
3.4 ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ИРУ МОБИЛЬНОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯПИТАТЕЛЯ

Согласно зоотехническим требованиям кормовые продукты должны быть измельчены до определенных размеров, обеспечивающих их качественное смешивание и дозирование.

В этой связи в малогабаритном мобильном многофункциональном агрегате предусмотрено измельчающе-распределяющее устройство (ИРУ) кормовых продуктов, который осуществляет измельчение и обеспечивает их равномерное распределение в бункере мобильного питателя. На первом этапе исследований предусматривалось изучение процесса измельчения кормовых компонентов в виде тыквы и т.д., путем установления количественных и качественных характеристик измельченных продуктов, в зависимости от конструктивно-режимных параметров ИРУ.

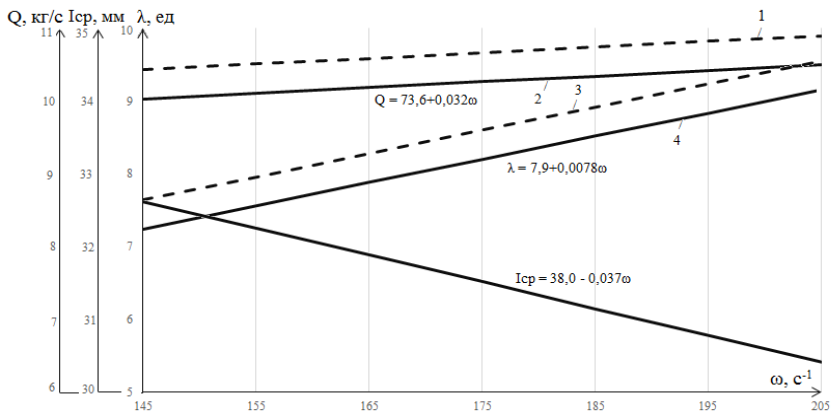
Из факторов, влияющих на технологический процесс измельчения кормов, особое значение имеют угловая скорость вращения ротора, а также выход рабочей части Н-образных молотков над верхней частью ограничительной решетки ИРУ. Экспериментальные исследования рабочего процесса измельчителя проводились при угловых скоростях вращения ротора 150,0; 160,0; 170,0; 180,0; 190,0; 210,0 с⁻¹ и вылета рабочей части молотков 8 – 20 мм.

На рисунках 3.9 и 3.10 представлены зависимости производительности $Q_{ИРУ}$ от угловой скорости вращения ротора измельчителя ω при выходе рабочей части молотков равной $\Delta = 8,0 - 10,0$ мм. При указанных значениях параметров получены показатели качества измельченных кормовых продуктов, удовлетворяющие зоотехническим требованиям (рис. 3.9).



$$Q_{ИРУ} = f(\omega), \text{ кг/с}; \lambda = f(\omega), \text{ ед:}$$

Рис.3.9. Зависимости производительности ИРУ – $Q_{ИРУ}$ и степени измельчения – λ от угловой скорости ротора при измельчении ячменной соломы $W = 16,0\%$ (1 – теоретическая по формуле (2.245); 3 – теоретическая по формуле (2.242); 2 и 4 – экспериментальные)



$$Q_{ИРУ} = f(\omega), \text{ кг/с}; \lambda = f(\omega), \text{ ед: } l_{cp} = f(\omega), \text{ мм}$$

Рис. 3.10. Зависимости производительности ИРУ – $Q_{ИРУ}$, степени измельчения – λ от угловой скорости ротора ω при измельчении тыквы $W = 88,0\%$ (1 – теоретическая по формуле (2.245); 3 – теоретическая по формуле (2.242); 2 и 4 – экспериментальные)

Степень измельчения тыквы, при указанных значениях ω и Δ составила 9,47.

Анализ зависимостей, характеризующих процесс измельчения тыквы (рис. 3.10) показывает, что зависимости $l_{cp} = f(\omega)$ и $Q_{ИРУ} = f(\omega)$, в диапазоне $\omega = 150,0 - 210,0 \text{ с}^{-1}$ изменяются по линейному характеру. Тыква поступает на измельчение со средними длиной и шириной плодов в среднем 300 и 200 мм. Большая часть энергии при обработке тыквы расходуется на его транспортировку из измельчителя и распределение по бункеру МММА. ИРУ имеет высокую производительность на тыкве при $\omega = 150,0 \text{ с}^{-1}$, что объясняется высокой влажностью частиц. Частицы тыквы меньше застревают на пластинах ограничительной решетки и свободно проходят через нее и окна, образованные решеткой внутрь измельчающе-распределяющей камеры. С увеличением угловой скорости вращения ротора средневзвешенный размер частиц тыквы по длине и ширине уменьшается, что приводит к повышению однородности гранулометрического состава обработанной тыквы. Повышение угловой скорости вращения ведет к увеличению производительности ИРУ.

При измельчении и распределении однокомпонентных кормов в бункере на колебания высоты поперечных сечений слоя кормовых продуктов, а, следовательно, профили продольных и поперечных сечений кормового монолита, существенное влияние оказывает угол подъема распределяющего козырька ИРУ по отношению к днищу бункера МП.

Определение профилей продольных и поперечных сечений кормового монолита производилось при углах подъема козырька 0° ; $8,0^\circ$; 16° ; $24,0^\circ$. Угловая скорость вращения ротора и вылет молотков при различных углах подъема были постоянными и равнялись $190,0 \text{ с}^{-1}$ и 10,0 мм. При экспериментальных исследованиях вначале замерялась высота кормового монолита в контрольных точках, а затем производилось взвешивание массы корма, выгружаемого с каждого из соответствующих участков.

На рисунке 3.11 представлены профили кормового монолита по продольным сечениям бункера. Нулевая отметка оси абсцисс

соответствует нижней точке выгрузного кормопровода ИРУ. Отметка 2,9 м находится у нижнего битера МММА. Представленные профили по продольным сечениям показывают, что на участке 0,7 - 2,9 м, они имеют линейный характер. Их высота незначительно увеличивается по мере приближения к битерам. Угол подъема линейных участков кривых 1; 2; 3; практически одинаков. На участке 0 - 0,29 м угол наклона кривых равен углу наклона выгрузного кормопровода ИРУ, так как кормовой монолит плотно прилегает к нему.

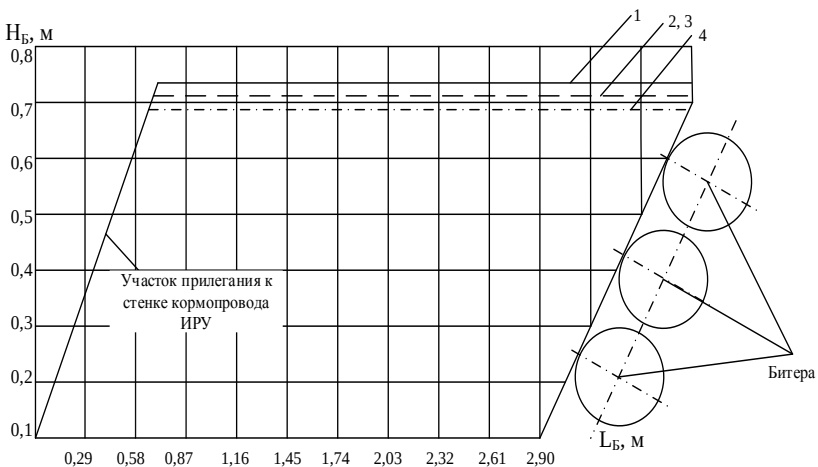


Рис. 3.11. Характер профилей поперечных сечений кормового монолита по продольным секущим плоскостям бункера МП при измельчении и распределении в нем ячменной соломы, прессованной в малогабаритные рулоны

Исследованиями также установлено, что при угле подъема козырька равном нулю, высота кормового монолита у битеров была ниже, чем на отметке 1,40 м. В данной отметке высота была максимальной. На участке 0 - 1,40 м профили продольных сечений были аналогичными, представленным на рисунке 3.11. При углах подъема козырька 16° и 24° высота кормового монолита по всем продольным сечениям резко увеличивалась по мере удаления от выгрузного кормопровода и была максимальной у битеров. На

участке 0,140 - 2,90 мм высота кормового монолита по всем точкам поперечных сечений была больше, чем высота бортов.

В результате такого формирования профиля, происходил выброс корма за пределы бункера. Потери корма при угле подъема козырька 16° составляли около 5,0% от массы корма в бункера, при $24,0^\circ$ до 7,0%.

Профили поперечных сечений, согласно рисунку 3.12 имели максимальную высоту в центральном профильном сечении 1, которая была больше высоты бункера (высота бункера 0,75 м) и минимальную у бортов. Такой характер профилей поперечных сечений практически исключал потери измельчения соломы.

Углы подъема по профилям сечений от бортов к центру, во всех их поперечных сечениях, были практически равны друг другу. Характер измельчения кривых аналогичен во всех поперечных сечениях (рис. 3.12).

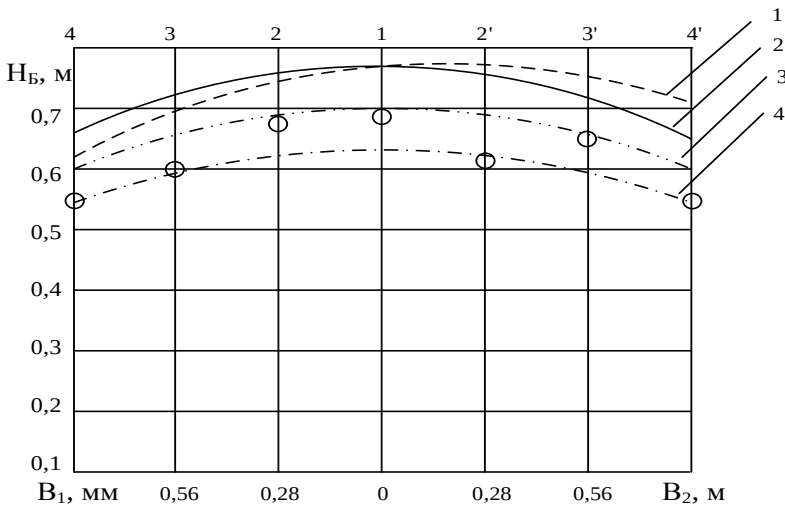


Рис. 3.12. Характер профилей поперечных сечений кормового монолита по поперечным секущим плоскостям бункера

1 – у битеров; 2 – в центре бункера, уровень 1400 мм;

3 – уровень конца распределяющего козырька, уровень 0,87 м;

4 – уровень конца выгрузного кормопровода, уровень 0,58 м

При проведении теоретических исследований и поисковых

опытов установлено, что основными факторами, влияющими на неравномерность распределения корма и качество смешивания, являются угловая скорость вращения ротора, выход рабочей части Н-образных молотков и частота колебаний распределяющего козырька.

3.5 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ИРУ

Как отмечено выше, из факторов, влияющих на технологический процесс измельчения и распределения массы корма в бункере МП, особое значение имеют угловая скорость вращения ротора, а также выход молотков над ограничительной решеткой измельчителя, а также частота колебаний распределяющего козырька. Значения факторов и интервалы их варьирования, полученные на основании предварительно, проведенных поисковых опытов представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10

Факторы и уровни варьирования

Обозначения	Угловая скорость вращения ротора, ω , с^{-1}	Выход рабочей части Н-образных молотков, Δ , мм	Частота колебаний распределяющего n_k , мин^{-1}
	X_1	X_2	X_3
Интервал варьирования	20,0	10,0	25
Верхний уровень (+)	210,0	30,0	74
Основной уровень (0)	190,0	20,0	49
Нижний уровень (–)	170,0	10,0	24

В качестве критериев оптимизации выбраны:

$Y_1 - \mathcal{E}_N$ – энергоемкость, кВт·с/кг;

$Y_2 - \delta_q$ – неравномерность распределения массы кормовых продуктов в бункере, %.

В таблице 3.11 приведена матрица планирования эксперимента и результаты по пятнадцати опытам.

Таблица 3.11

Матрица эксперимента

Критерии					
Номер эксперимента	$X_1 / \omega, \text{с}^{-1}$	$X_2 / h_m, \text{мм}$	$X_3 / n_K, \text{мин}^{-1}$	$Y_1 / \Delta_N, \frac{\text{кВт} \times \text{с}}{\text{кг}}$	$Y_2 / \delta_q, \%$
1	-1	-1	+1	2,40	13,0
2	+1	-1	-1	3,00	9,0
3	-1	+1	-1	3,30	12,0
4	+1	+1	+1	3,80	4,5
5	-1	-1	-1	2,40	15,0
6	-1	-1	+1	3,50	4,0
7	-1	+1	+1	2,90	5,0
8	+1	+1	-1	3,60	8,0
9	-1,215	0	0	2,30	14,0
10	1,215	0	0	3,80	6,2
11	0	-1,215	0	2,40	4,0
12	0	1,215	0	3,30	5,0
13	0	0	-1,215	2,40	4,0
14	0	0	1,215	3,45	4,2
15	0	0	0	2,50	3,5

Для обоснования оценки влияния факторов по матрице планирования и результатам эксперимента были рассчитаны уравнения регрессии. Результаты регрессионного анализа и области экстремальных значений представлены в таблицах 3.12 - 3.14.

Таблица 3.12

Регрессионный анализ зависимости $Y_1 = f(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \min$

Шаг анализа	1	2	3	4	5	6
Стандартное отклонение – σ	0,53510	0,56635	0,62760	0,66795	0,81920	1,0459
R – корреляция	0,93813	0,93439	0,92701	0,92212	0,90356	0,87499
F – критерий	3,6694	4,5858	5,3461	6,4920	6,6706	6,5329

Таблица 3.13

Регрессионный анализ зависимости $Y_2 = f(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \min$

Шаг анализа	1	2	3	4	5	6
Стандартное отклонение – σ	25,083	25,114	25,472	27,004	28,631	38,019
R – корреляция	0,94590	0,94583	0,94503	0,94163	0,93859	0,91675
F – критерий	4,2493	5,6578	7,3091	8,9404	11,101	10,533

После отсеивания статистически незначимых факторов по матрице планирования и результатам эксперимента получены уравнения регрессии в кодированном виде:

$$Y_1 = 2,73 + 0,43x_1 + 0,31x_2 + 0,14x_3 + 0,23x_1^2 + 0,15x_3^2 \rightarrow \min; \quad (3.1)$$

$$Y_2 = 4,25 - 2,65x_1 - 0,94x_2 - 1,58x_3 + 1,31x_1x_2 + 4,35x_1^2 \rightarrow \min \quad (3.2)$$

Переходя от кодированных значений факторов к натуральным получили зависимость энергоемкости – $\mathcal{E}_N$ и неравномерности распределения корма в бункере δ_q от конструктивных параметров МП в раскодированном виде:

$$\mathcal{E}_N = 19,23 - 0,199\omega + 0,031\Delta - 0,017n_k + 5,8 \cdot 10^{-3}\omega^2 + 2,35 \cdot 10^{-3}n_k^2 \rightarrow \min \quad (3.3)$$

$$\delta_q = 452,07 - 4,40\omega - 1,34\Delta - 0,06n_k + 6,56 \cdot 10^{-2}\omega\Delta + 0,011\omega^2 \rightarrow \min \quad (3.4)$$

Таблица 3.14

Результаты регрессионного анализа зависимостей

$$Y_{1-2} = f(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \min (\max)$$

Критерий	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₁₂	a ₁₁	a ₃₃	Заключение об адекватности	
								F _R	F _T
Y ₁	2,727	0,431	0,31	0,144	–	0,232	0,147	11,403	5,96
Y ₂	4,249	-2,646	-0,939	-1,576	1,313	4,352	–	5,870	4,77

После получения адекватных математических моделей, для их интерпретации рассчитаны координаты экстремальных значений критериев оптимизации (табл. 3.15).

Таблица 3.15

Области экстремальных значений зависимостей

$$Y_{1-2} = f(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \min (\max)$$

Критерий	X_1	X_2	X_3	Y_{1-2}
$Y_1 - \min$	– 0,93	– 1,21	– 0,49	2,116
	– 0,93	– 1,21	– 0,48	2,116
	– 0,93	– 1,21	– 0,50	2,116
	– 0,92	– 1,21	– 0,49	2,116
	– 0,94	– 1,21	– 0,49	2,116
	– 0,92	– 1,21	– 0,48	2,116
	– 0,92	– 1,21	– 0,50	2,116
	– 0,94	– 1,21	– 0,48	2,116
	– 0,94	– 1,21	– 0,50	2,116
	– 0,93	– 1,21	– 0,47	2,116
$Y_2 - \min$	0,12	1,21	1,21	1,142
	0,13	1,21	1,21	1,142
	0,11	1,21	1,21	1,142
	0,14	1,21	1,21	1,143
	0,10	1,21	1,21	1,144
	0,15	1,21	1,21	1,145
	0,09	1,21	1,21	1,146
	0,16	1,21	1,21	1,148
	0,08	1,21	1,21	1,149
	0,12	1,20	1,21	1,149

Для поиска компромиссного решения задачи по нахождению оптимальных значений факторов для критериев оптимизации использовался метод Парето оптимального решения. В таблице 3.16 представлены области компромиссных значений.

Таблица 3.16

Области компромиссных значений

Уступка, %	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2
$\Delta Y_1 = 17,42$ $\Delta Y_2 = 20,30$	0,11	– 1,21	0,48	12,494	2,518

В таблице 3.17 представлены значения коэффициентов выборочной корреляции.

Таблица 3.17

Коэффициенты выборочной корреляции

	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2
X_1	1,0000	0,0000	0,0000	0,6755	– 0,5673
X_2	0,0000	1,0000	0,0000	0,4854	– 0,2013
X_3	0,0000	0,0000	1,0000	0,2254	– 0,3378
Y_1	0,6755	0,4854	0,2254	1,0000	– 0,3580
Y_2	– 0,5673	– 0,2013	– 0,3378	– 0,3580	1,0000

В результате решения задачи по определению оптимальных условий реализации процесса измельчения и распределения кормовых продуктов с помощью ИРУ в МП, определены оптимальные значения факторов, соответствующие экстремуму функции отклика: угловая скорость вращения ротора, $\omega - X_1 = 190,0 \text{ с}^{-1}$; выход рабочей части Н-образных молотков, $\Delta - X_2 = 8,0 \text{ мм}$; частота колебаний распределяющего козырька, $n_K - X_3 = 60 \text{ мин}^{-1}$; при данных параметрах, энергоёмкость ИРУ составила $\mathcal{E}_N = 2,5 \text{ кВт} \cdot \text{с/кг}$, а неравномерность распределения корма по длине бункера: $\delta_q = 4,20\%$.

Для анализа влияния факторов на процесс измельчения и распределения корма с помощью ИРУ построены и изучены поверхности откликов Y_1 , Y_2 , а также сечения этих поверхностей. Для этого исходные уравнения сводились к уравнениям с двумя факторами, оставляя третий на постоянном уровне.

$$Y_1 = f(X_1 = 0,11; X_2; X_3)$$

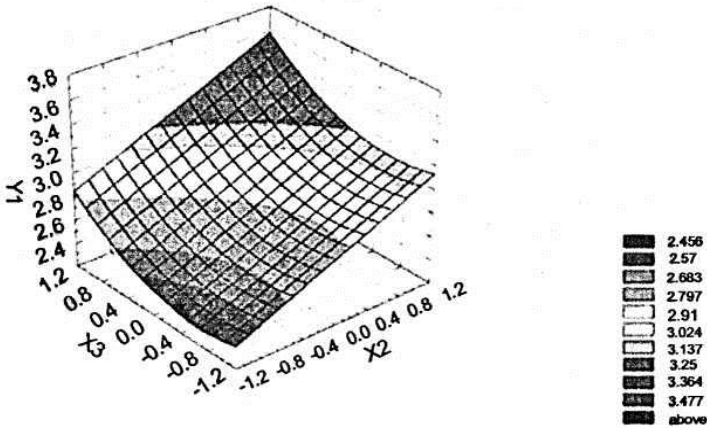


Рис. 3.13. Зависимости энергоёмкости Y_1 от выхода рабочей части Н-образных молотков $\Delta(x_2)$ и интенсивности колебаний распределяющего козырька $p_k(x_3)$

$$Y_1 = f(X_1 = 0,11; X_2; X_3)$$

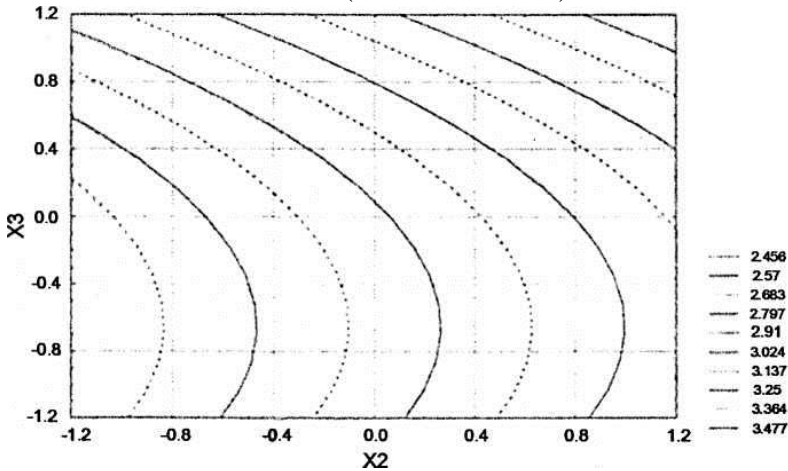


Рис.3.14. Сечения поверхности энергоёмкости Y_1 на плоскости $\Delta p_k(x_2, x_3)$

$$Y_2 = f(X_1; X_2 = -1, 21; X_3)$$

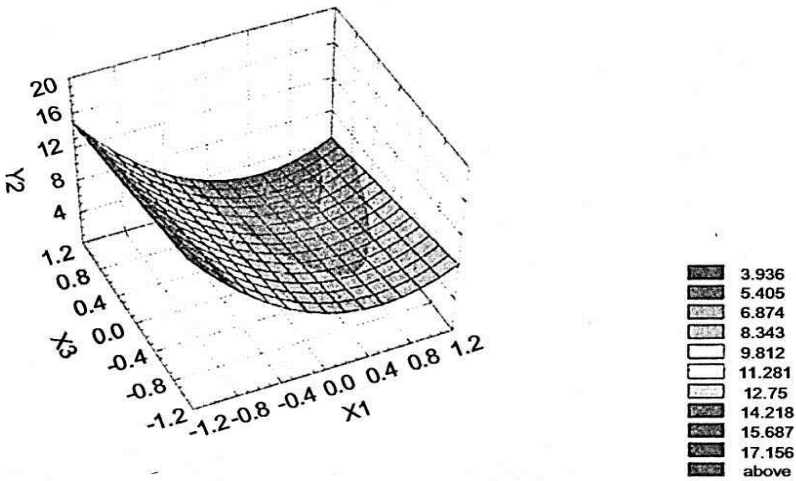


Рис. 3.15. Зависимости неравномерности распределения Y_2 от угловой скорости ротора $\omega(x_1)$ и интенсивности колебаний распределяющего козырька $\pi_k(x_3)$

$$Y_2 = f(X_1; X_2 = -1, 21; X_3)$$

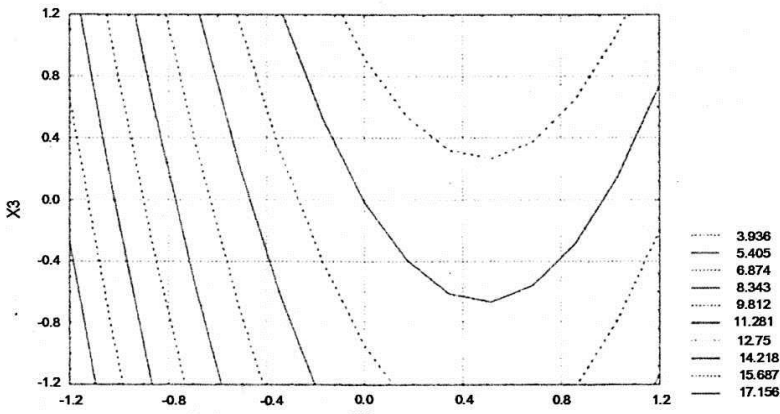


Рис. 3.16. Сечения поверхности неравномерности распределения Y_2 на плоскости $\omega_k(x_1, x_3)$

$$Y_2 = f(X_1; X_2; X_3 = 0,48)$$

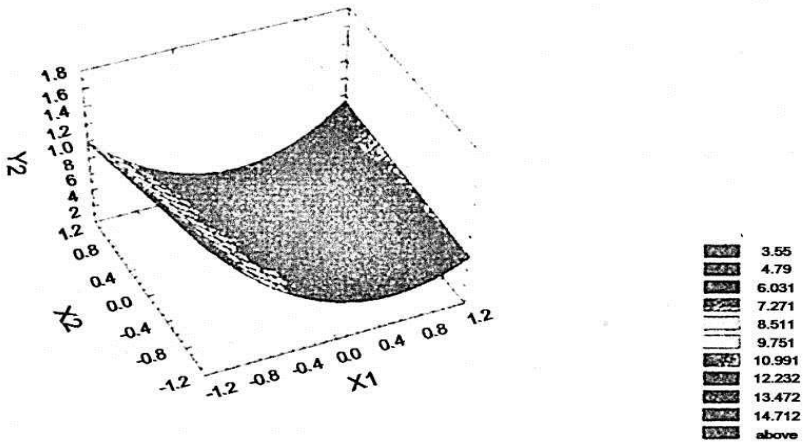


Рис. 3.17. Зависимости неравномерности распределения Y_2 от угловой скорости ротора $\omega(x_1)$ и выхода рабочей части Н-образных молотков $\Delta(x_2)$

$$Y_2 = f(X_1; X_2; X_3 = 0,48)$$

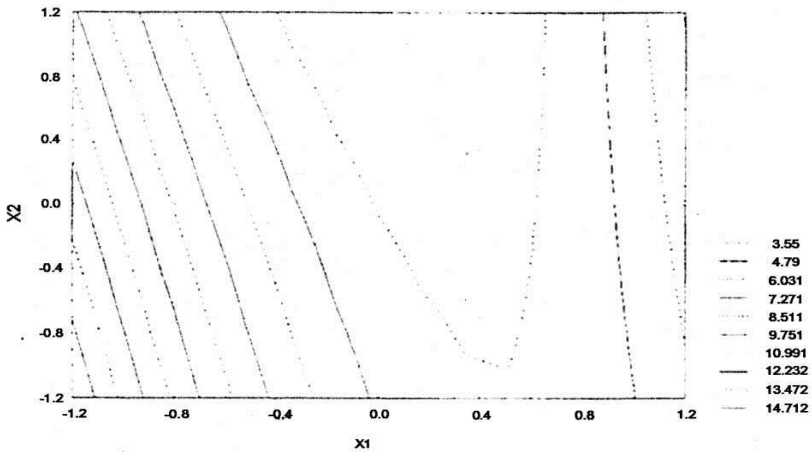


Рис. 3.18. Сечения поверхности неравномерности распределения Y_2 на плоскости $\omega\Delta(x_1, x_2)$

$$V_1 = f(X_1; X_2 = -1,21; X_3)$$

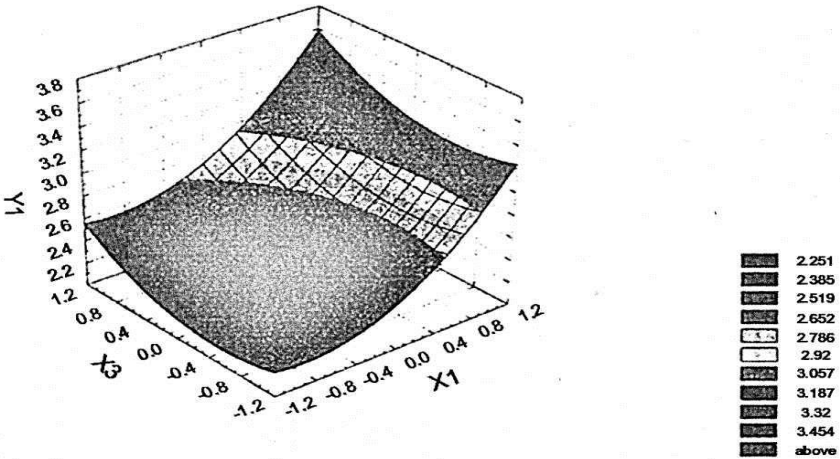


Рис. 3.19. Зависимости энергоемкости V_1 от угловой скорости ротора $\omega(x_1)$ и интенсивности колебаний распределяющего козырька $\pi_k(x_3)$

$$V_1 = f(X_1; X_2 = -1,21; X_3)$$

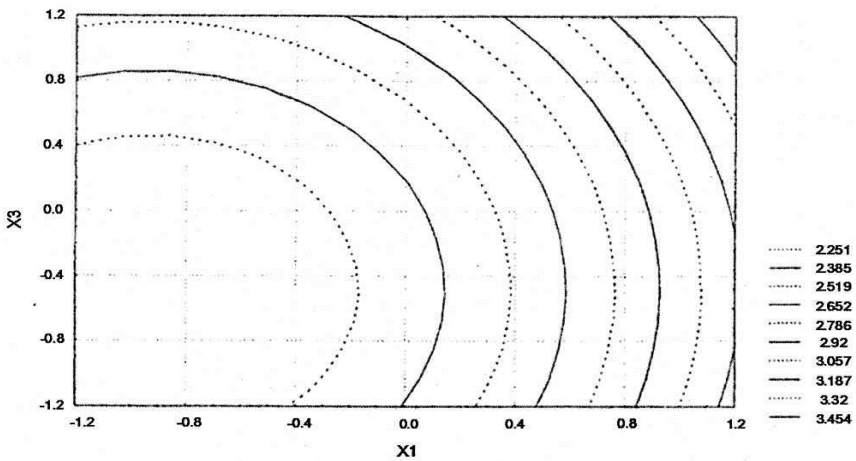


Рис. 3.20. Сечения поверхности энергоемкости V_1 на плоскости $\omega\pi_k(x_1, x_2)$

$$Y_2 = f(X_1 = 0,11; X_2; X_3)$$

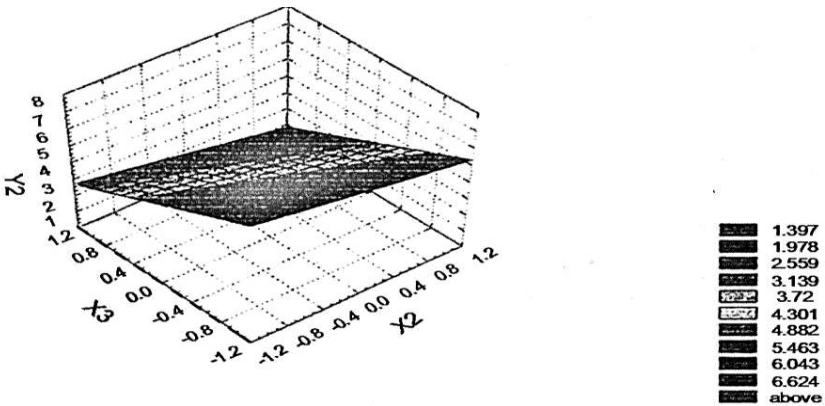


Рис. 3.21. Зависимости неравномерности распределения Y_2 от выхода рабочей части Н-образных молотков $\Delta(x_2)$ и интенсивности колебаний распределяющего козырька $p_k(x_3)$

$$Y_2 = f(X_1 = 0,11; X_2; X_3)$$

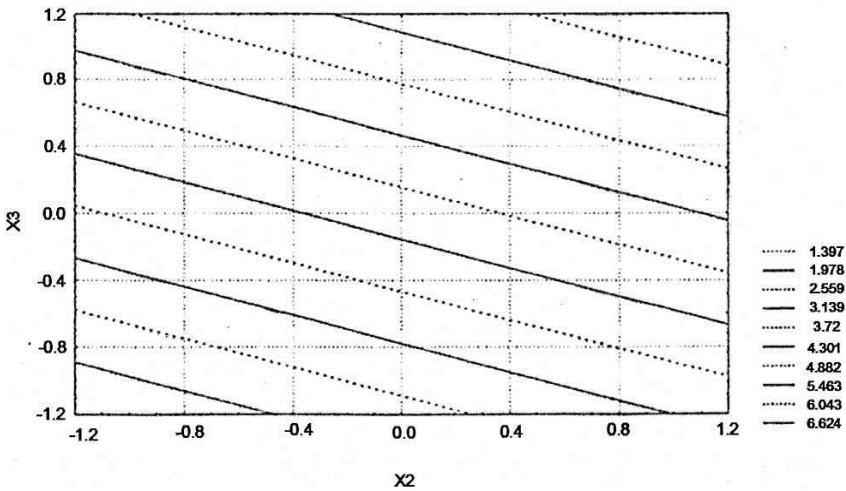


Рис. 3.22. Сечения поверхности неравномерности распределения Y_2 на плоскости $\Delta_k(x_2, x_3)$

$$Y_1 = f(X_1; X_2; X_3 = 0,48)$$

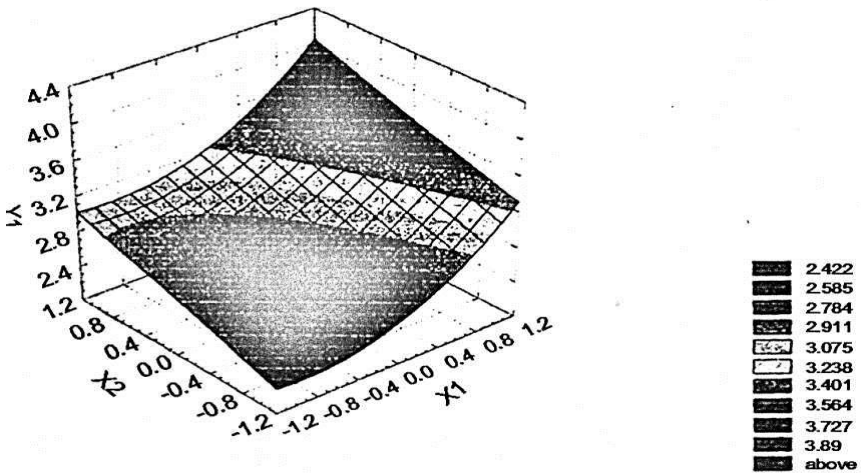


Рис. 2.23. Зависимости энергоемкости Y_1 от угловой скорости ротора $\omega(x_1)$ и выхода рабочей части Н-образных молотков $\Delta(x_2)$

$$Y_1 = f(X_1; X_2; X_3 = 0,48)$$

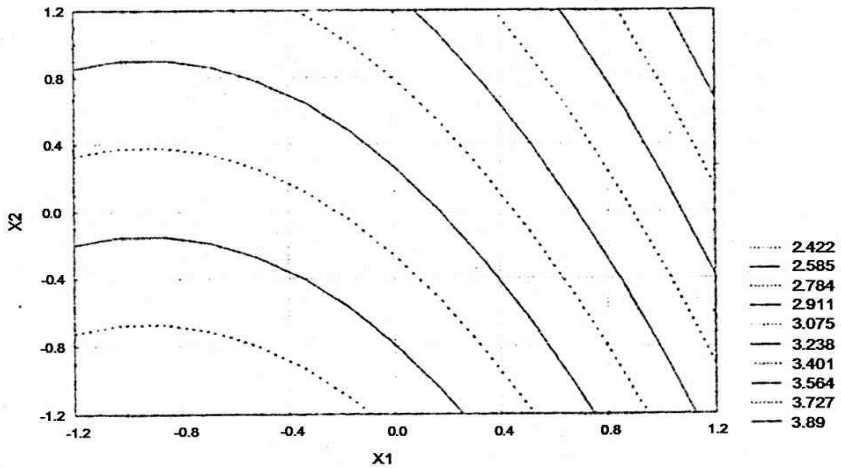


Рис. 3.24. Сечения поверхности энергоемкости Y_1 на плоскости $\omega\Delta(x_1, x_2)$

Как показано выше, оптимальными параметрами являются: угловая скорость вращения ротора $\omega=190,0 \text{ с}^{-1}$, выход рабочей части Н-образных молотков $\Delta = 8,0 \text{ мм}$, частота колебаний распределяющего козырька $n_k = 60 \text{ мин}^{-1}$. При этих параметрах неравномерность распределения тыквы составила $\delta_{q_2} = 4,20\% < 5\%$. Таким образом, были достигнуты качественные показатели рабочего процесса ИРУ, удовлетворяющие зоотехническим требованиям.

Наиболее близкой к допустимой, неравномерность распределения, наблюдалась при сочетании параметров $190,3 \text{ с}^{-1}$; 20 мм ; 98 мин^{-1} - $5,3\%$; $189,5 - 32,0 - 98 \text{ мин}^{-1}$ - $6,19\%$; $189,5 - 8,98 \text{ мм} - 98 \text{ мин}^{-1}$ - $6,9\%$. То есть, фактором, оказывающим основное влияние на неравномерность распределения, является угловая скорость вращения ротора.

При угловой скорости вращения $170,0 \text{ с}^{-1}$ значительная часть корма не долетала до битеров, в центре бункера (по длине) высота слоя корма была максимальной.

При угловой скорости вращения ротора $210,0 \text{ с}^{-1}$, наибольшая высота кормового монолита наблюдалась у битеров. Она в различных опытах на $0,2 - 0,3 \text{ м}$ была выше высоты бункера. Высота кормового монолита была больше высоты бункера на участке $1,16 - 2,9 \text{ мм}$ (по длине бункера) (рисунок 3.11), во всех контрольных точках поперечного сечения. Формирование поверхности кормового монолита такого профиля, приводило к выбросу части корма за пределы бункера.

При измельчении и распределении тыквенного компонента более близко к допустимой была неравномерность распределения $\delta_{q_2} = 7,87\%$ при $\omega = 195,0 \text{ с}^{-1}$, $\Delta_m = 10 \text{ мм}$; $n_k = 98 \text{ мин}^{-1}$. При определении неравномерности распределения тыквы (по массе) было установлено, что при $\omega=170,0 \text{ с}^{-1}$ при всех сочетаниях Δ и n_k основная масса частиц тыквы ложилась в центре бункера.

При $\omega = 210,0 \text{ с}^{-1}$ максимальная высота кормового монолита была у битеров, но выброса измельченной тыквы за пределы бункера не наблюдалось. По такой же, как для тыквы, матрице пла-

нированного эксперимента проводилось определение совместного влияния комбинаций факторов и их сочетаний на неравномерность распределения (по массе) кормового монолита с послойно расположенными компонентами. При этих исследованиях кроме неравномерности определялась неоднородность смешивания компонентов.

Неравномерность выдачи кормового продукта в виде смеси, определялась при ее выдаче мобильным питателем в кормушку, когда в помещении отсутствовали животные.

Для этого кормушка разбивалась на участки, длина каждого из которых равнялась 1 м, а количество участков равнялось десяти.

Заполнение бункера с послойным расположением компонентов производилось погрузчиком агрегата и ИРУ. Измельчение и распределение кормов в бункере, а также формирование кормового монолита с послойно расположенными компонентами производилось при оптимальных параметрах ИРУ.

Таблица 3.19

Факторы и уровни их варьирования по обоснованию параметров рабочего процесса МП

Уровни варьирования	Значения факторов		
	Высота слоя кормового продукта $X_1 / H_{сл}, \text{мм}$	Степень измельчения $X_2 / \lambda, \text{ед.}$	Угол наклона решетки $X_3 / \beta, \%$
Верхний уровень	250,0	7,0	7,0
Основной уровень	200,0	6,0	6,0
Нижний уровень	150,0	5,0	5,0
Интервал варьирования	50,0	1,0	1,0

Таблица 3.20

Матрица планирования и результаты эксперимента
по обоснованию параметров рабочего процесса МП

Номер опыта	$X_1 / N_{\text{сл}}, \text{мм}$	$X_2 / \lambda, \text{ед.}$	$X_3 / \beta, \%$	Критерии оптимизации	
				$Y_3 / \theta, \%$	$Y_4 / \delta_p, \%$
1	– 1	– 1	+ 1	74,0	26,0
2	+ 1	– 1	– 1	85,0	18,0
3	– 1	+ 1	– 1	79,0	19,0
4	+ 1	+ 1	+ 1	75,0	24,0
5	– 1	– 1	– 1	85,0	18,0
6	+ 1	– 1	+ 1	80,0	26,0
7	– 1	+ 1	+ 1	84,0	28,0
8	+ 1	+ 1	– 1	87,0	20,0
9	–1,215	0	0	79,0	25,0
10	+ 1,215	0	0	85,0	16,0
11	0	–1,215	0	87,0	19,0
1	2	3	4	5	6
12	0	+ 1,215	0	80,0	21,0
13	0	0	– 1,215	85,0	13,0
14	0	0	+ 1,215	78,0	17,0
15	0	0	0	88,0	12,0

На основании полученных данных проведен регрессионный анализ зависимостей и получены уравнения регрессии (табл. 3.21 и 3.22).

Таблица 3.21

Регрессионный анализ зависимости $Y_3 = f(X_1, X_2, X_3) \rightarrow 100\%$

	Шаг анализа				
	1	2	3	4	5
Стандартное отклонение – σ	104,410000	109,550000	112,030000	118,150000	137,570000
R – корреляция	0,79270	0,78112	0,77542	0,76125	0,71444
F – критерий	0,8454	1,0434	1,3195	1,5750	1,5639

Таблица 3.22

Регрессионный анализ зависимости $Y_4 = f(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \min$

	Шаг анализа				
	1	2	3	4	5
Стандартное отклонение – σ	40,174	42,424	45,117	46,854	49,979
R– корреляция	0,93630	0,93261	0,92816	0,92529	0,92009
F – критерий	3,5539	5,8432	7,1082	8,9282	11,0350

Полученные уравнения имеют следующий вид:

– в кодированной форме:

$$Y_3 = 84,9 + 1,122X_1 - 2,877X_3 - 1,375X_1X_3 + 1,125X_2X_3 - 1,771X_1^2 - 2,110X_3^2 \rightarrow 100\% \quad (3.5)$$

$$Y_4 = 13,557 - 1,272X_1 + 3,092X_3 - 0,625X_1X_3 + 4,357X_1^2 + 4,018X_2^2 + 0,631X_3^2 \rightarrow \min \quad (3.6)$$

– в раскодированной форме:

$$\theta = 0,886 + 0,471H_{cl} - 0,675\lambda + 2,119\beta - 2,75 \cdot 10^{-3}H_{cl}\beta + 0,011\beta - 7,084 \cdot 10^{-4}H_{cl}^2 - 2,109 \cdot 10^{-2}\beta^2 \rightarrow 100\% \quad (3.7)$$

$$\delta_p = 222,19 - 0,674H_{cl} - 4,822\lambda - 0,198\beta - 1,250 \cdot 10^{-3}H_{cl}\beta + 1,742 \cdot 10^{-3}H_{cl} + 4,018 \cdot 10^{-2}\lambda^2 + 6,312 \cdot 10^{-3}\beta^2 \rightarrow \min \quad (3.8)$$

Оптимальные значения параметров находятся в следующих пределах:

$H_{cl} = 204 - 235$ мм; $\lambda = 5,0 - 6,0$ ед.; $\beta = 5,0^\circ$, при которых $\theta = 87,672\%$ и $\delta_p = 11,07\%$.

Адекватность полученных моделей характеризуется данными, приведенными в таблице 3.23.

Таблица 3.23

Результаты регрессионного анализа зависимостей $Y_{3-4} = f(X_1, X_2, X_3)$

Кри- те- рий	a ₀	a ₁	a ₃	a ₁₃	a ₂₃	a ₁₁	a ₂₂	a ₃₃	Заключение об адекватности		
									F _R	F _T	P _g
У ₃	84,900	1,122	-2,877	-1,375	1,125	-1,771	–	-2,110	1,575	3,580	0,05
У ₄	13,557	-1,272	3,092	0,625	–	4,357	4,018	0,631	7,108	3,580	0,05

В таблице 3.24 приведены области экстремальных значений для установленных зависимостей.

Таблица 3.24

Области экстремальных значений зависимости $Y_{3-4} = f(X_1, X_2, X_3)$

Критерий	X_1	X_2	X_3	Y_{3-4}
$Y_3 - \max (100\%)$	0,70	– 1,00	– 1,00	67,672
	0,71	– 1,00	– 1,00	87,672
	0,72	– 1,00	– 1,00	87,672
	0,69	– 1,00	– 1,00	87,672
	0,68	– 1,00	– 1,00	87,672
	0,73	– 1,00	– 1,00	87,672
	0,74	– 1,00	– 1,00	87,672
	0,67	– 1,00	– 1,00	87,672
	0,66	– 1,00	– 1,00	87,672
	0,75	– 1,00	– 1,00	87,672
$Y_4 - \min (0\%)$	0,08	0,00	– 1,00	11,073
	0,06	0,00	– 1,00	11,074
	0,08	– 0,02	– 1,00	11,075
	0,08	0,02	– 1,00	11,075
	0,06	– 0,02	– 1,00	11,075
	0,06	0,02	– 1,00	11,075
	0,10	0,00	– 1,00	11,076
	0,10	– 0,02	– 1,00	11,077
	0,10	0,02	– 1,00	11,077
	0,04	0,00	– 1,00	11,078

3.6 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЕССА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННО-БРИКЕТИРОВАННЫХ ТЫКВЕННО-ЗЕРНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

На данном этапе экспериментальных исследований, по обоснованию параметров СПБ и ДГВС (рис. 2.1), в качестве управляемых факторов приняты: угловая скорость – ω_v , имеющая размерность – c^{-1} ; диаметр отверстия – d_0 , имеющий размерность – мм; коэффициент «живого» сечения решетки – R_j , имеющий размерность – б/р.

В качестве критериев оптимизации процесса приняты степень

измельчения – λ , б/р; однородность усреднения – Θ_y ,%; энергоёмкость – $N_{уд}$, $\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$.

В результате поисковых опытов определены уровни варьирования указанными факторами для зависимости $Y_{1-3} = f(\omega_s; d_0; R_{ж}) \rightarrow opt$.

В таблице 3.25 представлены факторы процесса и уровни их варьирования.

Таблица 3.25

Факторы и уровни варьирования для процесса

Уровни	Факторы		
	$X_1 / \omega_s, \text{с}^{-1}$	$X_2 / d_0, \text{мм}$	$X_3 / R_{ж}, \text{б/р}$
Верхний уровень (+)	10,0	6,0	4,0
Основной уровень (0)	9,5	4,0	3,5
Нижний уровень (-)	9,0	2,0	3,0
Интервал варьирования (E)	0,5	2,0	0,5

В таблице 3.26 представлена матрица планирования трехфакторного эксперимента и его результаты по 15 опытам.

Таблица 3.26

Матрица планирования эксперимента и результаты опытов

Номер опыта	Факторы в безразмерной системе координат			Факторы в натуральном масштабе			Выходной параметр		
	X_1	X_2	X_3	$X_1 / \omega_s, \text{с}^{-1}$	$X_2 / d_0, \text{мм}$	$X_3 / R_{ж}, \text{б/р}$	$Y_1 / \lambda, \text{б/р}$	$Y_2 / \theta_y, \%$	$Y_3 / N_{уд}, \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$
1	-1	-1	1	9,0	2,0	4,0	10,4	81,4	54,7
2	1	-1	-1	10,0	2,0	3,0	10,9	79,3	52,0
3	-1	1	-1	9,0	6,0	3,0	10,8	80,0	50,3
4	1	1	1	10,0	6,0	4,0	7,5	85,6	38,0
5	-1	-1	-1	9,0	2,0	3,0	13,0	78,0	56,0
6	1	-1	1	10,0	2,0	4,0	9,4	83,4	53,2
7	-1	1	1	9,0	6,0	4,0	8,6	89,9	40,0
8	1	1	-1	10,0	6,0	3,0	8,3	78,4	44,5
9	-1,215	0	0	8,8925	4,0	3,5	8,1	88,1	38,6
10	+1,215	0	0	10,1255	4,0	3,5	7,6	79,9	39,4
11	0	-1,215	0	9,5	1,57	3,5	12,8	87,7	56,0
12	0	+1,215	0	9,5	6,502	3,5	10,5	84,3	39,1
13	0	0	-1,215	9,5	4,0	2,8745	12,0	89,0	55,4
14	0	0	+1,215	9,5	4,0	4,1255	8,5	95,1	38,2
15	0	0	0	9,5	4,0	3,5	8,4	96,6	36,7

После реализации эксперимента по матрице планирования и получения данных проведена их обработка (табл. 3.27 - 3.28)

Таблица 3.27

Регрессионный анализ зависимости $Y_{1-3} = f(X_1; X_2; X_3)$

Критерий	Стандартное отклонение	R-корреляции	Коэффициент детерминации R^2	F-критерий	Значимость F-критерия ($P=0,95$)
$Y_1 \rightarrow \text{opt}$	0,773	0,968	0,937	8,30	0,01
$Y_2 \rightarrow \text{max}$	0,755	0,955	0,913	5,60	0,03
$Y_3 \rightarrow \text{min}$	0,765	0,957	0,916	6,07	0,03

Таблица 3.28

Результаты регрессионного анализа

Критерий	a_0	a_1	a_2	a_3	a_{12}	a_{13}	a_{23}	a_{11}	a_{22}	a_{33}	Заключение об адекватности	
											F_R	F_T
Y_1	9,25	-0,65	-1,04	-1,03	-	0,31	-	-1,11	1,39	0,45	8,0	3,59
Y_2	94,64	-1,09	0,74	2,9	-1,15	-	1,2	-6,53	-5,23	-1,18	5,60	3,59
Y_3	38,58	-1,11	-5,84	-3,45	-	-	-2,09	-	5,51	4,85	6,07	3,59

На основе проведенной математической обработки экспериментальных данных, получены следующие математические модели, характеризующие процесс приготовления дезинтегрированно-гомогенизированной бинарной композиции, которые имеют следующий вид:

– в кодированной форме:

$$Y_1 = 9,25 - 0,65 \cdot X_1 - 1,04 \cdot X_2 - 1,03 \cdot X_3 + 0,31 \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,11 \cdot X_1^2 + 1,39 \cdot X_2^2 + 0,45 \cdot X_3^2 \rightarrow \text{opt}; \quad (3.9)$$

$$Y_2 = 94,64 - 1,09 \cdot X_1 + 0,74 \cdot X_2 + 2,9 \cdot X_3 - 1,15 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,2 \cdot X_2 \cdot X_3 - 6,53 \cdot X_1^2 - 5,23 \cdot X_2^2 - 1,18 \cdot X_3^2 \rightarrow \text{max}; \quad (3.10)$$

$$Y_3 = 38,58 - 1,11 \cdot X_1 + 5,84 \cdot X_2 - 3,45 \cdot X_3 - 2,09 \cdot X_2 \cdot X_3 + 5,51 \cdot X_2^2 + 4,85 \cdot X_3^2 \rightarrow \text{min}; \quad (3.11)$$

– в раскодированной форме:

$$\lambda = -300,1 + 78,68 \omega_{\theta} - 3,18 \cdot d_0 - 26,95 \cdot R_{\text{жс}} + 1,25 \cdot \omega_{\theta} \cdot R_{\text{жс}} - 4,43 \cdot \omega_{\theta}^2 + 0,35 \cdot d_0^2 + 1,78 \cdot R_{\text{жс}}^2 \rightarrow \text{opt}; \quad (3.12)$$

$$\theta_y = -2401.51 + 502\omega_g + 17,56 \cdot d_0 + 43,49 \cdot R_{жс} - 1,15 \cdot \omega_g \cdot d_0 + 1,2 \cdot d_0 \cdot R_{жс} - (3.13)$$

$$-26,11 \cdot \omega_g^2 - 1,31 \cdot d_0^2 - 4,71 \cdot R_{жс}^2 \rightarrow \max;$$

$$N_{y0} = 382,52 - 16426 \cdot R_{жс} - 2,09 \cdot d_0 \cdot R_{жс} + 1,38 \cdot d_0^2 + 19,4 \cdot R_{жс}^2 \rightarrow \min; \quad (3.14)$$

Адекватность полученных моделей, по результатам регрессионного анализа, с вероятностью $P=0,95$, при коэффициентах корреляции $R_1=0,968$, $R_2=0,955$ и $R_3=0,957$ подтверждается неравенством $F_R > F_T$ (табл. 3.28). Достоверность моделей оценивается по уровню значимости критерия Фишера, который должен быть меньше, $0,05$, то есть $p_1=0,01$, $p_2=0,03$ и $p_3=0,03$, а это означает, что полученные модели значимы. Степень точности описания моделью процесса характеризует коэффициент детерминации (R^2), поскольку R_{1-3}^2 находится в пределах больших чем $0,8 - 0,95$ (табл. 3.27), то можно говорить о высокой точности аппроксимации (модель хорошо описывает явление).

В таблице 3.29 приведены области экстремальных значений факторов X_1 , X_2 и X_3 , при которых Y_{1-3} стремится к принятым значениям их оценки.

Таблица 3.29

Области экстремальных значений

Критерий	X_1 / ω_g	X_2 / d_0	$X_3 / R_{жс}$	Y_{1-3}
$Y_1 \rightarrow \text{opt}$	0,81/9,5	1,13/4,1	1,02/3,50	8,4/8,4
$Y_2 \rightarrow \text{max}$	0/9,5	0,27/4,4	1,14/4,10	96,6/96,2
$Y_3 \rightarrow \text{min}$	0,99/9,5	1,02/4,0	1,03/3,52	36,7/36,7

На основе этих данных проведена графическая интерпретация полученных зависимостей в виде поверхностей и их сечений (рис. 3.25 - 3.33).

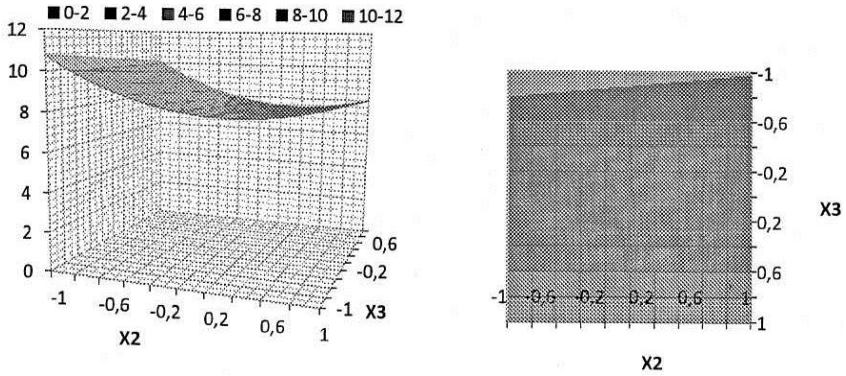


Рис. 3.25. Поверхность отклика $U_1 = f(X_1 = 0,81; X_2; X_3) \rightarrow opt$

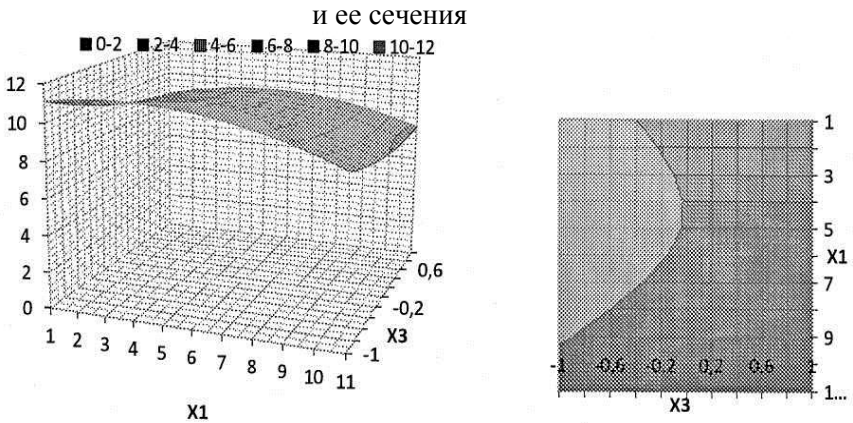


Рис. 3.26. Поверхность отклика $U_1 = f(X_1; X_2 = 1,13; X_3) \rightarrow opt$

и ее сечения

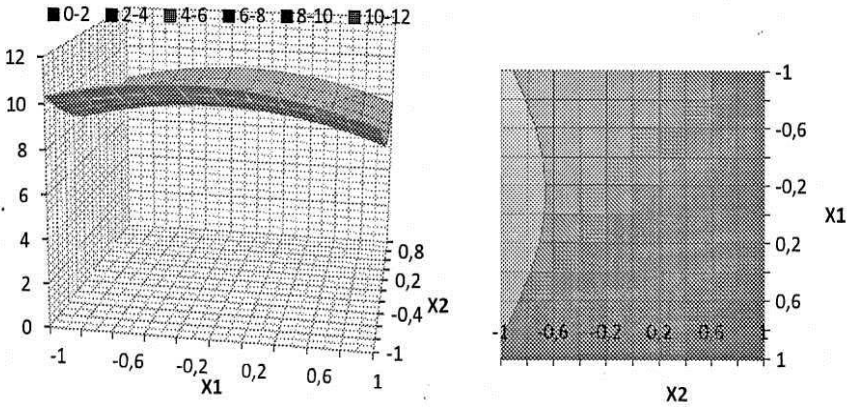


Рис. 3.27. Поверхность отклика $Y_1 = f(X_1; X_2; X_3 = 1,02) \rightarrow \text{opt}$
и ее сечения

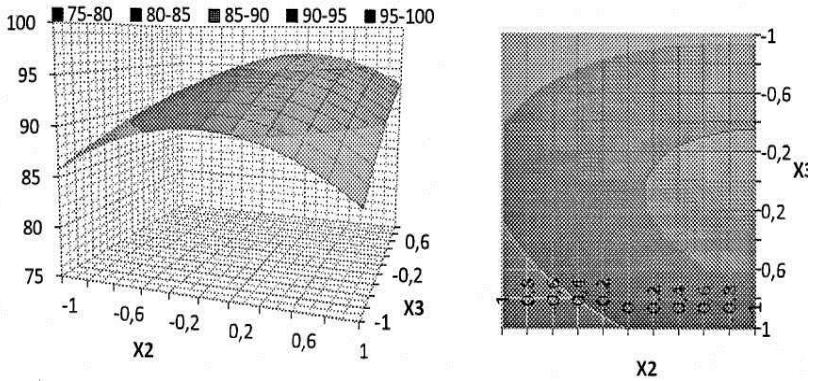


Рис. 3.28. Поверхность отклика $Y_2 = f(X_1 = 0; X_2; X_3) \rightarrow \text{max}$
и ее сечения

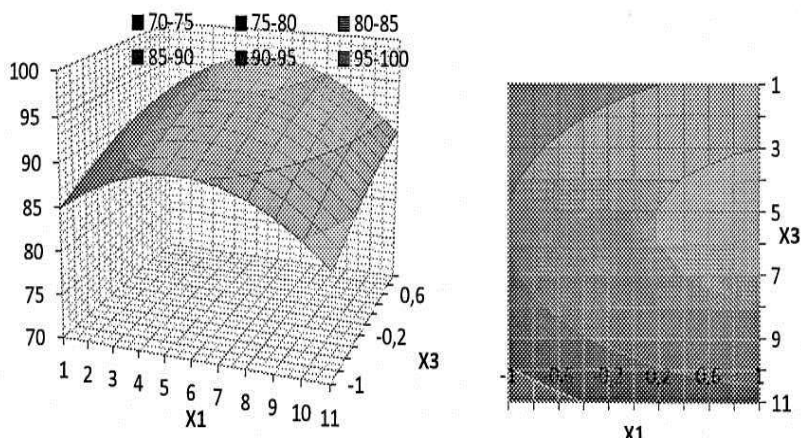


Рис. 3.29. Поверхность отклика $Y_2 = f(X_1; X_2 = 0,27; X_3) \rightarrow \max$
и ее сечения

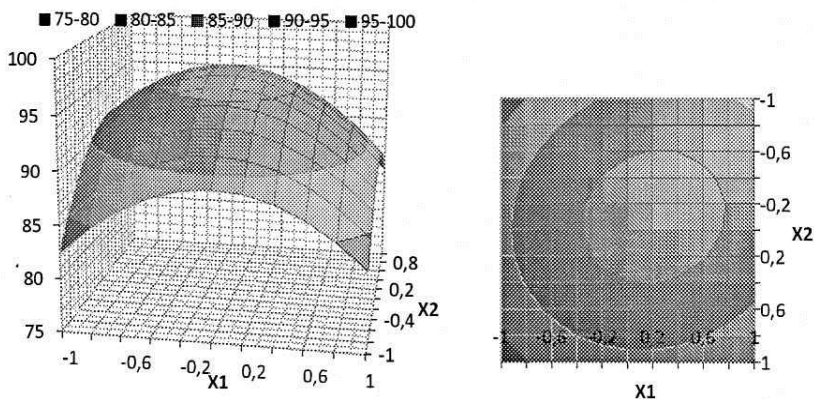


Рис. 3.30. Поверхность отклика $Y_2 = f(X_1; X_2; X_3 = 1,14) \rightarrow \max$
и ее сечения

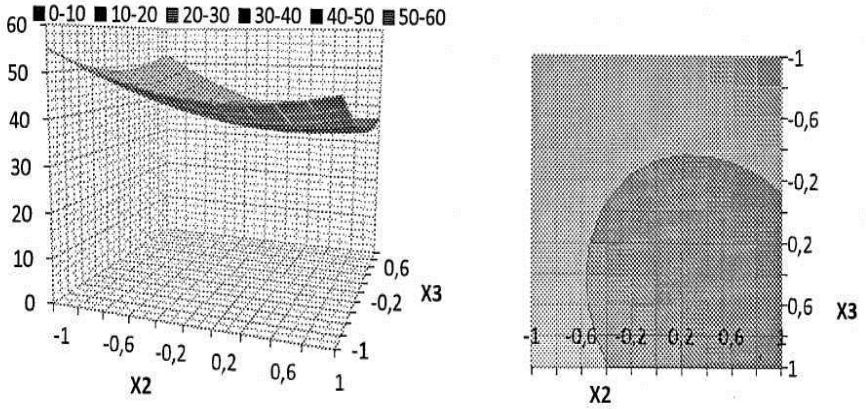


Рис. 3.31. Поверхность отклика $U_3 = f(X_1 = 0,99; X_2; X_3) \rightarrow \min$

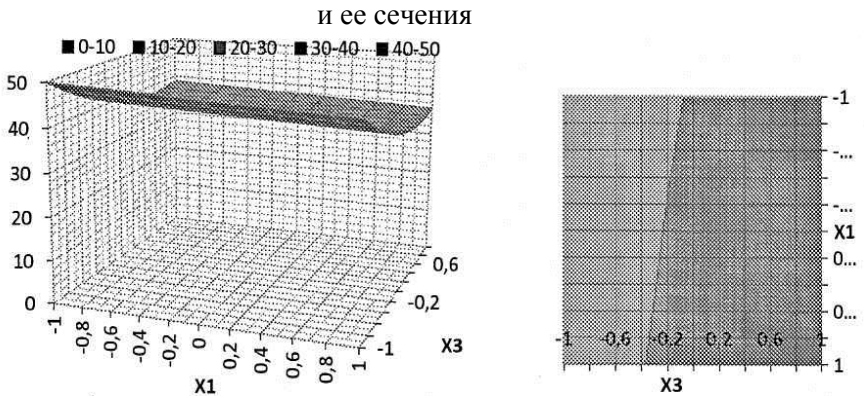


Рис. 3.32. Поверхность отклика $U_3 = f(X_1; X_2 = 1,02; X_3) \rightarrow \min$

и ее сечения

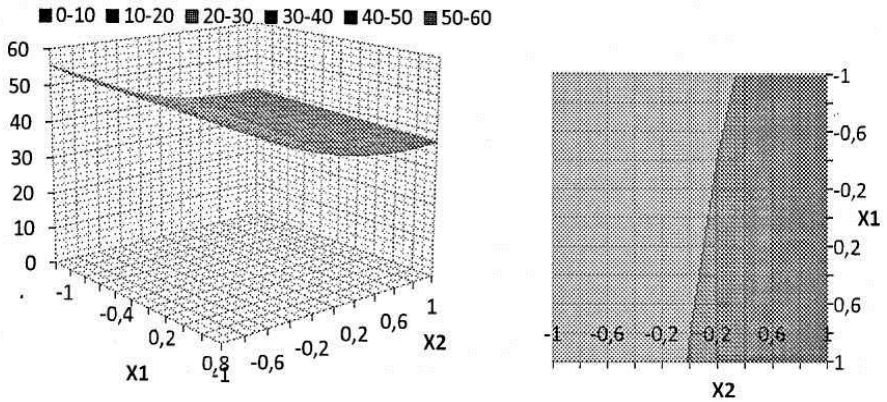


Рис. 3.33. Поверхность отклика $Y_3 = f(X_1; X_2; X_3 = 1,03) \rightarrow \min$
и ее сечения

На третьем этапе исследований необходимо было установить зависимость $v = f(\lambda)$ для конкретного вида зерна.

Полученные зависимости приведены на рисунке 3.34.

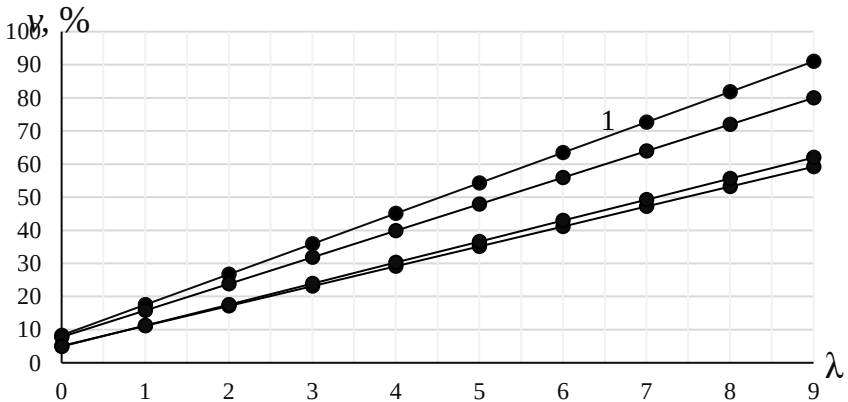


Рис. 3.34. Зависимости неоднородности гранулометрического
состава зерна – v в составе соево-тыквенной композиции
1 – кукуруза; 2 – овес; 3 – ячмень; 4 – пшеница

Математическая обработка предоставленных зависимостей, с помощью метода наименьших квадратов позволила получить следующие эмпирические уравнения:

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= 8,3 + 9,19 \cdot \lambda; \\ v_2 &= 7,8 + 8,02 \cdot \lambda; \\ v_3 &= 5,1 + 6,01 \cdot \lambda; \\ v_4 &= 4,9 + 6,34 \cdot \lambda \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

Решение данных уравнений относительно параметра λ дает следующие модели оценки степени измельчения и гомогенизации:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= 0,108v_1 - 0,903; \\ \lambda_2 &= 0,124v_2 - 0,972; \\ \lambda_3 &= 0,166v_3 - 0,848; \\ \lambda_4 &= 0,157v_4 - 0,772 \end{aligned} \right\} \quad (3.16)$$

На четвёртом этапе исследований установлены зависимости плотности сформованного продукта ρ от давления прессования P , диаметра – d_c и длины формирующих каналов – l^c (рис. 3.35).

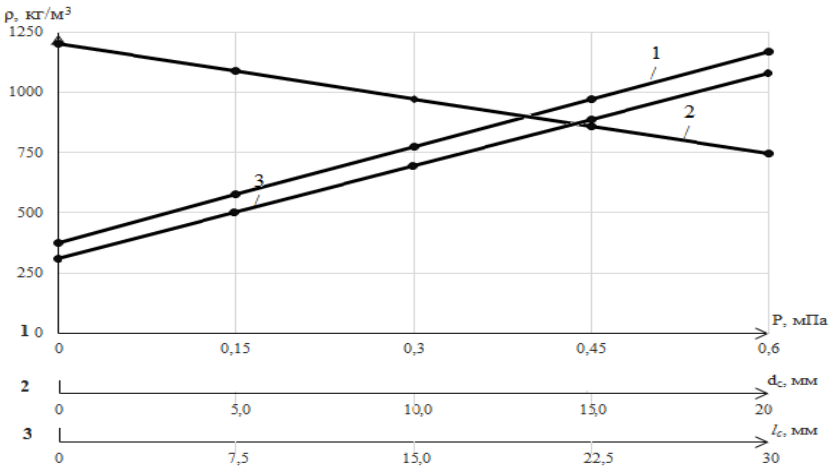


Рис. 3.35. Зависимости плотности влажных гранул от соответствующих параметров процесса – P , d_c , l^c

В результате математической обработки, методом наименьших квадратов, и проведенной аппроксимации графических зависимостей (рис. 3.35) получены следующие эмпирические уравнения

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= 376 + 1323P; \\ \rho_2 &= 1210 + 23d_c; \\ \rho_3 &= 315 + 26,17l_c \end{aligned} \right\} \quad (3.17)$$

Решение данных уравнений относительно параметров P , d_c и l^c даёт зависимости следующего вида:

$$\left. \begin{aligned} P &= 0,00075[\rho_1] - 0,28; \\ d_c &= 0,043[\rho_2] - 52,6; \\ l^c &= 0,038[\rho_3] - 12,036 \end{aligned} \right\} \quad (3.18)$$

где $[\rho_1]$, $[\rho_2]$, $[\rho_3]$ – допускаемые значения плотности влажных гранул, кг/м³.

На пятом этапе исследований в качестве управляемых факторов приняты: угловая скорость ножа – ω_n , имеющая размерность с⁻¹; длина канала – l^c , имеющая размерность, мм.; толщина стенки брикета – Δd , имеющая размерность мм. В качестве критериев оптимизации приняты θ – однородность,%; Пр – прочность гранул,%; N_{Σ} – энергоёмкость, $\frac{Вт \cdot ч}{кг}$.

В результате поисковых опытов определены уровни варьирования указанными факторами для зависимостей $V_{4-6} = f(l^c; \Delta d; \omega_n) \rightarrow opt$. В таблице 3.30 представлены факторы процесса и уровни их варьирования.

Таблица 3.30

Факторы и уровни варьирования для процесса формирования

Уровни	Факторы		
	X_1/l^c мм	$X_2/\Delta d$, мм.	X_3/ω_n с ⁻¹
Верхний уровень (+)	40,0	14,0	10,5
Основной уровень (о)	30,0	12,0	9,5
Нижний уровень (-)	20,0	10,0	9,0
Интервал варьирования (Е)	10,0	2,0	0,5

В таблице представлена матрица планирования трехфакторного эксперимента и его результаты по 15 опытам.

Таблица 3.31

Матрица планирования эксперимента и результаты опытов

Номер опыта	Факторы в безразмерной системе координат			Факторы в натуральном масштабе			Выходной параметр		
	X_1	X_2	X_3	X_1/l^c	$X_2/\Delta d$	X_3/ω_n	$y_4/\theta_\Gamma, \%$	$y_5/\text{Пр}$	$y_6/Nэ, \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}^2}$
1	-1	-1	1	20,0	10,0	10,0	86,0	77,0	42,4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1	-1	-1	40,0	10,0	9,0	81,0	76,0	40,5
3	-1	1	-1	20,0	14,0	9,0	86,0	78,0	43,0
4	1	1	1	40,0	14,0	10,0	77,0	84,0	45,8
5		-1	-1	20,0	10,0	9,0	73,0	70,0	41,3
6	1	-1	1	40,0	10,0	10,0	81,0	89,0	43,6
7		1	1	20,0	14,0	10,0	93,0	77,0	40,9
8	1	1	-1	40,0	14,0	9,0	78,0	79,0	46,7
9	-1,215	0	0	17,85	12,0	9,5	97,0	73,0	42,0
10	+1,215	0	0	42,51	12,0	9,5	91,0	85,0	45,3
11	0	-1,215	0	30,0	9,57	9,5	92,0	78,0	40,2
12	0	+1,215	0	30,0	14,502	9,5	89,0	88,0	40,0
13	0	0	-1,215	30,0	12,0	8,8745	92,0	89,0	39,4
14	0	0	+1,215	30,0	12,0	10,1255	95,0	93,0	38,0
15	0	0	0	30,0	12,0	9,5	96,5	95,0	35,08

После реализации эксперимента по матрице планирования (табл. 3.31) и получения данных проведена их обработка (табл. 3.32 - 3.34).

Таблица 3.32

Регрессионный анализ зависимости $y_{4-6} = f(X_1; X_2; X_3) \rightarrow \max$

Критерий	Стандартное отклонение	R-корреляции	Коэффициент детерминации R ²	F-критерий	Значимость F-критерия (P=0,95)
$y_4 \rightarrow \max$	0,822	0,968	0,96	8,18	0,02
$y_5 \rightarrow \max$	0,811	0,966	0,933	7,69	0,02
$y_6 \rightarrow \min$	0,766	0,957	0,916	6,1	0,03

Таблица 3.33

Результаты регрессионного анализа

Критерий	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₁₂	a ₁₃	a ₂₃	a ₁₁	a ₂₂	a ₃₃	Заключение об адекватности	
											F _R	F _T
У ₄	100,6	-2,52	0,92	2,04	-3,38	-2,63	-0,88	-5,21	-7,6	-5,39	8,18	3,59
У ₅	92,19	3,77	1,71	2,6	-1,25	1,5	-2	-8,11	-5,43	-0,22	7,69	3,59
У ₆	36,97	1,15	0,74	-	1,02	0,4	-0,9	3,97	1,61	0,71	6,1	3,59

На основе проведенной математической обработки экспериментальных данных получены математические модели, характеризующие процесс приготовления гомогенизированной-формованной смеси, которые после отсеивания незначимых коэффициентов имеют следующий вид:

– в кодированной форме:

$$V_4 = 100,6 - 2,52 \cdot X_1 + 0,92 \cdot X_2 + 2,04 \cdot X_3 - 3,38 X_1 \cdot X_2 - 2,63 \cdot X_1 \cdot X_2 - (3.19)$$

$$- 0,88 \cdot X_2 \cdot X_3 - 5,21 \cdot X_1^2 - 7,6 \cdot X_2^2 - 5,39 X_3^2 \rightarrow \max;$$

$$V_5 = 92,19 + 3,77 \cdot X_1 + 1,71 \cdot X_2 + 2,60 \cdot X_3 - 1,25 \cdot X_1 \cdot X_2 + (3.20)$$

$$+ 1,5 X_1 \cdot X_3 - 2 \cdot X_2 \cdot X_3 - 8,11 \cdot X_1^2 - 5,43 \cdot X_2^2 - 0,22 \cdot X_3^2 \rightarrow \max;$$

$$V_6 = 36,97 + 1,15 \cdot X_1 + 0,74 X_2 + 1,02 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,4 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,9 \cdot X_2 \cdot X_3 + (3.21)$$

$$3,97 \cdot X_1^2 + 1,61 \cdot X_2^2 + 0,71 \cdot X_3^2 \rightarrow \min$$

– в раскодированной форме:

$$\theta_F = -2513,59 + 9,89 l_c + 59,46 \cdot \Delta d + 440,16 \cdot \omega - 0,17 l_c \cdot \Delta d - 0,53 \cdot l_c \cdot \omega - (3.22)$$

$$- 0,88 \cdot \Delta d \cdot \omega - 0,05 l_c^2 - 1,9 \Delta d^2 - 21,57 \omega^2 \rightarrow \text{opt};$$

$$П_p = -493,1 + 3,15 \cdot l_c + 54,34 \cdot \Delta d - 0,06 \cdot l_c \cdot \Delta d + 0,3 \cdot l_c \cdot \omega - (3.23)$$

$$- 2 \cdot \Delta d \cdot \omega - 0,08 \cdot l_c^2 - 1,36 \cdot \Delta d^2 \rightarrow \max;$$

$$N'_{yo} = 320,37 - 3,64 \cdot l_c - 46 \cdot \omega + 0,05 \cdot l_c \cdot \Delta d + 0,08 \cdot l_c \cdot \Delta d - (3.24)$$

$$- 0,9 \cdot \Delta d \cdot \omega + 0,04 \cdot l_c^2 + 0,4 \cdot \Delta d^2 + 2,86 \cdot \omega^2 \rightarrow \min$$

Адекватность полученных моделей, по результатам регрессионного анализа, с вероятностью $P=0,95$, при коэффициентах корреляции $R_4=0,968$, $R_5=0,966$ и $6=0,957$ подтверждается неравенством $F_R > F_T$ (табл. 3.32) Достоверность моделей также оценивается по уровню значимости критерия Фишера, который должен

быть меньше 0,05, то есть $P_4 = 0,02$, $P_5 = 0,02$ и $P_6 = 0,03$, а это означает, что полученные модели значимы. Степень точности описания моделью этого процесса также характеризует коэффициент детерминации (R^2), а поскольку R_{4-6}^2 находится в пределах больших чем 0,8 – 0,95 (табл. 3.31) то можно также говорить о высокой точности аппроксимации (модель хорошо описывает явление).

В таблице 3.34 приведены области экстремальных значений факторов X_1 , X_2 и X_3 , при которых критерии оптимизации Y_{4-6} стремятся к оптимальному значению.

Таблица 3.34

Области экстремальных значений

Критерий	X_1/l^c , мм	$X_2/\Delta d$, мм	X_3/ω , с ⁻¹	Y_{4-6}
$Y_4 \rightarrow \max$	0,35/30,0	0,38/12,7	0,58/9,9	96,5/96,4
$Y_5 \rightarrow \max$	0,35/30,0	0,29/12,0	1,12/9,7	95,0/95,0
$Y_6 \rightarrow \max$	0/30,0	0/12,0	0,03/9,5	36,9/36,4

На основе этих данных проведена графическая интерпретация полученных зависимостей в виде поверхностей и их сечений (рис. 3.36 - 3.44).

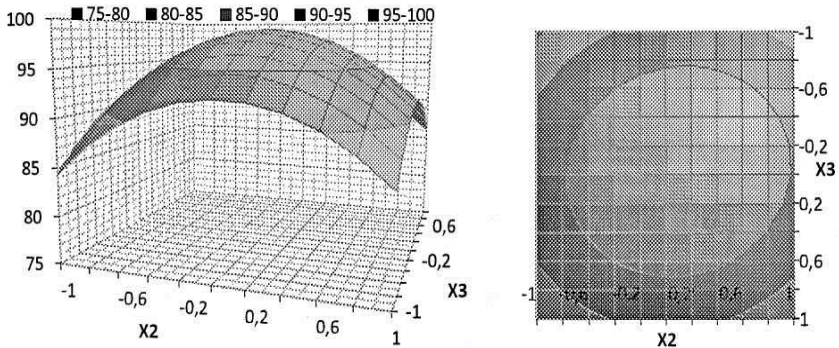


Рис. 3.36. Поверхность отклика $Y_4 = f(X_1 = 0,35; X_2; X_3) \rightarrow \max$ и ее сечения

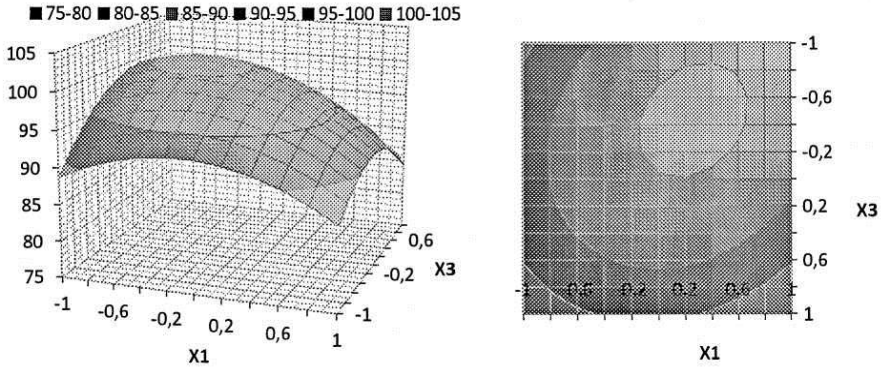


Рис. 3.37. Поверхность отклика $V_4 = f(X_1; X_2 = 0,38; X_3) \rightarrow \max$ и ее сечения

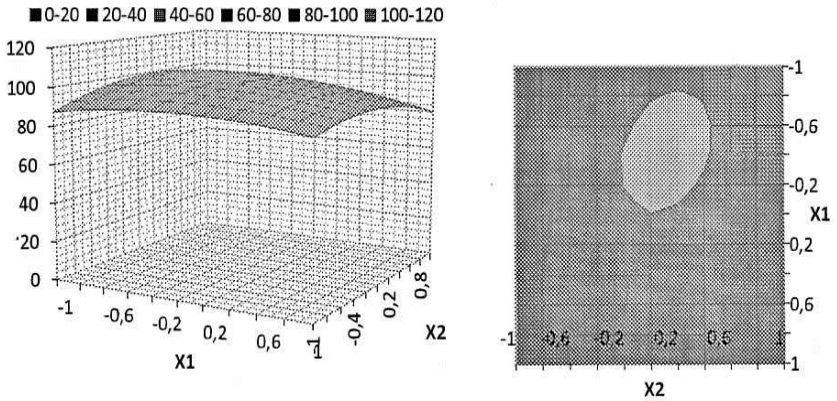


Рис. 3.38. Поверхность отклика $V_4 = f(X_1; X_2; X_3 = 0,58) \rightarrow \max$ и ее сечения

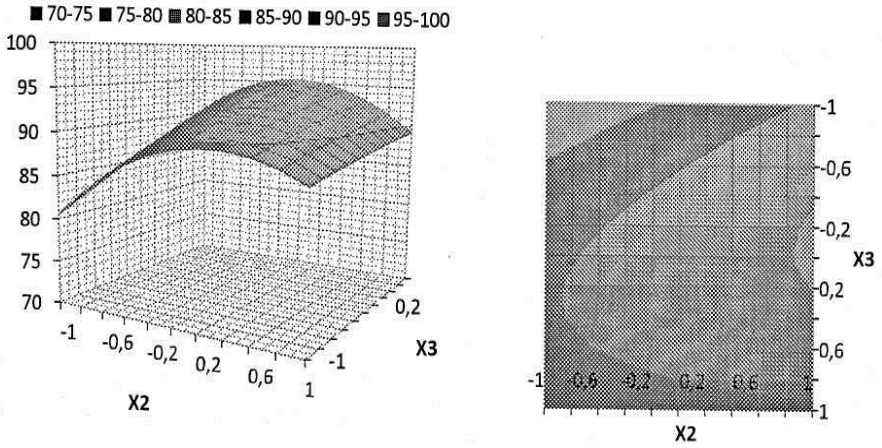


Рис. 3.39. Поверхность отклика $Y_5 = f(X_1 = 0,35; X_2; X_3) \rightarrow \max$ и ее сечения

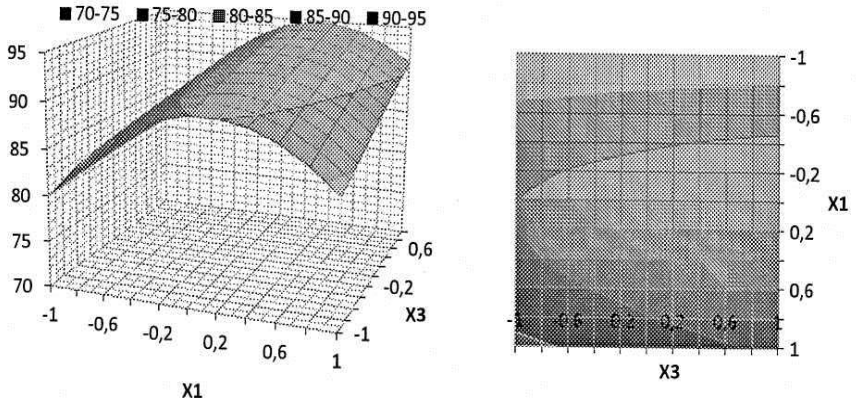


Рис. 3.40. Поверхность отклика $Y_5 = f(X_1; X_2 = 0,29; X_3) \rightarrow \max$ и ее сечения

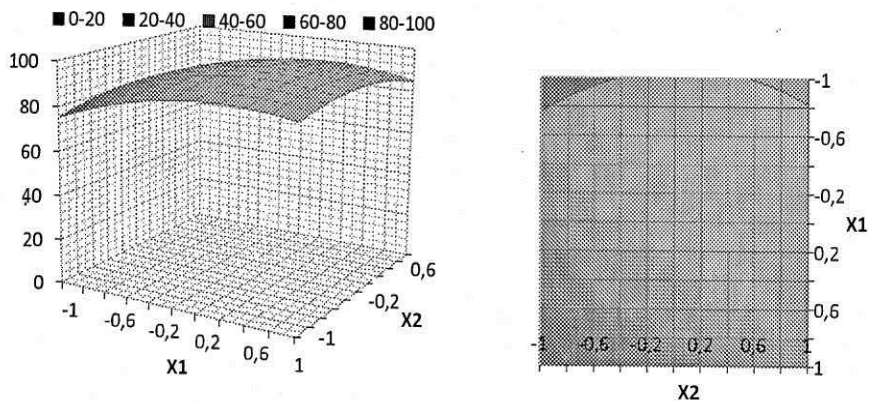


Рис. 3.41. Поверхность отклика $V_5 = f(X_1; X_2; X_3 = 1, 12) \rightarrow \max$
и ее сечения

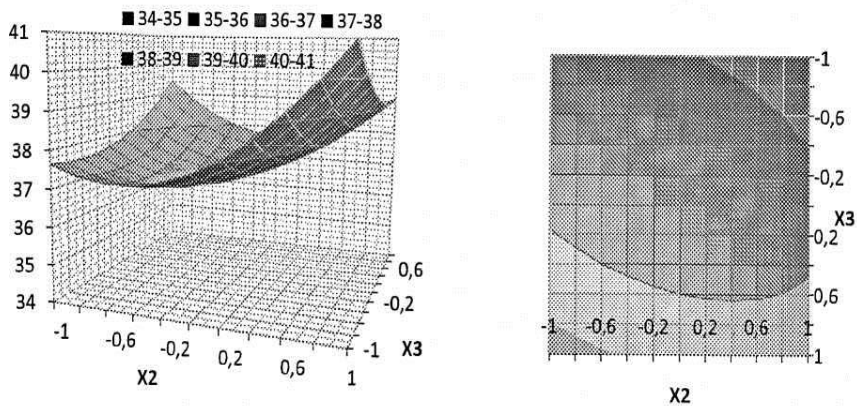


Рис. 3.42. Поверхность отклика $V_6 = f(X_1 = 0; X_2; X_3) \rightarrow \min$
и ее сечения

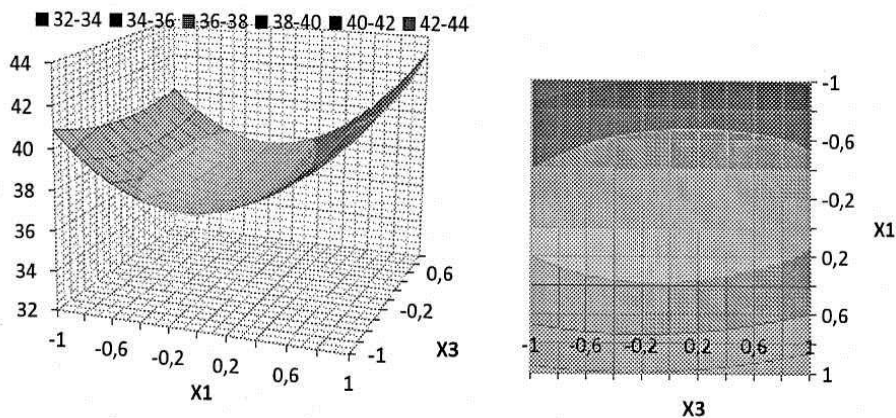


Рис. 3.43. Поверхность отклика $U_6 = f(X_1; X_2 = 0; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

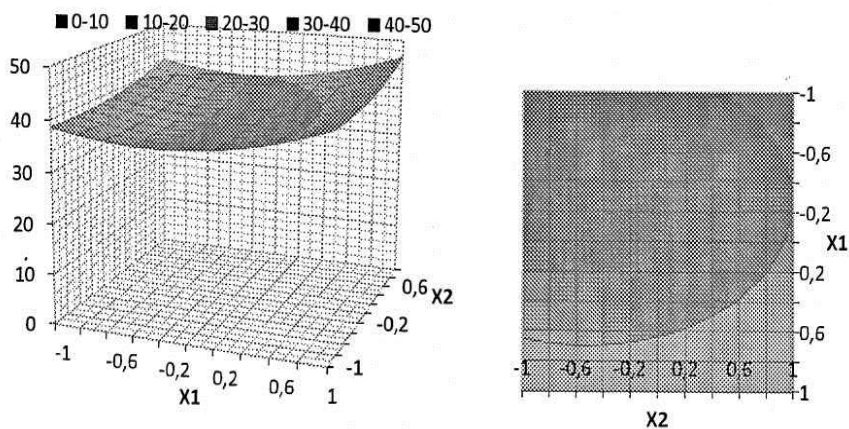


Рис. 3.44. Поверхность отклика $U_6 = f(X_1; X_2; X_3 = 0,03) \rightarrow \min$ и ее сечения

Глава 4. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРЕДЛОЖЕННОЙ ЛИНИИ

4.1 УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОВЕРКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведению производственной проверки предшествовало решение организационных вопросов, связанных с выбором производственной базы и хозяйств для ее осуществления. Производственная проверка проводилась с использованием компонентов в виде плодов тыквы сорта «Стофунтовая», плодов арбуза кормового сорта «Дисхим», кабачков сорта «Грибовские 37» и кочанов капусты сорта «Московская поздняя 15».

Предложенные схемы ПТЛ приготовления формованных кормов реализованы в ряде хозяйств Амурской области. Технологические и конструктивно-технологические схемы которых представлены на рисунке 4.1.

Конструктивные параметры и режимы работы линии соответствовали оптимальным. В частности, для питателя плодов тыквы скорость подающего транспортера питателя плодов $v_{\text{птр}}=0,001-0,005$ м/с, а приемного $v_{\text{три}}=0,011-0,012$ м/с. Параметры установки поярусных ограничителей плодов тыквы следующие: –для первого яруса $H_1=445-450$ мм, для второго – $H_2=H_1+200$ мм и для третьего $H_3=H_2+200$ мм, с расстоянием между ограничителями по горизонтали в плоскости поперечного сечения питателя плодов, равным: $L_1=D_{\text{max}}=450$ мм. и $L_2=450$ мм. Для измельчителя: частота вращения диска $n=2074$ мин⁻¹, ширина окна в диске перед ножом $b=24,17$ мм, высота вылета ножа $h=4,18$ мм.

В качестве гранулированного продукта готовилась тыквенно-кукурузная и морковно-пшеничная композиции в соответствии с технологической и аппаратурной схемами, приведенными на рисунках 4.1 - 4.3.

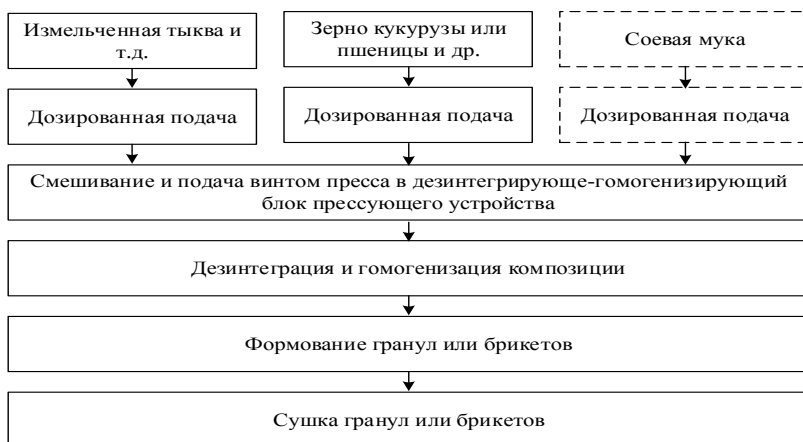


Рис. 4.1. Технологическая схема производства тыквенно-зерновых гранулированно-брикетированных продуктов на основе подготовленного сырья

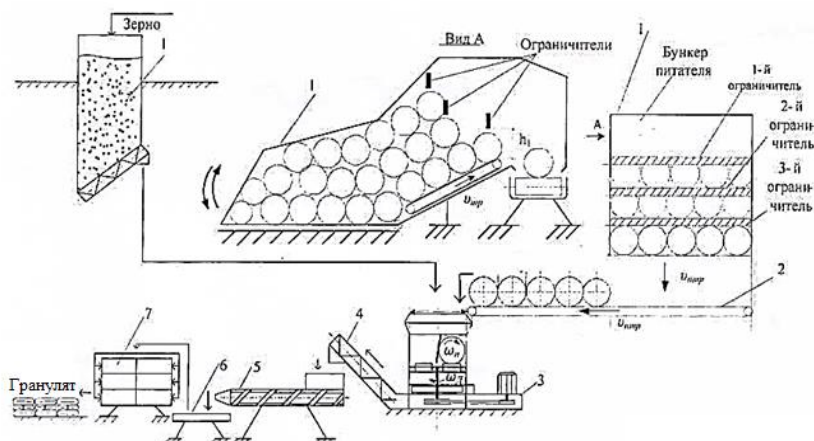


Рис. 4.2. Конструктивно-технологическая схема линии по производству формованных продуктов на основе тыквенно-зерновых композиций: 1 – питатель тыквы и корнеклубнеплодов; 2 – дискретно-дозировующий транспортер; 3 – измельчитель-смеситель; 4 – транспортер; 5 – пресс, 6 – лоток сетчатый; 7 – сушильный шкаф «Универсал-ЭСПИС-4»

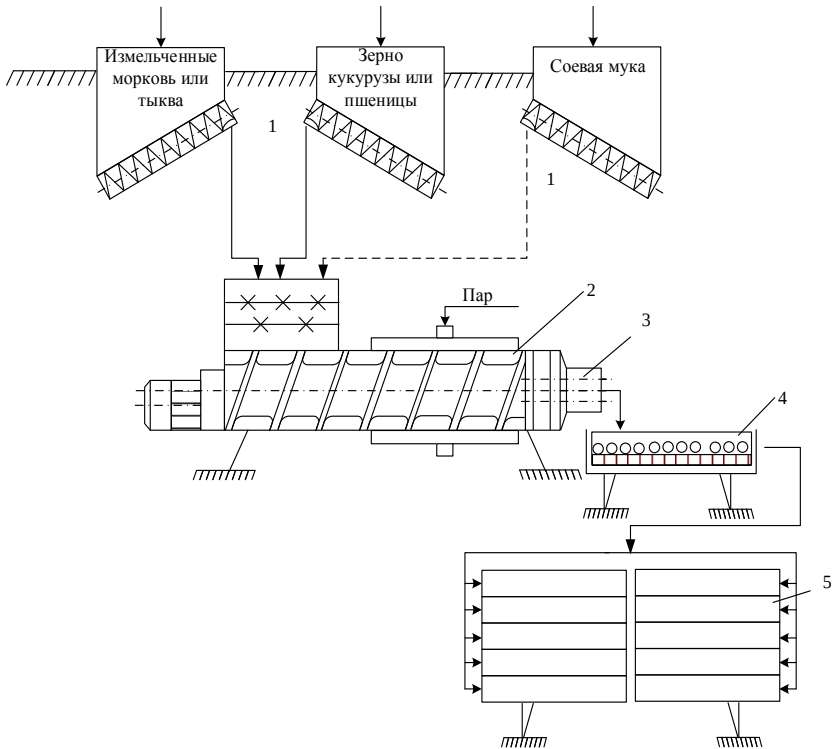


Рис. 4.3. Конструктивно-технологическая схема линии по производству гранулированно-брикетированных продуктов на основе предварительно подготовленного корнеплодного сырья:

1 – бункера-дозаторы; 2 – пресс; 3 – формующее устройство;
4 – сетчатый лоток; 5 – сушильный шкаф универсал «ЭСПИС-4»

На рисунке 4.4 представлена аппаратурная схема приготовления формованных продуктов с использованием исходного сырья.

В результате проведенной производственной проверки установлено, что предлагаемые способы получения гранулированно-брикетированных тыквенно-кукурузных и морковно-пшеничных кормовых продуктов, реализуемые с помощью инновационного прессующего устройства, позволяют производить витаминно-углеводные продукты, отвечающие зоотехническим требованиям

по влажности и прочности гранул и брикетов.

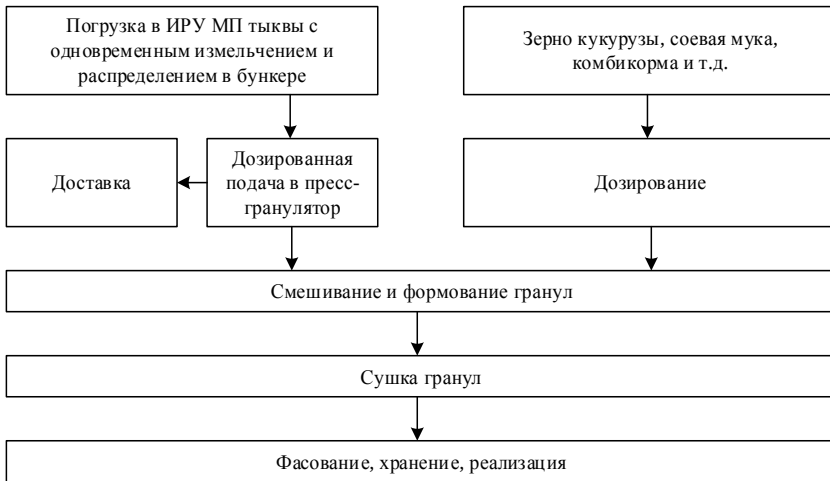


Рис. 4.4. Принципиальная схема приготовления кормовых продуктов с использованием МП

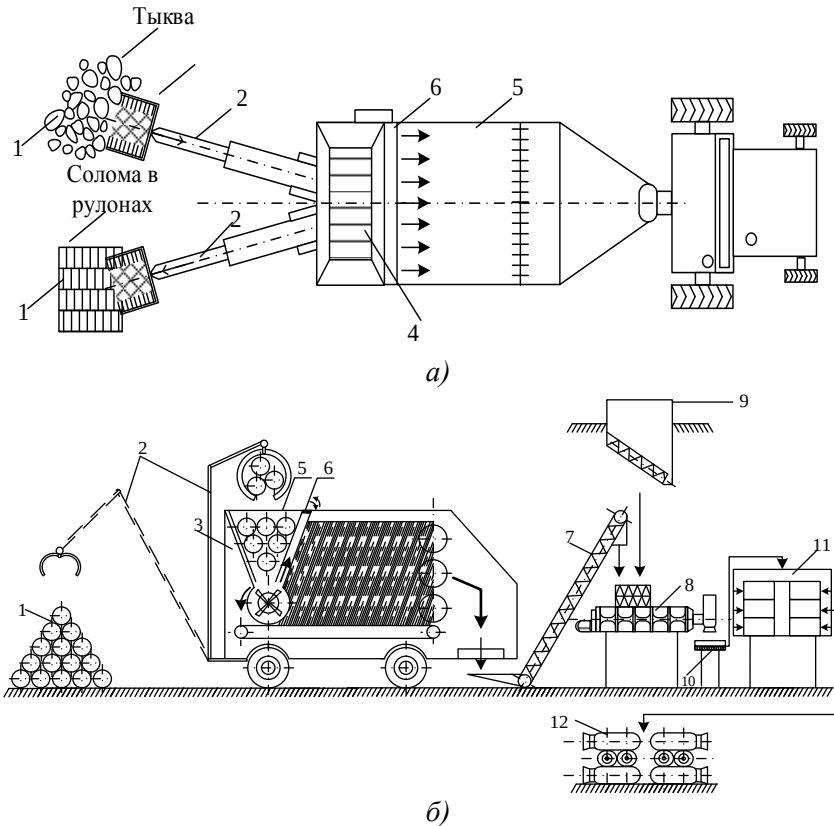


Рис. 4.5. Конструктивно-технологическая схема приготовления продуктов с использованием МП

1 – солома (тыква), 2 – манипулятор погрузчика, 3 – бункер ИРУ, 4 – измельчитель-распределитель, 5 – бункер МП, 6 – распределяющий козырек, 7 – приемный шнек, 8 – пресс-гранулятор, 9 – бункер-дозатор, 10 – лоток, 11 – сушильный шкаф «ЭПИС-4-Универсал, 12 – гранулят

Таблица 4.1

Техническая характеристика мобильного питателя
для приготовления кормовых продуктов

№ п/п	Показатель	Единицы измерения	Параметры
1	Грузоподъемность	кг	1600
2	Габаритные размеры: длина ширина высота	мм	5600 2140 2125
3	Ширина колеи	мм	1550
4	Вместимость бункера	м ³	4,2
5	Производительность при выдаче корма	т/ч	5-40
6	Транспортный просвет	мм	310
7	Радиус поворота по слежу наружного колеса	м	4,5
8	Скорость: рабочая транспортная	км/ч	0,80-2,5 до 16
9	Масса	кг	2020
10	Мощность, потребная на привод рабочих органов	кВт	до 25,0
11	Обслуживающий персонал	чел	1

В процессе производственных испытаний мобильного питателя вначале производилась его настройка по специальной номограмме, а затем погрузка, измельчение, распределение в бункере однокомпонентного кормового сырья. Далее производилась транспортировка МП и подача продукта в пресс-гранулятор-брикетировщик. с помощью предложенного агрегата также выполнялись операции технологического процесса от погрузки. измельчения до заполнения бункера агрегата тыквенным компонентом.

В ходе испытаний МП обеспечивал качественное выполнение всех операций технологического процесса по подготовке и подаче тыквы при соответствующей надежности работы всех его узлов и деталей.

На основании проведенной проверки и поставленной цели разработаны рекомендации и предложения производству по использованию МП в линии приготовления кормов.

В соответствии с проведенной проверкой были разработаны рекомендации по повышению эффективности функционирования системы приготовления формованных кормов. Использование МП также возможно и целесообразно в линии приготовления углеводно-минеральных или углеводно-белковых кормовых добавок в виде соломенно-сапропелевых соево-травяных и других гранулятов.

4.2 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Расчет технико-экономической эффективности предполагает наличие базового варианта для сравнения [65 - 68], в связи с чем в качестве такого базового варианта был принят вариант, которым предусмотрено получение гранул на основе комбикорма с мелассой. Для этой цели используется оборудование в виде агрегатов Б6-ДАК и Б6-ДГВ, а также линия, скомпонованная на их основе, характеристика которых приведена в источниках [68, 99].

В комплекте для приготовления гранулированных кормов используется также и оборудование для производства крупки из гранул [55, 56, 68, 99].

Основные технико-экономические показатели сравниваемых вариантов представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Сравнительные технико-экономические показатели

№ п/п	Показатели	Ед.из м.	Сравниваемые варианты		Степень превышения, раз.
			Базовый на основе агрегатов Б6-ДАК и Б6-ДГВ	Предлагае- мый на ос- нове СПГ-150	
1	2	3	4	5	6
1	Производительность	кг/ч	При Ø гранул от 4,7 мм до 19 мм 2500-4500 При Ø 2,0 - 3,0 мм неработоспособен (принимает 120-150)	При Ø гранул 2-3 мм - 120 и Ø брикетов - 150	-
2	Установленная мощность:	кВт		-	-
2.1	Линии-мелассы Б6-ДАК		13,0	-	-

Продолжение таблицы 4.2.

1	2	3	4	5	6
2.2	Установки Б6-ДГВ		137,5	-	-
2.3	Линии получения крупки		11,0	-	-
3	Линия подачи сырья и компонентов				
3.1	Питатель-дозатор тыквы и корнеклубнеплодов		-	6,0	-
3.2	Измельчитель-смеситель		-	5,0	-
3.3	Шнековый-транспортёр		-	1,5	-
3.4	Пресс-гранулятор-брикетировщик		-	2,5	-
3,5	Сушильная камера «Универсал» – ЭСПИС-4		-	9,0	-
	Всего:		161,5	24,0	6,73
4	Масса оборудования	т	5,4	5,2	1,04
5	Энергоемкость	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$	1,077	0,16	6,73
6	Металлоемкость		36,0	34,66	1,04

Экономический эффект по приведенным затратам рассчитан в соответствии с ценами, сложившимися на 01.01.2017 г. по известным методикам [65 – 67].

В таблице 4.3 приведены перечень и стоимость сравниваемого оборудования для получения корнеплодно-зернового гранулята.

Таблица 4.3

Состав оборудования сравниваемых технологических линий приготовления гранулята

№, п/п	Наименование оборудования	Количество	Установленная мощность электродвигателей, кВт	Балансовая стоимость, руб.
1	Комплект оборудования базового	1		
1.1	Линия ввода мелассы в комбикорм Б6-ДАК	1	13,0	1100000
1.2	Установка Б6-ДГВ	1	137,5	160500
1.3	Линия получения крупки из готовых гранул	1	11,0	165000
	Всего:	4	161,5	1425500
2	Комплект предлагаемого оборудования	1	–	–
2.1	Питатель-дозатор тыквы и корнеклубнеплодов	1	6,0	158000
2.2	Измельчитель-смеситель	1	5,0	189000
2.3	Шнековый транспортер	1	1,5	51000
2.4	Пресс-гранулятор-брикетировщик	1	25,5	265000
2.5	Сушильная камера-шкаф «ЭСПИС – 4» - Универсал	1	9,0	60000
	Всего:	4	24,0	723000

Зоотехнической наукой и практикой доказано, что скормливание полнорационных кормовых смесей повышает продуктивность на 10 – 25%, при этом сокращаются сроки откорма и на 10 – 15%, уменьшается расход кормов на единицу продукции [98].

В этой связи, необходимо рассчитать так называемый технологический эффект, определяемый через стоимость дополнительной продукции, получаемой в результате скормливания гранулята крупному рогатому скоту (КРС) и свиньям на откорме.

Исходя из этого, стоимость дополнительной продукции, получаемой в результате реализации технологического процесса приготовления корнеплодно-зернового гранулята определим по известной методике [24]:

$$\Delta C_i = \frac{\sum_{n=1}^n R_1 \cdot q \cdot N_{\phi} \cdot D \cdot \mathcal{E}_K \cdot C_p}{\mathcal{E}_{II}},$$

где R_i – коэффициент, учитывающий повышение продуктивности, усвояемости, снижения непроизвольного детального расхода и т.д. кормов;

q – питательность суточного рациона, приходящаяся на одну голову животного, к. ед;

$N\phi$, – число голов животных;

D – продолжительность периода кормления, дн.;

C_p – цена, по которой реализуется продукция, руб.;

Эк – энергетическая ценность кормовой единицы, МДж

($\text{Эк} = 6 \text{ МДж}$) [64];

Э_Π – затраты энергии на получение единицы продукции, МДж.

Питательность суточного рациона определяется как

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i},$$

где α – количество i -того компонента в смеси, кг;

m_i – питательность компонента, к.ед.

С учетом вышеприведенного, стоимость дополнительной продукции составит:

– при производстве молока (из расчета 2 кг/гол в сутки):

$$\Delta C_M = \frac{0,10 \cdot 1,25 \text{ к.ед.} \cdot 1 \text{ гол.} \cdot 300 \text{ дн.} \cdot 6,0 \text{ МДж} \cdot 15,0 \text{ руб.} / \text{кг}}{3,0 \text{ МДж}} =$$

$$= 0,10 \cdot 1,25 \cdot 600 \cdot 15,0 = 1125,0 \text{ руб./гол.}$$

– при производстве свинины (из расчета 6 кг/гол в сутки):

$$\Delta C_C = \frac{0,10 \cdot 8,0 \text{ к.ед.} \cdot 1 \text{ гол.} \cdot 250 \text{ дн.} \cdot 6,0 \text{ МДж} \cdot 15,0 \text{ руб.} / \text{кг}}{29,75 \text{ МДж}} =$$

$$= \frac{0,10 \cdot 8,0 \cdot 250 \cdot 6 \cdot 150}{29,75} = 6050,4 \text{ руб./гол.}$$

Верхнюю лимитную цену оборудования технологической линии по производству гранулята определим по известной формуле [65]:

$$\Pi_{\text{в.л}} = \frac{\mathcal{E} \cdot 0,5}{\varepsilon (P_2 + E_n)},$$

где $\mathcal{E}$ – годовой экономический эффект от применения техники, за счет получения дополнительной продукции;

ε – коэффициент перевода оптовой цены в балансовую стоимость, $\varepsilon = 1,2$;

P_2 – коэффициент отчисления на амортизацию, $P_2 = 0,12$;

E_n – нормативный коэффициент, равный 0,15.

Тогда:

– для молочной фермы на 525 коров:

$$\Pi_{\text{вл}}^{\text{м}} = \frac{590625 \cdot 0,5}{1,2(0,12+0,15)} = \frac{295312,5}{0,324} = 911458,33 \text{ руб.};$$

– для свинофермы на 210 голов:

$$\Pi_{\text{вл}}^{\text{с}} = \frac{1270584 \cdot 0,5}{1,2(0,12+0,15)} = \frac{635292}{0,324} = 1960777,7 \text{ руб.};$$

Экономическую целесообразность производства и применения корнеплодно-зернового гранулята, определим как:

$$\mathcal{E}_{\text{сс}} = G_{\text{кг}} (k \cdot D_{1,2}),$$

где $G_{\text{кг}}$ – годовой объем производства гранулята;

k – коэффициент, учитывающий налоговые отчисления;

$D_{1,2}$ – доход от производства и применения корнеплодно-зернового гранулята (КЗГ).

Доход от производства КЗГ составляет:

$$D_1 = (C_p - C_{\varepsilon} - C_n),$$

а от его применения:

$$D_2 = (C'_n - C_p),$$

где C_p – цена реализации КЗГ;

C_{ε} – эксплуатационные расходы;

C_n – стоимость исходного сырья;

C'_n – стоимость продукта, заменяемого корнеплодно-зерновым продуктом.

Тогда

$$D_1 = (20000 - 4855,9 - 10000) = 5144,06 \text{ руб./т.};$$

$$D_2 = (25000 - 20000) = 5000 \text{ руб./т.};$$

$$\mathcal{E}_{\text{сс}}^1 = 315 \text{ т} \cdot (0,8 \cdot 5144,06) = 1296303,12 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{\text{сс}}^2 = 315 \text{ т} \cdot (0,8 \cdot 5000) = 1260000 \text{ руб.}$$

Результаты по расчету экономической эффективности приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Экономическая эффективность результатов исследований

Показатели	Единицы измерения	Значения показателя
Снижение энергоемкости	раз	6,73
Снижение металлоемкости	-//-	1,04
Стоимость оборудования: - с комплектами Б6-ДГВ и Б6-ДАК - с комплектом ПГ-150	рублей рублей	1425500 723000
Приведенные затраты: - по базовому варианту - по новому варианту	рублей рублей	2752570,25 1863030
Годовой экономический эффект	рублей	889540,25
Стоимость дополнительной продукции: - по молоку - по свинине	р./гол. р./гол.	1125,0 6050,4
Верхняя лимитная цена: - для молочной фермы на 525 коров - для свиноводческой фермы на 210 голов	рублей рублей	941458,33 1960777,7
Доход производителя тыквенно-зернового гранулята	р./т.	5144,06
Доход потребителя тыквенно-зернового гранулята	р./т.	5000,0
Экономическая целесообразность - для производителя - для потребителя	рублей рублей	1296303,12 1260000,0

Расчет по формулам (2.1) – (2.3) дает результат в 572587,5 рублей.

4.3 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЛИНИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННО-БРИКЕТИРОВАННЫХ КОРМОВЫХ ПРОДУКТОВ

При разработке и проектировании линий приготовления кормов животным и птице, для оценки их эффективности в настоящее время используют обобщенный показатель – минимум приведенных затрат. Однако он не дает всесторонне обоснованной, а потому объективной оценки, так как не несет полной информации о соизмеримости затрат и дохода от получения дополнительной продукции, за счет реализации определенных мероприятий, направленных как на снижение затрат, так и на уве-

личение выхода животноводческой и птицеводческой продукции, например, при замене одного из компонентов рациона на другой и применением для этих целей средств механизации, ранее не существовавших.

В связи с этим, при разработке и проектировании линий приготовления кормов животным, одним из основных условий обеспечения возможности проведения объективного расчета по оценке эффективности, должна быть учтена вся совокупность основных, факторов, влияющих на функционирование оцениваемой системы [24 - 28].

Согласно данной схеме, процесс механизированного кормления с использованием плодов тыквы, моркови и т.д., характеризуется, прежде всего, качественным процессом подачи каждого их комовых компонентов неравномерностью дозирования, которая функционально зависит от множеств как управляемых, так и неуправляемых факторов [24].

Согласно рисунку 4.6 приняты следующие обозначения: t_{mp}^1

– продолжительность подачи одного плода тыквы в измельчитель; $t_{изм}^1$ – продолжительность измельчения одного плода тыквы;

δ_1, δ_2 – неравномерность подачи плодов тыквы или других бахчевых культур или капусты, или зерна, соответственно; $D_{\text{экв}}$ – эквивалентный диаметр плодов тыквы; Q_{nm}^1 Q_{nc}^2 – подача питателей

плодов тыквы и зерна; ω_d – угловая скорость вращения диска измельчителя; k_n – количество ножей; h – вылет ножа над диском; l_n – длина лезвия ножа; R_d – радиус диска измельчителя; σ – ширина окна в диске; Δ – расстояние между диском и стенкой бункера измельчителя; $Q_{изм}$ – пропускная способность измельчителя; $N_{изм}$ – мощность, потребляемая в процессе измельчения плодов тыквы и получения композиций.



Рис. 4.6. Технологическая схема получения прессованного углеводно-витаминного продукта на основе плодово-зерновых композиций

Процесс подачи плодов питателем осуществляется путем дискретной выдачи группы отдельных плодов тыквы и т.д., с их количеством в группе $k=B/D_9$, поэтому необходимо рассматривать данные процессы в подсистеме: «питатель → транспортер → измельчитель → гранулятор».

При этом, длина L_{mp} такого элемента подсистемы, как транспортер плодов, с учетом приведенных положений (рис. 4.7), должна быть равна $L_{mp}=2B$ [24].

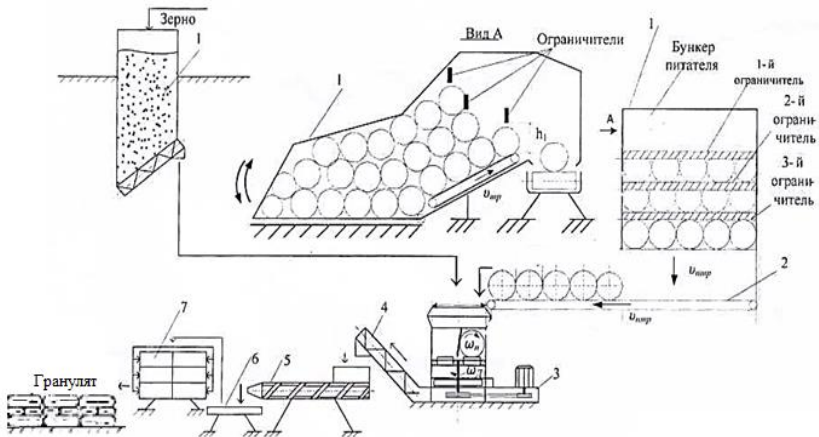


Рис. 4.7. Схема к расчету параметров линии:

1 – питатели-дозаторы; 2 – транспортер; 3 – измельчитель-смеситель; 4 – шнековый транспортер; 5 – измельчитель-гранулятор; 6 – сушильная установка «Универсал – ЭСПИС-4»

В рассматриваемой подсистеме «дискретная подача → транспортирование плодов → измельчение плодов с получением композиции», процесс подачи плодов лимитируется дискретным характером измельчения одного плода, имеющего округлую форму (условно шарообразную) с соответствующим ей размером.

Для обеспечения поточности процесса, питатель плодов должен выполнять свои функции согласованно, с заданным режимом работы измельчителя плодов. Условие, по согласованному режиму работы этих звеньев рассматриваемой подсистемы, имеет следующий вид [24]:

$$\frac{B}{D_3} \cdot t_{изм}^1 = \frac{B}{1,24\sqrt[3]{V}} \cdot \frac{V_3 \cdot \rho_3}{Q_{nm}}$$

Где ρ_3 определяется, как

$$\rho_3 = \sum_{i=1}^{100} M_{ni} / \sum_{i=1}^{100} V_{ni}$$

где M_n , V_n – масса и объем i -го плода тыквы и т.д.

Обоснование параметра $t_{изм}^1$ в подсистеме «транспортер питателя → приемный транспортер → измельчитель» с позиции

того, что плоды подаются группой, с количеством плодов в ней равной B/D_3 [24], позволяет учесть тот факт, что по группе плодов, их размерные характеристики усредняются. Усредняются и временные характеристики по измельчению каждого из плодов, а также другие физико-механические и реологические характеристики. Таблицей 5.4 представлена циклограмма работы, рассматриваемой подсистемы с учетом усредненных, посредством дан-

ного подхода, характеристик $\sum_{i=1}^n t_{изм i} = t_{цп}^1$.

Продолжительность измельчения одного плода, при данном формализованном подходе к их физической форме, с учетом параметров подачи определяется по формуле [24]:

$$t_{изм}^1 \leq \frac{\pi \cdot D_3^3 \cdot \rho_3}{6 \cdot B \cdot v_{нпр} \cdot \rho \cdot \psi \cdot h_l},$$

где Ψ – коэффициент, учитывающий объемы пустот между плодами в их группе по длине B ; h_l – расстояние между подающим транспортером и первым ограничителем в питателе плодов (рис. 4.4).

Таким образом, анализ подсистемы «питатель → транспортер → измельчитель плодов» показывает, что качественные показатели работы данной системы функционально зависят от режимов ее работы, а также правильно выбранных параметров машины, значения которых должны быть согласованы между собой.

При изучении физико-механических размерных и массовых показателей плодов тыквы, свеклы и моркови установлено, что они имеют широкий размах изменчивости указанных характеристик, однако подчиняются общим закономерностям [25].

Наиболее отличительные физико-механические размерные и прочностные характеристики имеют плоды тыквы кормовой. Диаметр плодов тыквы изменяется от 160 до 460 мм, при следующих показателях: среднеарифметическое значение $\bar{\varnothing} = 294,4$ мм, среднее квадратичное отклонение $S = 55,15$, асимметрия $S_k = 0,29$, эксцесс $E_k = -0,132$, при коэффициенте вариации $v = 18,7\%$. Высота плодов тыквы колеблется в пределах 140 - 435 мм, средняя высота плодов $h_{ср\,мн} = 272,75$ мм, $S = 56,81$, $S_k = 0,14$, $E_k = -0,092$ и $v = 20,7\%$ [24].

Таблица 4.5

Циклограмма к обоснованию параметров и режимов работы машин в под-
системе «подача плодов → транспортирование → измельчение и вы-
грузка-гранулирование» в установившемся режиме [24]

Операция	I цикл t_y^1					II цикл t_y^2					III цикл t_y^3				
	п	3	3	2	1	п	3	3	2	1	n+1	n+2	n+3	n+...	n+m
Подача плодов транспортном питателя	$t_{пт}^1$					$t_{пт}^2$					$t_{пт}^3$				
Перегрузка плодов на приемный транспортёр	$t_{пт}^3$										$t_{птр}^2$				
Транспортиро- вание плодов на измельче- ние и гранули- рование											2	3	...	n	n+1
1-я группа плодов											3	...	n	n+1	n+2
											...	n	n+1	n+2	n+3
											n	n+1	n+2	n+3	n+...
Дозированная подача зерна в измельчитель											1	2	3	...	n
Выгрузка композиции из измельчителя						$t_{птр}^1$									
2-я группа плодов															

Коэффициент формы – k_ϕ варьирует от 0,91 - 1,63, при этом
среднее значение составило $k_\phi = 1,27$, $S = 0,153$, $Sk = 0,14$,

$E_k = -0,341$ и $v = 18,7\%$, что необходимо учитывать при проектировании линии предложенного типа.

При этом, значение предела прочности при сжатии составляет 10-25 МПа, а удельное сопротивление резанию 2,3 - 35 кН/м. В процессе изучения подачи плодов тыквы обоснована высота установки ограничителей подачи плодов – h_i , установленных поярусно над подающим транспортером питателя, а также зависимость скорости подающего транспортера v_{mnp} питателя от характерных размеров плодов тыквы. При этом, высота h_i между полотном подающего транспортера и первым ограничителем (рис. 5.4) должна быть не менее 460 мм.

Высота размещения второго ограничителя должна составлять $h_2 = h_1 + 150$ мм и третьего $h_3 = h_2 + 150$ мм. Расстояние между поярусно расположенными ограничителями принимается в пределах минимального диаметра плода $h_2 = h_3 = 70$ мм из условия, обеспечивающего возможность поярусного сдвига плодов относительно друг друга [24].

На процессы измельчения плодов тыквы и получения бинарной композиции тыква+ зерно оказывают существенное влияние следующие факторы:

n – частота вращения смешивающе-выгрузных лопастей, мин^{-1} ; Δ – зазор между диском и стенкой бункера, мм; h – высота вылета ножа над диском, мм; k – число выгрузных лопастей, шт. [24].

Оптимальные значения параметров предложенного измельчителя равны: $n = 2041 \text{ мин}^{-1}$; $\Delta = 57,9$ мм; $h = 20$ мм; $k = 2$.

Параметры мобильного питателя определяются по формулам – раздел 2.4.

Параметры пресса определяются по полученным формулам – раздел 2.6.

Таким образом, перспективным направлением в технологии механизированного кормления животных и птицы является получение корнеплодно-зерновых композиций в их гранулированной форме с использованием питателя условно шарообразных плодов, измельчителя-смесителя дискового типа, а также пресс-гранулятора, содержащего измельчающе-прессующий узел.

Полученные в результате исследований данные, а также экономико-математическая модель позволили оценить эффективность предлагаемых организационно-зоотехнических, технологических и технических решений на стадии проектирования процесса производства животноводческой и птицеводческой продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований обоснована возможность и целесообразность создания гранулированно-брикетированных кормовых продуктов с использованием тыквенно-зерновых композиций.

Разработана экономико-математическая модель оценки системы механизированного кормления животных и птицы, позволяющая на стадии проектирования данной системы объективно осуществлять выбор технологических и технических решений, а также компоновать с учетом условий производства технологические линии с высоким уровнем механизации на малых фермах животноводческого и птицеводческого направлений.

Предложены инновационные технические средства в виде стационарных и мобильных питателей тыквенного компонента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.П. Маркова, Ю.П. Грановский. - М.: Наука, 1976. - 280 с.
- 2 Алейникова, Л.Д. Основы кормопроизводства / Л.Д. Алейникова, Ю.С. Козлов. - М.: Агропромиздат, 1988. - 191 с.
- 3 Алешкин В.Р. Механизация животноводства / В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. - М.: Агропромиздат, 1985.
- 4 Алябьев, Е.В. Приготовление, хранение и раздача кормов на животноводческих фермах / Алябьев Е.В. [и др.]. - М.: Колос, 1977. - 315 с.
- 5 Андреев, П.А. На промышленную основу // Техника в сельском хозяйстве. - 1981. - № 11. - С. 3-5.
- 6 Астахов, А.С. Краткий справочник по машинам и оборудованию для животноводческих ферм / А.С. Астахов, А.В. Еленев. - М.: Колос, 1977. - 120 с.
- 7 А.С. 1607741 (СССР). Устройство для измельчения бахчевых и корнеклубнеплодов / С.М. Доценко, Ю.Н. Нагорный, Я.А. Осипов. - Оpubл. 1990, БИ № 43.
- 8 А.С. 133291 (СССР). Механическая шнековая терка / В.П. Мигалин. - Оpubл. 1960, БИ № 21.
- 9 А.С. 1496701 (СССР). Измельчитель корнеклубнеплодов. /В.Г. Фарносов, А.В. Полтавец, В.В. Сухоруков и А.А. Ляшенко. - Оpubл. 1989, БИ № 28.
- 10 А.С. 1009330 (СССР). Рабочий орган измельчителя корнеклубнеплодов / С.В. Кравчук. - Оpubл. 1983, БИ № 13.
- 11 А.С. 793473 (СССР). Измельчитель кормов / В.П. Глухих. - Оpubл. 1981, БИ № 1.
- 12 А.С. 976893 (СССР). Измельчитель кормов /Ю.Ф. Новиков, Ю. А. Чурсинов, В.А. Ткаченко и В.Т. Гриценко. - Оpubл. 1982, БИ № 44.
- 13 А.С. 677722 СССР Измельчитель-смеситель кормов /С. И. Назаров, В. И. Передня, В. А. Дабко, - Оpubл. 1979, БИ № 29.
- 14 А.С. 1204259 СССР Устройство для измельчения уплотненного пластического материала /З. С. Паланар. - Оpubл. 1986, БИ № 2.
- 15 А.С. 1242049 СССР Устройство для измельчения корнеклубнеплодов /П. В. Гончаренко, П. В, Шилов, В. И. Передня и др. -

Опубл. 1986, БИ № 25.

16 А.С. 1232178 СССР Измельчитель кормов / В. Т. Фартуиг-ный, Р. В. Зорин, А. Д. Бугров. - Опубл. 1986, БИ № 19.

17 А.С. 1618333 СССР Измельчитель сочных кормов / О.М. Доценко, Я. А. Осипов. - Опубл. 1991, БИ № 1.

18 А.С. 1697786 СССР Измельчитель-смеситель кормов / С. М. Доценко, Ю. Н. Нагорный, Я. А. Осипов. - Опубл. 1993, БИ № 8.

19 А.С. 2124283 Измельчитель корнеклубнеплодов и тыквы / С. М. Доценко. - Опубл. 1997, БИ № 1.

20 А.С. 869669 СССР Измельчитель материалов / А. И. Бочкарев, Э. А. Цебоев. - Опубл. 1981, БИ № 13.

21 А.С. 1053781 (СССР). Устройство для резки корне-клубне-плодов / В. А. Сусцев и А.Б. Русаков. - Опубл. 1983, БИ № 42.

22 А.С. 1195948 (СССР). Измельчитель корнеплодов и бахчевых / В.С. Горюшинский, В.А. Богатов и Е.М. Клычев. - Опубл. 1985, БИ № 45.

23 А.С. 1371611 (СССР). Измельчитель корнеплодов и бахчевых / В.А. Богатов, В.С. Горюшинский, Е.И. Зотов, В. И. Лазарев. - Опубл. 1988, БИ № 5.

24 Бурмага А.В. Совершенствование процессов и средств механизации кормления крупного рогатого скота полнорационными кормовыми смесями с использованием тыквы: монография / А. В. Бурмага, С. М. Доценко. - Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2012. - 228 с.

25 Бурмага А. В. Повышение эффективности функционирования производственных процессов приготовления и раздачи смесей в системе механизированного кормления крупного рогатого скота: автореф. дисс. ... докт. техн. наук / А.В. Бурмага; Дальневост. гос. аграр. ун-т. - Благовещенск, 2014. - 48 с.

26 Бурмага, А.В. Рекомендации по разработке и использованию технологии приготовления полнорационных кормовых смесей с использованием плодов тыквы / А.В. Бурмага, С.М. Доценко. - Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2012. - 26 с.

27 Бурмага, А.В. Совершенствование рабочего процесса и обоснование параметров измельчителя плодов тыквы / А.В. Бурмага, С.М. Доценко // Вестник КрасГАУ. - 2012. - № 1. - С. 153-157.

28 Бурмага, А.В. Размерные характеристики тыквы / С.М. Доценко, А.В. Бурмага, Е.В. Сохимо // Сборник науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 1996. - С. 24-27.

29 Вагин Б.И. Практикум по механизации животноводческих ферм / Б.И. Вагин, В.М. Побединский. – Л.: Колос, 1983. – 239 с.

30 Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 198 с.

31 Власов Н.С. Методика экономической оценки сельскохозяйственной техники / Н.С. Власов. – М.: Колос, 1979. – 399 с.

32 Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора / Р.И. Гжиров. – Л.: Машиностроение, 1983. – 464 с.

33 Горюшинский В.С. Классификация измельчителей корнеклубнеплодов / В.С. Горюшинский // Механизация заготовки, приготовления и раздача кормов: сб. научн. работ. – Саратов, 1982. – С. 95-99.

34 Горюшинский В.С. Теоретические исследования процесса резания корнеклубнеплодов клиновидными ножами / В.С. Горюшинский // Механизация заготовки, приготовления и раздачи кормов: сб. научн. работ. – Саратов, 1983. – С. 24-33.

35 Горячкин В.П. Собрание сочинений, т. 3 / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1968.

36 Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. – Изд. 5-е, перераб. и доп. / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1977. – 500 с.

37 Дектерев, Г.П. Справочник по машинам и оборудованию для животноводства. – Изд. 12-е доп. / Г.П. Дектерев. – М.: Агропромиздат, 1986. – 224 с.

38 Денисов, А.М. Методика лабораторных испытаний кормоприготовительных машин / А.М. Денисов // Научные труды ВИЭСХ. – 1964. – Вып. 14. – С. 36-38.

39 Дмитриченко, А.П. Методы нормированного кормления сельскохозяйственных животных / А.П. Дмитриченко. – Л.: Колос, 1970. – 350 с.

40 Дмитриченко, А.П. Кормление сельскохозяйственных животных / А.П. Дмитриченко, П.Д. Пшеничный. – Л.: Колос, 1975. – 480 с.

41 Егорченков, М.И. Кормоцехи животноводческих ферм / М.И. Егорченков, Н.Г. Шамов. – М.: Колос, 1983. – 175 с.

42 Завалишин, Ф.С. Методы исследования и механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, М.Г. Манцев. – М.: Колос, 1982. – 231 с.

43 Завражнов, А. И. Технологическое проектирование ферм и комплексов / А.И. Завражнов. – Алма-Ата: Кайнар, 1982-282 с.

44 Завражнов, А.И. Механизация приготовления и хранения кормов / А.И. Завражнов, Д.И. Николаев. - М.: Агропромиздат, 1990. - 336 с.

45 Земсков, В. И. Обоснование состава поточных технологических линий кормоцехов / В.И. Земсков, А.В. Алехин // Техника в сельском хозяйстве. - 1989. - № 4. - С. 23-24.

46 Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков. - М.: Машгиз, 1964. - 256 с.

47 Кирсанов, В. В. Механизация и автоматизация животноводства / В.В. Кирсанов [и др.] - М.: Академия, 2004. - 400 с.

48 Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные машины / Н.И. Кленин, И.Ф. Попов, В.А. Сакун. - М.: Колос, 1970. - 234 с.

49 Кононов, Б.В. Результаты исследования процесса измельчения кормов барабаном с продольными и поперечными ножами / Б.В. Кононов, Л.Н. Ромазанов // Механизация работ в животноводстве: сб. науч. работ. - Саратов, 1975. - Вып. 43. - С. 3-11.

50 Колода, В.Д. Результаты испытания измельчителей кормов / В.Д. Колода, В.А. Ясенецкий // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1972. - № 1. - С. 32-34.

51 Красников, В.Б. Краткий справочник по физико-механическим свойствам сельскохозяйственных грузов / В.Б. Красников. - Саратов, 1975. - 81 с.

52 Краюхин, Г.А. Экономическая эффективность изобретений и рационализаторских предложений / Г.А. Краюхин. - Л.: Лениздат, 1983. - 129 с.

53 Кукта, Г.М. Технология переработки и приготовления кормов / Г.М. Кукта. - М.: Агропромиздат, 1978. - 239 с.

54 Кукта, Г.М. Испытания сельскохозяйственных машин / Г.М. Кукта. - М.: Машиностроение, 1964. - 15 с.

55 Кукта, Г.М. Методика определения технологических и эксплуатационных показателей машин и оборудования для приготовления кормов / Г.М. Кукта, И.И. Губко, В.В. Коврига // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - Киев, 1973. - С. 43-45.

56 Кукта, Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов. - М.: Агропромиздат, 1987. - 140 с.

57 Кулаковский, И.В. Машины и оборудование для приготовления кормов: справочник. Ч.1. Ч. 2 / И.В. Кулаковский [и др.]. - М.: Росагропромиздат, 1988.

58 Кутлембетов, А. А. Комплексная механизация ферм по выращиванию и откорму молодняка КРС / А.А. Кутлембетов. - М.: Колос, 1982. - 360 с.

59 Крылов В.Н. Полноценное кормление коров / В.Н. Крылов, Л.И. Зинченко, Л.И. Толстов. - Л.: Колос, 1987. - 160 с.

60 Лебедев, А. Т. Тыквенные культуры / А.Т. Лебедев. - М. : Россельхозиздат, 1987. - 78 с.

61 Машины и оборудование для подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию: методические рекомендации / РАСХН. Сиб. отделение. ДальНИПТИМЭСХ. - Новосибирск, 1991. - 56 с.

62 Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С.В. Мельников. - Л.: Колос, 1978. - 560 с.

63 Мельников, С.В. Поточные линии в животноводстве и кормопроизводстве: учебное пособие для слушателей ФПК / С.В. Мельников. - Л.: СХИ, 1981. - 46 с.

64 Мельников, С. В. Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов / С.В. Мельников. - Л.: Агропромиздат, 1985. - 640 с.

65 Методика оценки эффективности использования кормоцехов. - Тамбов, 1985. - 58 с.

66 Методика экономической оценки технологий и машин в сельском хозяйстве / В.И. Драгайцев, Н.М. Морозов [и др.]. - М, 2010. - 147 с.

67 Методические рекомендации по определению общего экономического эффекта от использования результатов НИР и ОКР в АПК, РАСХН, М, 2007. - 31 с.

68 Миончинский П. Н. Производство комбикормов / П.Н. Миончинский. - М. ВО Агропромиздат, 1991. - 208 с.

69 Митков, В.В. Технологии переработки сои / В.В. Митков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1993. - № 8. - С. 16-18.

70 Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. - М.: Физматгиз, 1961. - 129 с.

71 Момот, В.В. Механизация процессов хранения и переработки плодов и овощей / В.В. Момот. - М., 1988. - 271 с.

72 Монари, С. Справочник по использованию в кормлении животных соевых бобов / С.С. Монари. - Вашингтон, 1994. - 64 с.

73 Морозова, Е. И. Повышение эффективности приготовления соевых бобовых кормов путем оптимизации параметров ленточного пресса / Е.И. Морозова. - СПб.; Павловск, 2001. - 16 с.

74 Налимов, В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. - М.: Наука, 1967. - 207 с.

75 Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. - М.:

Наука, 1965. - 360 с.

76 Новая система протеинового питания молочных кормов. - Боровск, 1989. - 105 с.

77 Новая техника для агропромышленного комплекса. - М.: Инфрамагротех, 1994. - 316 с.

78 Орлова, И. В. Экономико-математические методы и модели: Компьютерное моделирование. / И. В. Орлова, В. А. Полковников. - М.: Вузовский учебник, 2009. - 365 с.

79 О соковыделении при измельчении корнеплодов // Творческий поиск молодых и научно-технический прогресс: тезисы докладов. - Куйбышев, 1987. - С. 56-57.

80 Пат. 2523498 РФ. Способ приготовления кормовых смесей / С.М. Доценко, А.В. Бурмага. Л.Г. Крючкова. - Оpubл. 20.07.2014, Бюл. № 20.

81 Пат. 2514309 РФ. Способ приготовления белково-витаминного кормового продукта / С.М. Доценко, С.Н. Воякин. - Оpubл. 27.04.2014., Бюл. №12.

82 Пат. 2486761 РФ. Способ приготовления кормового продукта / С.М. Доценко, Л.Г. Крючкова. - Оpubл. 10.07.2013. Бюл. № 19.

83 Пат. 2523498 РФ. Способ приготовления кормовых смесей. / С.М. Доценко, А.В. Бурмага, Л.Г. Крючкова. - Оpubл. 20.07.2014, БИ № 20.

84 Пелеев, А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности / А.И. Пелеев. - М., 1971. - 240 с

85 Передня, В.И. Механизация приготовления кормосмесей / В.И. Передня. - Минск: Урожай 1982. - 80 с.

86 Разработка и расчет поточно-технологической линии приготовления и раздачи кормовых смесей крупному рогатому скоту. - Новосибирск, 1990. - С. 35.

87 Ревенко, И.И. Оценка качества работы машин для измельчения кормов / И.И. Ревенко [и др.] // Сб. научн. трудов ВНИИМЖ. - М., 1981. - С. 215-230.

88 Резник, Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н.Е. Резник. - М.: Россельхозиздат, 1975. - 230 с.

89 Резник, Е.И. Механизация приготовления кормов на животноводческих фермах и комплексах / Е.И. Резник, Е.В. Алабьев. - М.: ВНИТЭИСХ, 1983. - 102 с.

90 Резник, Е.И. Малым фермам - современную кормоприготовительную технику / Е.И. Резник // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1986. - № 8. - С. 28-29.

91 Резник, Е.И. Универсальная техника для обработки кормов / Е.И. Резник // Кормопроизводство. - 1985. - № 5. - С. 40-44.

92 Резник, Е.И. Выбор машин и оборудования для стационарных кормоцехов / Е.И. Резник // Тракторы и сельхозмашины. - №5. - С. 24-25.

93 Рекомендации по эффективному использованию машин и оборудования в животноводстве / И.П. Насыпайко, А.А. Денисов, А.П. Тишанинов. - Тамбов, 1986. - 36 с.

94 Ромазанов, Л.Н. Факторы, влияющие на качественные показатели при мелком измельчении сочных кормов / Л.Н. Ромазанов // Сборник научных трудов. - Саратов, 1983. - С. 60-69.

95 Ромазанов, Л. Н. Исследование и совершенствование конструкций рабочих органов для измельчения сочных кормов / Л.Н. Ромазанов. - Саратов, 1974. - 24 с.

96 Сохимо, Е.В. Совершенствование рабочего процесса и обоснование параметров измельчителя углеводистых кормов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Е.В. Сохимо. - Благовещенск, 1997. - 24 с.

97 Справочник по кормлению сельскохозяйственных животных / А.Л. Венедиктов, П.И. Викторов, А.П. Калашников [и др.]. - М.: Россельхозиздат, 1989. - 236 с.

98 Справочник. Комбикорма, кормовые добавки и ЗУМ для животных / под ред. В.А. Крохиной. - М.: ВО Агропромиздат, 1990. - 304 с.

99 Сыроватка, В.И. Механизация приготовления кормов / В.И. Сыроватка, А.В. Демин, А.Х. Джалилов. - М.: Агропромиздат, 1985. - 318 с.

100 Титенок, А.В. Повышение эффективности Процесса Измельчения корнеплодов путем применения пакетов режущих элементов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / А.В. Титенок. - Саратов, 1998. - 24 с.

101 Тихонов, Н.И. Определение силы резания ножом / Н.И. Тихонов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1983. - № 8. - С. 24-27.

102 Тареев, Г.И. Классификация и анализ измельчения кормов (теория и расчет) / Г.И. Тареев. - Саратов, 1976. - 56 с.

103 Уланов, И.А. Машины для измельчения кормов (теория и расчет) / И.А. Уланов. - Саратов, 1976. - 56 с.

104 Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления / Г.М. Фихтенгольц. - М.: Наука, 1966. - Т. 1. - 522 с.

- 105 Фомичев, Ю.П. Откорм скота на ферме: справочник / Ю.П. Фомичев, Л.А. Сергеев, В.Е. Матусевич. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 272 с.
- 106 Хартман, К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер. – М.: Мир, 1977. – 552 с.
- 107 Чабб, Л. Антипитательные факторы в кормлении животных/ Л. Чабб // Новейшие достижения в исследовании питания животных. – 1985. – Вып. 4. – С. 27-48.
- 108 Чайка, И. Технологические способы повышения содержания белка в кормах/ И. Чайка // Производство и использование растительного белка. – Краснодар, 1984. – 295 с.
- 109 Щиголев, Б.М. Математическая обработка наблюдений / Б.М. Щиголев. – М.: Наука, 1969. – 344 с.
- 110 Элли, А.Я. Анализ, классификация и оценка существующей системы машин для измельчения корнеклубнеплодов / А.Я. Элли. – Ульяновск, 1977. – С. 75-80.
- 111 Яблонский, А.А. Курс теоретической механики. Ч.2. / А.А. Яблонский. – М., 1977. – 360 с.
- 112 Auswertug von Fufferanalysen/ Galler J // Prakt. Landtechn. – 1997. – 45, № 2. – С. 21-22.
- 113 Verfahren zum Reinigen und Shnitzeln von Ruben od. Dgl. Sowie Vjrrichtung zuf Durchfun rung des Verfanhkens: Заявка 0436755 ЕПВ, МКИ А01К51001 Ansink J.C.;De Dissel Beher B.V. – n 90100353.
- 114 Design, development and evaluation of a cassava chipper/ Balasubramanian V.M., Sreenara yanan V.V. Visvanafhan R., Balasubramanian D.// Arg., Mech. Asia, Afr. And Lat. Amer. – 1993. – 24. № 1. – с. 60-64.
- 115 Maschine zum Transportieren ind Zerkleinern von Ernteguf, insbesondere von Ruben, Obst, Kartoffeln oder ahnlichen Produkten: ПАТ. 677580 Швейцария, MKU A 01F29/02, A 01 F25/18/ Burkaf Hans Rain – № 3191/88.

ПРИЛОЖЕНИЯ



Рис. 1П. Общий вид тыквы сорта «Стофунтовая»



Рис. 2П. Общий вид исходного тыквенного сырья



Рис. 3П. Общий вид зернового
и измельченного тыквенного сырья



Рис. 4П. Общий вид исходного сырья к определению его размерных характеристик



Рис. 5П. К обоснованию способа получения
соево-тыквенной композиции



а)



б)



в)



г)

Рис. 6П. Общий вид композиций: а) кукурузно-тыквенной; б) пшенично-тыквенной; в) кукурузно-тыквенной измельченной; г) пшенично-тыквенной измельченной



а)



б)

Рис. 7П. Общий вид влажного гранулята:
а) кукурузно-тыквенного;
б) пшенично-тыквенного



Рис. 8П. Общий вид питателя тыквы в линии
её подачи и измельчения



а)

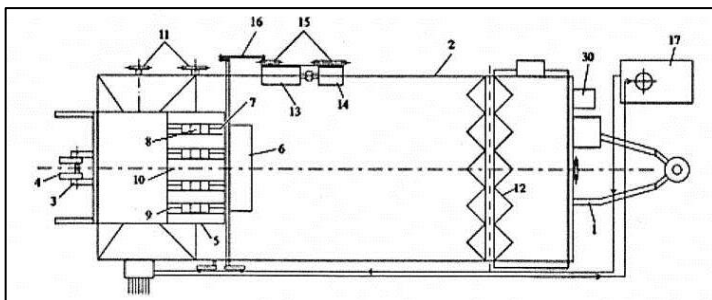


б)

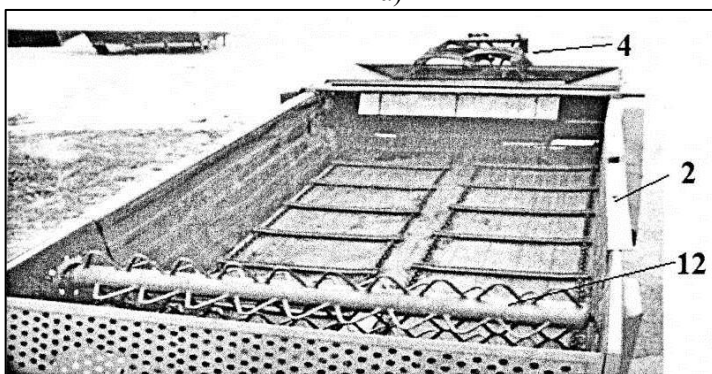
Рис. 9П. Общий вид мобильного питателя

а) вид сзади;

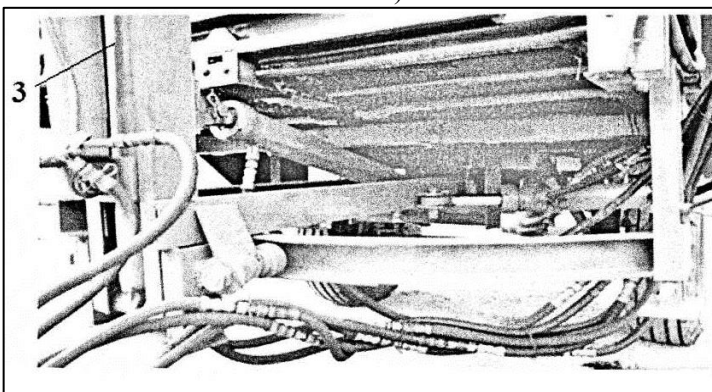
б) вид сбоку



а)

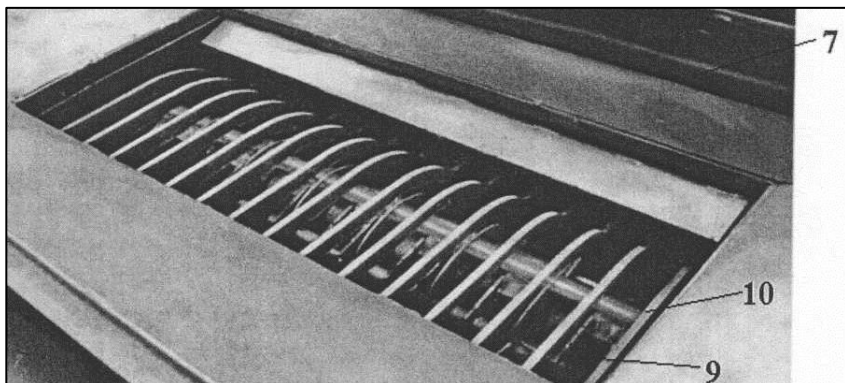


б)

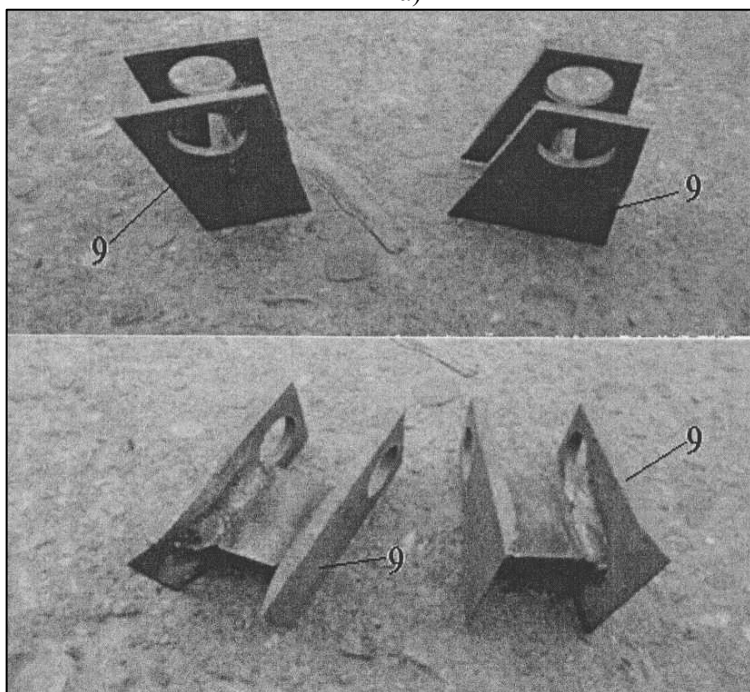


в)

Рис. 10П. Схема и общий вид экспериментальной установки
а, б) вид сверху; в) вид со стороны гидроманипулятора



а)



б)

Рис. 11П. Общий вид экспериментального измельчающе-распределяющего устройства (а) и молотков (б)

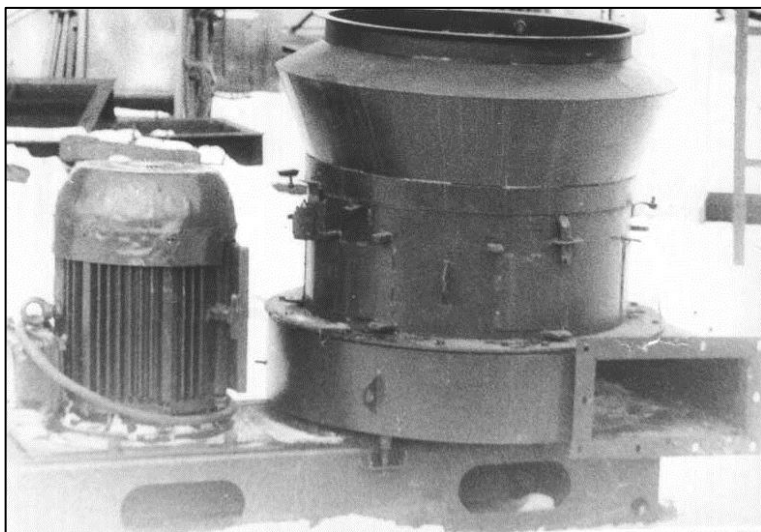


Рис. 12П. Общий вид экспериментальной установки по изучению процесса измельчения плодов тыквы

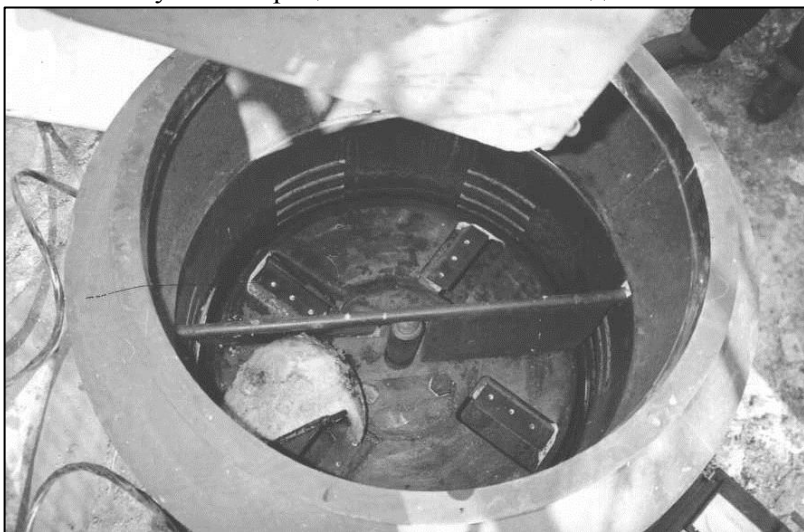


Рис. 13П. Общий вид рабочей камеры измельчителя-смесителя с упором



Рис. 14П. Общий вид экспериментального оборудования по изучению процесса получения гранулированно-брикетированных продуктов



Рис. 15П. Общий вид оборудования с различными типами формующего сопла



Рис.16П. Общий вид установки по изучению процесса получения полых брикетов



а)



б)

Рис. 17П. Общий вид реле времени, прибора для определения затрат энергии (а) и экспериментального комплекса (б)



Рис. 18П. Общий вид экспериментального комплекса по изучению процесса получения тыквенно-зернового гранулята



Рис. 19П. Общий вид оборудования для производства тыквенно-зернового гранулята



Рис. 20П. Общий вид прессы для получения гранулированно-брикетированных продуктов

Научное издание

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ
ПРИГОТОВЛЕНИЯ ФОРМОВАННЫХ КОРМОВЫХ
ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ТЫКВЕННО-ЗЕРНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Монография

*Доценко Сергей Михайлович,
Бурмага Андрей Владимирович,
Школьников Павел Николаевич,
Винокуров Сергей Александрович*

*Редактор А.И. Каземова
Компьютерная верстка С.В. Ковалёвой*

Лицензия ЛР 020427 от 25.04.1997 г.

Подписано к печати 08.12.2017 г. Формат 60×90/16.

Уч.-изд.л. – 15.7. Усл.-п.л. – 22.0. Тираж 500 экз. Заказ 413.

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии издательства
Дальневосточного государственного аграрного университета
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86