

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.В. Бурмага, С.М. Доценко

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И СРЕДСТВ
МЕХАНИЗАЦИИ КОРМЛЕНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА
ПОЛНОРАЦИОННЫМИ КОРМОВЫМИ СМЕСЯМИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЫКВЫ

Монография

Благовещенск
Издательство ДальГАУ
2012

УДК 631.36

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 ; Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2012. – 228 с. – Библиогр.: с. 197-225.

В монографии приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, позволяющие проектировать технологические процессы механизированного кормления КРС полнорационными кормовыми смесями с использованием плодов тыквы.

Рецензенты:

В.В. Самуйло, д-р техн. наук, профессор;

С.А. Иванов, д-р техн. наук

Рекомендовано к печати научно-техническим советом Дальневосточного государственного аграрного университета (Протокол №19 от 06 июня 2012 года).

© Бурмага А.В., Доценко С.М., 2012

ISBN 978-5-9642-0177-9

© Издательство ДальГАУ, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Полноценное кормление животных предусматривает выдачу полнорационных многокомпонентных кормовых смесей в соответствии с их физиологическими потребностями. Исследования ученых и практика показывают, что повышение продуктивности животных достигается в том случае, когда кормовой рацион сбалансирован по питательным веществам, а количество корма каждому животному выдается в строгом соответствии с зоотехнической нормой.

Наибольшее значение в питании жвачных животных имеют сахара и крахмал, связанные с регулированием обмена веществ в организме животных.

Недостаток легкопереваримых углеводов в рационах является одной из причин яловости, сокращения срока хозяйственного использования коров, снижения степени использования питательных веществ, приводит к нарушениям углеводно-жирового обмена, к ацидозу и снижению щелочного резерва крови.

Одним из важнейших источников сахаров являются плоды тыквы. Они отличаются хорошими вкусовыми качествами, охотно поедаются животными, обладают диетическими свойствами и представляют особую кормовую ценность для крупного рогатого скота.

При соблюдении соответствующей агротехники эта культура может давать с единицы площади больше питательных веществ, чем травы и зерновые (кроме кукурузы). Наиболее часто в кормовом рационе используются, тыква, кабачки, арбуз кормовой и др. Плоды тыквы и другие бахчевые из-за своих больших размеров и специфической формы практически не могут быть подвергнуты механической обработке с помощью серийно выпускаемых машин и, как правило, скармливаются животным в неподготовленном виде и в малых объемах.

Все это, в конечном итоге, снижает эффективность их использования в кормлении животных.

Механизация процессов приготовления и раздачи полнорационных кормовых смесей (ПРКС) крупному рогатому скоту (КРС) на фермах и комплексах осуществляется с помощью разнообразных по принципу действия и конструкции машин и оборудования. При

этом раздача кормов, являясь заключительным звеном, оказывает существенное влияние на получение продукции от животных. По трудоемкости она составляет 40% общих трудовых затрат по уходу за животными [173].

Однако применяемые в настоящее время машины и оборудование, входящие в состав поточно-технологических линий (ПТЛ) приготовления и раздачи кормовых смесей не позволяют готовить их с высокой однородностью и выдавать в соответствии с зоотехнической нормой. По данным исследований однородность смеси, приготавливаемой с помощью оборудования типа КОРК-15, КЦК-5 и других составляет 70–75%. Весь процесс приготовления кормосмесей имеет сложную структуру и, вследствие этого, низкую надежность функционирования. Их применение экономически оправдано на фермах средних и больших размеров.

Раздача кормов на животноводческих фермах и комплексах в настоящее время осуществляется в основном мобильными бункерными кормораздатчиками типа КТУ-10А и РММ-Ф-6.

Однако более перспективным является использование раздатчиков-смесителей, совмещающих процессы смешивания и дозированной выдачи кормов в одной машине, наделенной специальным устройством в ее бункере, которое, кроме смешивания, обеспечивает дозированную выгрузку кормов в кормушки животных. Применение их в сравнении с поточно-технологическими линиями приготовления и раздачи кормов обеспечивает снижение капитальных вложений, затрат труда, а также эксплуатационных расходов [149].

Исследованиями установлено, что однородность смеси, приготавливаемой с помощью раздатчиков-смесителей не отвечает зоотехническим требованиям, а погрешность дозирования раздатчиками составляет 20–25% и более [133].

В связи с этим настоящая монография посвящена решению одной из важнейших проблем в животноводстве – повышению эффективности процессов и средств механизации кормления на фермах крупного рогатого скота.

Глава 1 СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМЕ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ВЫДАЧИ ПОЛНОРАЦИОННЫХ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ КРУПНОМУ РОГАТОМУ СКОТУ. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Эффективность кормления жвачных животных полнорационными кормовыми смесями

Исследованиями ученых и передовой производственной практикой установлено, что полнорационные кормосмеси удовлетворяют физиологическим потребностям крупного рогатого скота, способствуют усилению пищеварения и повышают продуктивность животных за счет сбалансированности кормов по питательным веществам [61, 62, 80, 104, 144, 153, 162, 182, 195, 204, 246, 251, 258, 259, 272]. При этом в кормовых смесях можно скармливать 1,5–2 раза больше малоценных грубых кормов с величиной резки от 8 до 10 мм, чем при раздельной раздаче, так как в этом случае животные не могут выбрать наиболее "вкусный" корм.

Высокой эффективностью обладают кормовые смеси, приготавливаемые на основе стебельных кормов и содержащие такой углеводистый компонент, как тыква. Включение в кормовую смесь тыквы приводит к значительному усилению пищеварения в кишечнике, к повышению поедаемости кормов и переваримости питательных веществ. В результате увеличивается количество питательных веществ, поступающих в кровь [269].

Правильное соотношение грубых и углеводистых кормов позволяет равномернее нагружать пищеварительный тракт и полнее использовать пищеварительные способности животных. В Гаровском совхозе 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%.

В соответствии с зоотехническими требованиями при скарм-

ливании тыквы свежей, её очищают от посторонних включений так, чтобы загрязненность не превышала 2%, а измельчают до частиц размером 10–15 мм для КРС. Рекомендуется плоды тыквы измельчать непосредственно перед скармливанием, так как измельченная масса, окисляясь, быстро темнеет, теряет сок и покрывается плесенью. Эти операции, как правило, выполняют в технологических линиях кормоцехов.

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 скармливать 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. Это их смешивание и скармливание в смеси, запаривание соевой соломы и зерновых концентрированных кормов, что значительно снижает долю концентрированных зерновых кормов в рационе молочного скота.

Грубые и сочные корма хорошего качества не рекомендуется подвергать особой обработке, их лучше всего скармливать в натуральном виде. Однако экспериментальные исследования и анализ практической деятельности показывают, что эти корма даже отличного качества целесообразнее скармливать в смеси. Кормосмеси готовят с учетом физиологического состояния животных и 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%, тыква или корнеклубнеплоды – 8%, зерновые концентрированные корма – 30%. Для получения 1 т. кормосмеси берут 100 кг сена, 15 кг травяной муки, 300 кг силоса и 300 кг сенажа, 200 кг тыквы (корнеклубнеплодов) и 85 кг зерновых концентрированных кормов. В 1

кг такой смеси содержится 0,25 корм.ед. и 27 г переваримого протеина, 30 г сахара, и 10–12 мг каротина. Из минеральных подкормок в данную смесь вводят трикальцийфосфат в количестве 2–2,5 кг на тонну смеси и 2–2,5 кг поваренной соли.

Скармливание полнорационных 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 скармливаемых животными отдельно. Это подтверждается и результатами исследований при скармливании кормов дойным коровам в смеси и отдельно. Одна группа животных в течение 90 дней получала сено, силос, сенаж, тыкву и корнеклубнеплоды и комбикорм в отдельном виде, вторая эти же корма и в таком же количестве, но в смеси. В среднем каждое животное опытной и контрольной групп с рационом получало в сутки 13,5 корм.ед. и 1350 г переваримого протеина. Показания среднесуточного удоя молока 4%-ной жирности за 90 дней опыта у контрольных животных составил 13,5 кг, а у опытных – 13,8.

При одинаковом количестве съеденного корма, идентичной структуры рационов, но при даче кормов животным в смеси, их продуктивность не только не снижалась, а наоборот, увеличилась. Это было обусловлено в основном тем, что коровы, получавшие корм в смеси, сухое и органическое вещество рациона использовали выше на 8%, протеин на 5%, клетчатку – на 3,6%. При этом в молоке увеличивалось содержание белка, содержание жира практически не изменялось, но тенденция к его увеличению имела.

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 отдельном виде - соответственно 1,2 и 98.

Для кормления сухостойных коров и нетелей в состав кормосмесей включают 40% сена хорошего качества, 15% силоса и сенажа, 10 % травяной муки, 5% тыквы или корнеклубнеплодов и 30% концентрированных зерновых кормов. Для приготовления 1 т такой смеси необходимо 320 кг сена, 60 кг травяной муки, 150 кг силоса, 180 кг сенажа, 180 кг корне-

клубнеплодов и 100 кг зерновых концентрированных кормов. Согласно фактической питательности кормов в 1 кг такой смеси содержится 0,33 корм.ед., 36 г переваримого протеина, 33 г сахара и 11–13 мг каротина. Если исходить из того, что сухостойная корова в сутки должна получать 8,5–9,2 корм.ед., то такой смеси ей можно скармливать 28–30 кг в сутки. В качестве минеральной подкормки на 1 т вносят 2–2,5 кг трикальцийфосфата и 2–2,5 кг поваренной соли.

Плоды тыквы 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 тыквы в объеме равном потребностям животных в них в течение всего зимнего стойлового периода не является реальной задачей ввиду больших затрат.

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.

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 поджелудки жвачных, а также используются для синтеза бактериального белка.

В кормах углеводы встречаются в различных формах. В зоо-

технии все углеводы делят на две большие группы: клетчатку и безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ).

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.

По количеству клетчатки корма резко различаются. Известно, что больше всего ее в соломе - до 40-45%, в сене - до 20-30%. Мало клетчатки в зерне - от 2 до 8% и очень мало в корнеклубнеплодах - от 0,4 до 2%. Корма, богатые клетчаткой, имеют более низкую питательность.

Клетчатка, кроме основного источника уксусной кислоты в питании крупного рогатого скота, играет и другую значительную роль. Она создает необходимый объем рациона, обладает способностью набухать в преджелудках жвачных, и при поступлении химуса в сычуг содержимое имеет пористый характер (как губка), что обеспечивает большую доступность ферментов желудочно-кишечных соков на питательные вещества. Клетчатка действует слегка послабляюще и способствует удалению непереваримых остатков корма из желудочно-кишечного тракта.

Учитывая большую емкость желудочно-кишечного тракта, до недавнего времени клетчатку в рационе крупного рогатого скота не нормировали. Однако возросшая продуктивность скота, а также специфические условия содержания и кормления животных в специализированных хозяйствах и на промышленных комплексах вызвали необходимость нормировать клетчатку в рационах молодняка крупного рогатого скота, а также высокопродуктивных коров.

Для обеспечения нормального переваривания питательных веществ кормов в преджелудках, где нет пищеварительных желез, важно создать оптимальные условия, одним из которых является правильное сахаропротеиновое отношение. Исследования показали, что наилучшее сахаропротеиновое отношение в рационах крупного рогатого скота должно 0,8-1,5 - 1, то есть когда на 100 г. переваримого протеина имеется 80 - 150 г сахара. При таком отношении сахара к переваримому протеину создаются благоприятные условия для размножения микрофлоры в преджелудках, лучше используются азот корма, кальций, фосфор, летучие жирные кислоты, каротин,

а также улучшается синтез витаминов группы В и аминокислот. Содержание сырой клетчатки от сухого вещества рациона при удое 4000 кг должно составлять 20-25%, сахара - 100 г на 1 кг молока. При удое свыше 5000 кг содержание клетчатки снижается до 15-20%, а количество сахара в рационе составляет 110 г на 1 кг молока. В рационе сухостойных коров (планируемый удой 3000—5000 кг) рекомендуется содержание клетчатки 25-28%, сахаро-протеиновое отношение —0,8:1,0, на 100 кг живой массы следует иметь 550—600 г клетчатки и 175 г сахара.

К БЭВ относятся все углеводы, за исключением клетчатки, сахара, крахмала, части геммицеллюлозы, органических кислот, глюкозиды и другие вещества. 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 сбрасываются до уксусной, пропионовой, масляной и других кислот. В тоже время, суточная потребность кормов в каротине составляет от 40 до 60 мг/к.ед. При этом плоды тыквы содержат 0,07 к.ед./кг, от 20 до 40 мг/кг каротина, который отсутствует в корнеклубнеплодах [59].

1.2 Существующие технологии приготовления и раздачи полнорационных кормовых смесей на фермах крупного рогатого скота и их анализ

В настоящее время на фермах и комплексах КРС нашли применение в основном три типа технологических линий приготовления и раздачи кормов. Первый заключается в выдаче животным необработанного корма одного вида и представляет собой наиболее простую в техническом смысле систему.

Второй тип представляет собой комплекс машин и оборудования (кормоцеха), предназначенных для приготовления полнорационных кормовых смесей животным.

Третий тип основан на применении раздатчиков-смесителей типа РСП-10 и АРС-10.

В настоящее время работами ученых и опытом специализированных ферм доказано, что наиболее полно требованиям производства отвечают поточные технологические линии [14, 280, 95, 96, 80, 86, 114, 133, 149, 154, 173, 385], представляющие собой совокупность машин, оборудования и животных в сочетании с инженерно-строительными и животноводческими помещениями, обеспечивающими поточно-непрерывное или цикличное выполнение заданного технологического процесса, то можно утверждать, что наиболее полно этим свойствам соответствуют второй и третий тип линий приготовления и раздачи кормов.

Система машин для комплексной механизации животноводства, разработанная в 1986-1995 годах [263] и широко распространенная в 2000-х годах Российской Федерации, выделяет две технологические схемы приготовления и раздачи кормосмесей для ферм и комплексов крупного рогатого скота:

- комплексы (комплекты) оборудования (цехи) для приготовления однородных влажных многокомпонентных кормосмесей на основе механической обработки и смешивания грубых, сочных, концентрированных кормов и минеральных добавок – КОРК-15, КЦК-5, сборное оборудование на базе агрегатов АПК-10А с раздачей преимущественно мобильными кормораздатчиками КТУ-10А, РММ-Ф-6;

- комплект оборудования с использованием раздатчиков-кормосмесителей порционного действия РСП-10, АРС-10.

В первой схеме наиболее широкое распространение получили комплекты оборудования КОРК-15, на предприятиях Украины изготовлена серия комплектов КЦК-5.

Производительность оборудования технологических линий КОРК-15 и КОРК-15А позволяют приготавливать влажные кормовые смеси с производительностью до 30 т/ч при установке смесителя типа С-30 [149].

Изучение опыта применения различных технологий и комплектов оборудования кормоцехов на фермах КРС показало, что во

многих из них чрезмерно усложнены технологические схемы подготовки кормов, а это приводит к повышению энергоемкости и металлоемкости процесса и снижению качества получаемых смесей [188].

Недостаточные объемы производства концентрированных кормов и нехватка надежных и высокопроизводительных машин вынуждают специалистов хозяйств вносить свои усовершенствования в серийную технику или создавать цехи и кормокухни по собственным индивидуальным проектам применительно к местным условиям [169]. Они позволяют более полно использовать имеющиеся кормовые ресурсы региона, однако приводят к увеличению в 1,5-2 раза капитальных затрат и прямых издержек на приготовление кормов, а также удорожанию себестоимости конечной продукции.

Создание кормоцехов требует значительных капитальных вложений на приобретение машин и оборудования, а также строительство зданий. Расчеты показывают, что при применении кормоцехов для измельчения и смешивания компонентов рациона увеличиваются приведенные затраты в 4-5 раз и металлоемкость в 2-3 раза по сравнению с отдельной их раздачей.

Важно также указать на недостаток кормоцехов с учетом того, что 90% продукции производится на фермах небольших размеров (400-800 голов КРС) [7] с низким уровнем механизации и высокими затратами ручного труда. В проектах кормоцехов и рекомендациях по механизации приготовления кормов не предусматривается высокоинтенсивное использование оборудования как важного фактора снижения издержек производства (табл. 1.1) [188].

Так, кормоцеха с комплектами оборудования КОРК-15 и КЦК-5у которых производительность на приготовлении кормосмеси, достигает 15 т/ч, оказывается не эффективно применять для малых ферм. Например, при двухразовом кормлении в сутки расчетная потребность фермы на 800 коров в кормах составит 36 т. Тогда суммарное время работы кормоцеха будет составлять 2,4 часа (2 раза по 1,2 часа). Они не окупаются в нормативный срок, а оборудование, рассчитанное для работы по непрерывному циклу, простаивает.

Таблица 1.1

Сравнительные технико-экономические показатели
процесса приготовления кормов [188]

Комплект оборудования кормоцеха	Производительность, т/ч	Капитальные вложения, рубли (цены 1987 г.)	Установленная мощность эл. оборудования, кВт	Затраты труда на 1 т смеси, чел./ч
КОРК-15	15	98178	112-131	1,1
КЦК-5	15	94833	102,5	1,1
АПК-10	10-12	26941	57,2	0,23
РСП-10	120	4275	29-36	0,069

Необходимо отметить низкую эффективность работы линии смешивания в кормоцехах типа КОРК. Применяемый измельчитель-смеситель ИСК-3 обладает невысокой надежностью, он не способен сглаживать потоки кормов за счет большой чувствительности к погрешности дозирования кормовых компонентов питателями, кроме того, корнеклубнеплоды, предварительно измельченные в ИКМ-5, повторно подвергаются измельчению в ИСК-3, что приводит к их переизмельчению.

Технологическая линия с раздатчиками-смесителями порционного действия РСП-10 (АРС-10) предусматривает лишь частичную обработку кормов в местах их хранения или кормоприготовительном отделении, а окончательное смешивание и сбалансирование – при транспортировании и раздаче.

В настоящее время на фермах КРС действует несколько вариантов ПТЛ с раздатчиками-смесителями:

–раздатчик-смеситель последовательно объезжает хранилище силоса, площадки для накопителя и измельчения грубых кормов, хранилище для комбикормов и тому подобное и поочередно загружается компонентами смеси;

–раздатчик-смеситель загружают в хранилище только основными компонентами (силосом и соломой), а остальными – в кормоприготовительном отделении;

–загрузка раздатчика-смесителя всеми компонентами производится в кормоцехе.

Анализ технико-экономических показателей различных вариантов операций погрузки и доставки кормов в кормоцех, приготовления и раздачи кормовых смесей при неодинаковых суточных

объемах при сравнении комплектов машин на базе КОРК-15 и раздатчика-смесителя РСП-10 при использовании на небольших фермах – молочной ферме на 400 голов и откормочной на 1000 голов – выявило эффективность раздатчика-смесителя вследствие его высокой производительности (по данным Кукты Г.М.-см. табл. 1.1).

Анализ работы ПТЛ приготовления и раздачи кормов на базе раздатчиков-смесителей показывает, что наряду с положительными сторонами, им присущи и недостатки, основными из которых являются:

- высокая чувствительность шнековых рабочих органов к степени измельчения корма, при длине резки кормов более 50 мм смешивающие шнеки образуют комки, которые забивают подающее устройство;

- несоответствие габаритных размеров раздатчиков-смесителей размерам въездных ворот животноводческих ферм, построенных по старым проектам;

- большая энергоемкость процесса смешивания и выгрузки за счет одновременной работы смешивающих шнеков в массе корма;

- отсутствие у большинства отечественных раздатчиков-смесителей встроенного взвешивающего устройства для точного дозирования компонентов;

- всего один типоразмер раздатчиков-смесителей;

- невозможность их использования на других работах и в летнее время (в отличие от КТУ-10).

Таким образом, анализ основных вариантов технологических линий приготовления и раздачи полнорационных кормовых смесей показывает, что в основных схемах главными элементами являются смеситель и мобильный бункерный кормораздатчик, причем применение в поточных линиях мобильных раздатчиков-смесителей повышает эффективность их использования. При этом бункерный кормораздатчик типа КТУ-10, РММ-5 может выполнять функцию смесителя при расположении составляющих компонентов кормового рациона в бункере послойно [336, 338, 340, 341].

1.3 Технологии и средства механизации подготовки углеводистых кормов к скармливанию крупному рогатому скоту и их анализ

1.3.1 Характеристика углеводистых кормов и технологические схемы их подготовки к скармливанию

Основными представителями углеводистых кормов являются: свекла, картофель, куузику, тыква и др.

Свекла кормовая содержит от 9 до 14% сухих веществ, которые в основном представлены углеводами (сахар и пектиновые вещества). Питательность 1 кг составляет 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.

Картофель – переваримость составляет 87%. Туберин – основной белок картофеля, отличается высокой биологической активностью. Питательность 1 кг картофеля - 0,31 кормовых единиц, 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.

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.

Тыква содержит 92% и более воды. Переваримость доходит до 72%. Питательность 1 кг тыквы 0,07 к. ед., содержится 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 показывает, что средняя цена на картофель находится в пределах 23-24 рубля/кг, на морковь-42-43 рубля/кг (по данным на середину ноября 2011г.) [397]. Цена плодов тыквы кормовой не превышает 12 рублей/кг, что говорит о хорошей перспективе возделывания последней для нужд кормовой от-

расли области.

Для подготовки углеводистых 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→→смешивание→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 тыквы

- 1) прием→**выдача в целом виде в кормушки животным**;
- 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.

Качество и питательная ценность корнеклубнеплодов и тыквы во многом связаны с условиями их хранения и подготовкой к скармливанию. 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 по варианту 4 фактически отсутствуют технические и технологические решения. Так, все операции по обработке и подготовке плодов тыквы к скармливанию осуществляются вручную.

В этой связи решение вопросов по механизации подготовки плодов тыквы к скармливанию является актуальной проблемой, требующей своего решения.

1.3.2 Конструктивно-технологические схемы питателей кормовых компонентов и их анализ

Линии приготовления ПРКС для КРС на основе сочных (силоса, ККП, тыквы), грубых (сено, солома, искусственно высушенная травяная резка) и концентрированных кормов должны отвечать определенным зоотехническим требованиям, в том числе по точности дозирования компонентов.

В качестве питателей (питателей – дозаторов) кормовых компонентов выступает как серийно выпускаемое оборудование, так и выполненное силами хозяйств.

Технология приготовления рассыпных кормосмесей влажностью 75-80% включает следующие операции: мойку ККП, предварительное измельчение грубых кормов и силоса, дозирование и смешивание.

При подаче отдельных компонентов в смеситель необходимо обеспечить их дозирование в следующих пределах: для концентрированных кормов отклонение от заданной нормы должно быть не более 5%, для стебельных-15%, для минеральных добавок-1%.

В кормоцехах нашли применение различные по конструкции и устройству питатели кормовых компонентов. В большинстве их заложен принцип объемного дозирования.

Линия измельчения соломы ЛИС-3 обеспечивает измельчение соломы и сена в тюках, рулонах и россыпью и включает питатель-загрузчик кормов, транспортер-дозатор, измельчителя-смесителя и электрооборудование (рис. 1.1). Грубые корма самосвальным транспортом загружаются в питатель-загрузчик кормов, где предварительно измельчаются и поступают на транспортер-дозатор. Далее материал через отделитель камней и металлических примесей попадает в измельчитель-смеситель ИСК-3. Измельченная масса загрузочным транспортером подается в накопитель или транспортное средство.

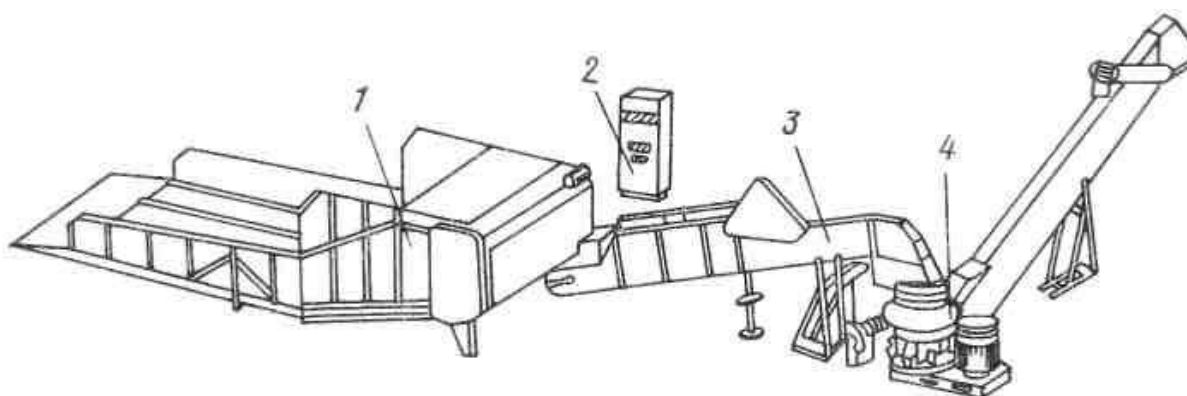


Рис 1.1. Общий вид линии измельчения соломы ЛИС-3: 1-питатель-загрузчик ЛИС-01; 2-электрошкаф; 3-транспортер; 4-измельчитель-смеситель ИСК-3

Мойка-измельчитель ИКС-5М предназначена для мытья и измельчения корне-и клубнеплодов и подачи их в накопители или транспортные средства. Эта машина разработана в двух модификациях: 1 вариант - с открытым бункером; 2 вариант – с закрытым. Состоит из бункера, шнекового транспортера, ванны, системы мойки и измельчителя.

Загрузочный бункер в I варианте имеет ширину открытой части 2,5 м и вместимость 3 м³, что позволяет загружать его автосамосвалом. Во 2 варианте бункер вместимостью 0,6 м³ рассчитан для загрузки транспортером-питателем ТК-5 или ТК-5Б. Ванна представляет собой металлическую емкость, в боковых стенках которой имеются люки для спуска воды. В верхней части ванны размещены сетка и фильтр для очистки воды, которая засасывается центробежным насосом.

Шнековый транспортер состоит из кожуха и шнека. Шнек имеет угол наклона 45°, диаметр 400 мм и длину 3290 мм. Шнеко-

вый транспортер приводится от электродвигателя мощностью 1,5 кВт. Ротор измельчителя включает вал, набор дисков и осей с молотками. Ротор измельчителя приводится от электродвигателя мощностью 7,5 кВт через клиноременную передачу.

Для наилучшей работы мойки уровень воды в ванне должен быть не ниже 180 - 200 мм от верхней кромки, а количество корнеплодов — 0,35 — 0,4 т. Это условие нужно учитывать при использовании ИКС-5М в поточных линиях кормоцехов.

Измельчитель -камнеуловитель ИКМ-5 предназначен для очистки от камней, для мытья, измельчения корне- и клубнеплодов и подачи их в накопители-дозаторы или транспортные средства. ИКМ-5 имеет два режима частоты вращения диска (500 и 1000 мин⁻¹) для изменения степени измельчения кормов соответственно для крупного рогатого скота и свиней. Состоит из ванны, подъемного шнека, измельчителя, скребкового транспортера и электрооборудования.

Скребковый транспортер помещается в кожухе, приваренном под углом 45° к нижней части ванны. Привод транспортера от мотора-редуктора МРА08/63Б.

Шнек служит для мойки и подачи корне- и клубнеплодов из ванны к измельчителю, а также для отделения клубней от камней. В нижней части шнека имеются четыре кронштейна для крепления его к ванне. Трубчатый вал шнека в нижней части на длине около 700 мм не имеет витков и оканчивается крылачом, создающим при работе завихрения воды в ванне. Шнек приводится от электродвигателя мощностью 2,2 кВт.

Измельчитель состоит из литого корпуса и крышки в сборе с переходником, нижнего и верхнего дисков диаметром 400 мм с двумя вертикальными и четырьмя горизонтальными ножами. Диски измельчителя закреплены непосредственно на валу двухскоростного электродвигателя А/02-62-12/6 мощностью 7,5 кВт. Для переработки мерзлых корнеплодов измельчитель комплектуется сменными горизонтальными ножами с зубчатым лезвием.

При осуществлении рабочего процесса вначале открывается вентиль водопровода и наполняется водой моечная ванна. Корнеплоды транспортерами ТК-5Б (ТК-5) подаются в моечную ванну, где они отмываются от земли вихревыми потоками воды, создаваемыми крылачом. Камни опускаются на дно ванны и выгружаются

скребковым транспортером. Затем корнеплоды вторично отмываются встречным потоком воды в шнеке и по направляющему кожуху попадают в дробильную камеру, где поступают на верхний диск и режутся горизонтальными ножами в стружку. Затем стружка попадает на средний диск и центробежной силой отбрасывается к неподвижной противорежущей гребенке и вторично измельчается вертикальными ножами. Измельченная масса, проходя между ножами деки, попадает на нижний диск и его лопатками выбрасывается в накопитель или транспортное средство.

Измельчитель ИКМ-5 монтируется на фундамент с подливкой в утепленном отапливаемом помещении. Для поглощения вибрации рекомендуется подкладывать под основание машины резину толщиной 15 мм.

Технические характеристики машин ИКС-5М и ИКМ-5 приведены в таблице 1.2

Таблица 1.2

Технические характеристики измельчителей корней, клубней и плодов

Показатель	ИКС-5М	ИКМ-5
Производительность, т/ч	5-8,8	5-7,5
Мощность электродвигателей, кВт	9	10,5
Высота выгрузки измельченной массы, м	1,9	2,05
Габариты, мм:		
длина	4100/3700*	2200
ширина	2600/1800*	1360
высота	2900	2850
Масса, кг	1250/1200*	900
Обслуживающий персонал, чел.	1	1

*В числителе — для 1-й модификации, в знаменателе — для 2-й модификации.

Измельчитель кормов «Волгарь-5А» предназначен для измельчения сочных и грубых кормов: силоса, корне- и клубнеплодов, зеленой массы, соломы, веточного корма. Измельчитель состоит из следующих основных узлов: режущего барабана, аппарата вторичного резания, заточного устройства, нажимного и подающего транспортеров, выполняющие функцию питателя и электропривода.

Все рабочие органы измельчителя «Волгарь-5А» приводятся

от электродвигателя через систему передач. Привод подающего и нажимного транспортеров осуществляется цепной передачей от звездочки режущего барабана, через редуктор. Во избежание поломки транспортеров при перегрузках на ведущем валу редуктора установлена фрикционная муфта.

Бункера-накопители сухих кормов БСК-10 и Б-6 предназначены для приема, хранения и подачи комбикормов в помещения кормоцехов, птичников и других животноводческих помещений. Состоят из емкости, транспортеров (спирального типа у БСК-10 и шнекового у Б-6) для выгрузки кормов и электроприводов. Комбикорма-концентраты загружают в бункер с помощью загрузчиков сухих кормов (ЗСК-10 и ССК-10).

Вместимость бункера 10 и 6 м³, производительность на выгрузке 2,7 и

2 т/ч, мощность электропривода 0,6 и 0,4 кВт, масса 740 и 444 кг, габаритные размеры 1960 х 1960 х 5245 и 1700 х 1700 х 5340 мм соответственно бункеров БСК-10 и Б-6.

Питатель концентрированных кормов ПК-6,0Б обеспечивает прием, хранение и механизированную подачу концентрированных кормов в дозаторы, смесители или запарники. Состоит из горизонтального и наклонного транспортеров, представляющих собой шнеки с правым направлением витков.

В завальном бункере вместимостью 9 м³ монтируется горизонтальный шнек-питатель (диаметр — 250 мм, шаг — 250 мм). Привод шнека-питателя осуществляется от мотора-редуктора НИ 11.03.1,5-58 посредством цепной передачи с частотой вращения 20 мин-1. Наклонный шнек (диаметр - 125 мм, шаг - 125 мм) приводится от электродвигателя посредством клиноременной передачи с частотой вращения 440 мин-1.

Самосвальным транспортом концентрированные корма загружаются в завальный бункер. При включении шнека-питателя концентрированные корма подаются на наклонный шнек, который транспортирует их к дозаторам, смесителям или запарникам. Техническая характеристика ПК-6,0Б приведена в таблице 1.3.

Транспортеры корне- и клубнеплодов ТК-5Б и ТК-5б обеспечивают прием, хранение и подачу корнеплодов в машины для их подготовки. ТК-5Б состоит из двух горизонтальных шнеков-питателей, приводной станции и наклонного скребкового транспор-

тера ТС-40К.

Бункеры транспортера загружают самосвальным транспортом, включают скребковый транспортер ТС-40К, а затем один из шнеков - питателей. Корнеплоды захватываются витками шнека и по направляющему козырьку скатываются в транспортер ТС-40К, который и транспортирует их в мойку. Выключение машины производят в обратной последовательности.

Скребок транспортер ТС-40К монтируют после полной готовности приемных бункеров, завальных ям и установки мойки-корнерезки, к которой его прикрепляют и располагают так, чтобы приемная воронка находилась между скатными направляющими козырьками шнеков-питателей. ТК-5 отличается от ТК-5Б тем, что в нем один шнековый питатель, а в приводном механизме нет муфт, вращение передается непосредственно цепной передачей со звездочки редуктора до звездочки шнека -питателя. Технические характеристики ТК-5Б и ТК-5 приведены в таблице 1.3.

Кормоприемник-питатель КП-10 обеспечивает прием зеленой массы, силоса и корнеплодов из транспортных средств и подачу их в измельчитель. Приемник-питатель включает кормоприемник и транспортер загрузки кормов РК-13. Кормоприемник состоит из сварной рамы с боковинами и шнеком; дозирующего отбойного транспортера; нижнего транспортера; выгрузного шнека с приводом от электродвигателя, дозирующего транспортера, состоящего из рамы и трех замкнутых цепей с планками. Транспортер загрузки кормов используют для транспортировки кормов от кормоприемника на подающий транспортер измельчителя. Он состоит из рамы и транспортера в виде двух замкнутых цепей с шагом 38 мм. Привод транспортера от электродвигателя.

Масса, требующая измельчения, загружается самосвальным транспортером в бункер и подается металлическими планками нижнего транспортера к отбойному дозирующему транспортеру. Последний пропускает необходимое количество корма в поперечный выгрузной шнек, а избыток корма направляется обратно в бункер. Выгрузным шнеком корм подается на транспортер загрузки и последним - в измельчитель. Техническая характеристика КП-10 приведена в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Технические характеристики питателей кормов

Показатель	ПК-6,0Б	ТК-5Б	ТК-5	КП-10
Производительность, т/ч	1,3-10,3	5-6	5-6	5-10
Установленная мощность, кВт	3,7	3,7	3,0	5,2
Вместимость кузова, м ³	9,0	6,0	3,0	5,2
Общая масса машины, кг	700	1500	920	1550
Масса выгрузного транспортера, кг	230	532	532	390
Габариты, мм; длина	4530*	6435*	3000*	5570
ширина	500*	730*	770*	2850
высота	940*	1665*	1080*	2000
Угол установки выгрузного транспортера, град	50	45	45	30-45

*Указаны габариты питателей без выгрузных транспортеров

Бункер-дозатор КТУ-10А является стационарной модификацией кормораздатчика КТУ-10 и предназначен для приема и дозированной подачи измельченных грубых и сочных кормов. Состоит из рамы, днища с продольным транспортером, кузова вместимостью 9 м³ (для хранения соломенной резки вместимость его увеличивают до 30 м³), блока битеров, поперечного транспортера, системы электропривода.

Корма в бункер загружают грейферными мобильными погрузчиками типа ПЭ-0,8 или стационарным укладчиком УМГ-5 и, накопец, при накоплении соломенной резки ее подают в бункер по пневмопроводу, устанавливая над бункером циклон. Включают электропривод, при этом продольный транспортер подает корм на битера, последние разрыхляют его и направляют на поперечный транспортер.

КТУ-10А поставляется заводом в собранном виде. Раму бункера четырьмя опорными стойками устанавливают на ровный бетонированный пол. Разность уровней пола под стойками не должна превышать 5 мм.

Норму выдачи корма регулируют изменением числа зубьев храпового колеса. Техническая характеристика бункера-дозатора КТУ-10А приведена в таблице 1.4.

Работает КТУ-10А с питателем-дозатором стебельных кормов

ДСК-30, который разработан Центральным научно-исследовательским и проектно-технологическим институтом механизации и электрификации животноводства (ЦНИПТИМЭЖ) [271].

Таблица 1.4

Технические характеристики бункеров-дозаторов кормов

Показатель	КТУ-10А	КПГ-10.46.15	ПЗМ-1,5
Производительность на силосе, т/ч	5-60	5-60	5-60
Вместимость бункера, м ³	10	30	20
Мощность электропривода, кВт	7,5	8,5	8,5
Габариты, мм: длина	6175	6725	9700
ширина	2300	5200	3780
высота	2860	2490	3050
Масса, кг	2700	5246	7200

По данным института ЦНИПТИМЭЖа, применение дозатора ДСК-30 с бункером-дозатором КТУ-10А позволяет в 3,6 раза снизить неравномерность выдачи корма при работе в автоматическом режиме.

Мощность привода дозатора 2,2 — 3,0 кВт. Габариты 2800 х 950 х 1920 мм. Масса 400 кг.

Перед началом работы барабан устанавливается винтовым механизмом над ленточным транспортером на необходимую высоту, соответствующую заданному расходу корма. Корм подается накопителем-питателем в приемный бункер дозатора, откуда ленточным транспортером продвигается к пальцевому барабану. Пальцы барабана счесывают лишний корм, оставляя на ленте слой корма заданной величины. При этом на транспортере образуется ком из счесанного корма. При достижении определенных размеров ком отклоняет флажок-пластину, что через систему переключателей приводит к выключению электропривода питателя. В дальнейшем транспортер дозатора выбирает имеющийся в бункере корм, размеры кома уменьшаются, флажок возвращается в исходное положение, и электропривод питателя включается.

Бункер-дозатор КПГ-10.46.15 обеспечивает прием и дозированную подачу сена, силоса, сенажа и соломы на сборный транспортер кормоцефа. Состоит из бункера, дозирующих битеров, подающего транспортера, электроприводов питателя и дозатора.

Корм загружают в бункер самосвальным транспортом, затем

скребками цепочно-скребкового транспортера, смонтированного в бункере, корм подается на битера. Последние, вращаясь, разрыхляют корм и направляют на сборный транспортер кормоцеха. Техническая характеристика КПГ-10.46.15 приведена в таблице 1.4.

Питатель зеленой массы ПЗМ-1,5 предназначен в кормоцехах для дозированной подачи на сборный транспортер предварительно измельченных силоса, сенажа, сена и соломы. Состоит из подъемного лотка, наклонного подающего транспортера, битерного узла, шнекового транспортера, гидропривода и электропривода.

Корм загружается самосвальным транспортом на подъемный лоток. При подъеме последнего корм попадает на наклонный подающий транспортер. Скребками этого транспортера корм подается на битера, которые, вращаясь, разрыхляют корм и направляют его на шнек, последним корм подается на сборный транспортер кормоцеха.

Норму выдачи корма регулируют изменением числа зубьев храпового колеса. Техническая характеристика ПЗМ-1,5 приведена в таблице 1.4.

Шнековый дозатор сочных кормов ДС-15 предназначен для дозированной подачи измельченных корнеклубнеплодов. Состоит из бункера вместимостью 1,0-1,5 м³ с шестью вращающимися шнеками у основания и цепочно-планчатым разравнивающим транспортером вверху.

Производительность дозатора 3 - 15 т/ч, ее регулируют с помощью включения соответствующего количества шнеков (1, 2, 3 пары) через электромагнитные муфты. Мощность электропривода 3 кВт. Масса 900—1150 кг. Габариты 2500 x 1280 x 2300 мм. Неравномерность дозирования $\pm 15\%$.

Во время загрузки измельченных корнеплодов включают верхний разравнивающий транспортер, который равномерно распределяет массу по всей длине бункера. Для дозированной выдачи открывают заслонку и включают в работу необходимое число шнеков, которые перемещают корнеплоды к выгрузному окну на сборный транспортер кормоцеха.

Дозатор тарельчатый малый МТД-3А предназначен для дозирования сыпучих материалов в кормоцехах и на комбикормовых заводах.

Проведенный анализ питателей кормовых компонентов пока-

зал, что в большинстве случаев в принцип работы таких машин заложено объемное дозирование кормов. Выявлено, что в настоящее время наблюдается отсутствие машин для дозирования такого ценного вида кормового продукта, как плоды тыквы из-за их больших размеров и формы. При этом функцию питателя плодов тыквы по размерам ККП, могут выполнять существующие машины типа ИКМ-5, а для подачи и дозирования плодов тыквы во всем типоразмерном ряде необходимо создание новых конструктивно-технологических схем или модернизация и адаптация существующих питателей кормов, например типа ПЗМ-1,5.

1.3.3 Технические средства, применяемые для измельчения углеводистых кормов и их анализ

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. 1.2).



Рис. 1.2. 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. 1.5) [151].

Таблица 1.5

Показатели работы измельчителей корней, клубней и плодов

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

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. 1.5).

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. 1.6) [103,170]. Испытания показали, что особой надобности в двухрежимном электродвигателе нет. При этом измельчение плодов для крупного рогатого осуществляется без деки, а для свиней - с декой.

Таблица 1.6

Технические характеристики измельчающих аппаратов[264]

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

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, доходящие до 60% (вынос за пределы машины с загрязненной водой).

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-5 М и ИКМ-5 недостаточна. Поэтому производством была освоена измельчитель ИКМ-10 (табл. 1.7)[241]. 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.

Таблица 1.7

Показатели работы измельчителей

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

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 частности 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 [6, 185, 247].

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 следует считать ранее выпускавшийся серийно КПИ-4.

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 измельчителя. 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 швырлялкой выбрасывается через горловину.

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. 1.3).

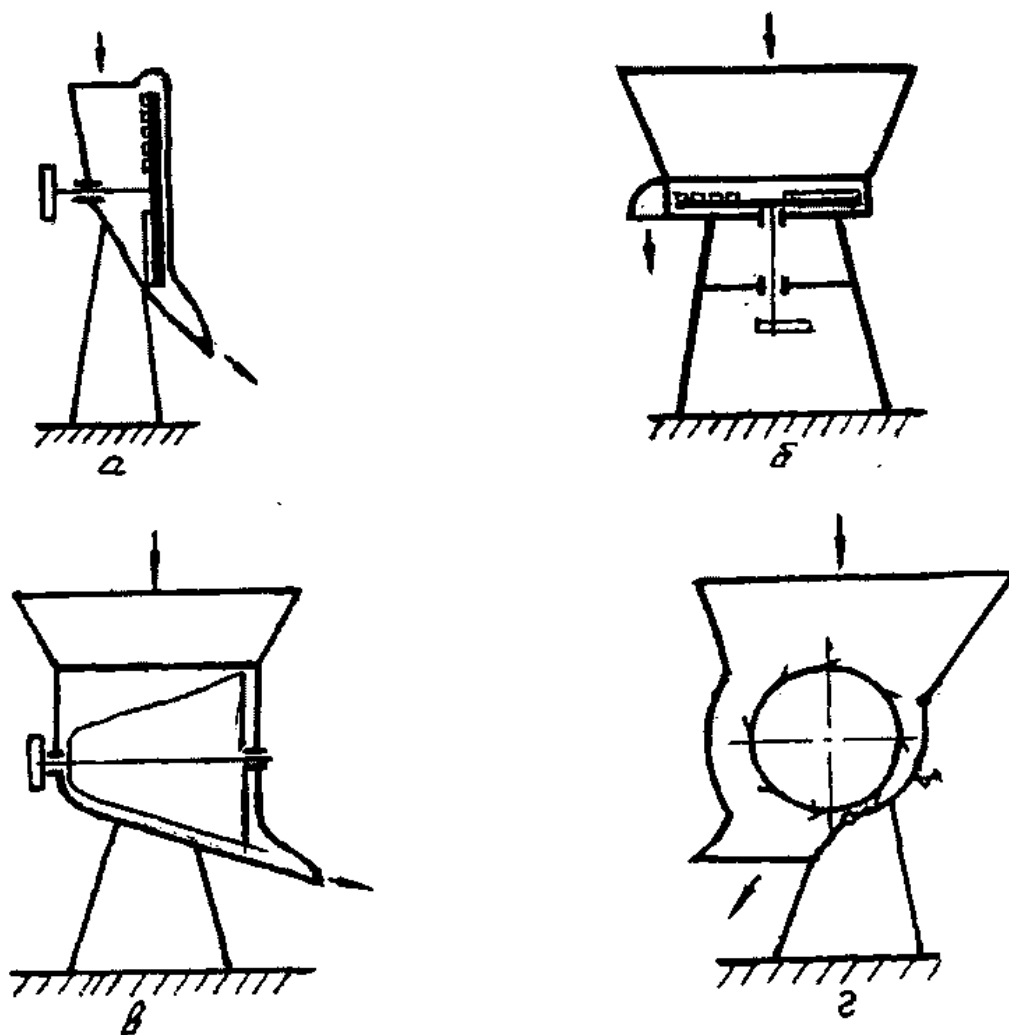


Рис. 1.3. Конструктивные схемы машин для измельчения плодов: а - вертикально-дисковая; б - горизонтально-дисковая; в - барабанная коническая; г - барабанная корнетерка-дробилка

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.

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

В Ульяновском СХИ разработан измельчитель транспортерно-ножевого типа (рис. 1.4).

Его измельчающий аппарат имеет два блока наклонных ножей. Первый состоит из рамы 1 и плиты 2, к которой кронштейна-

ми 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.

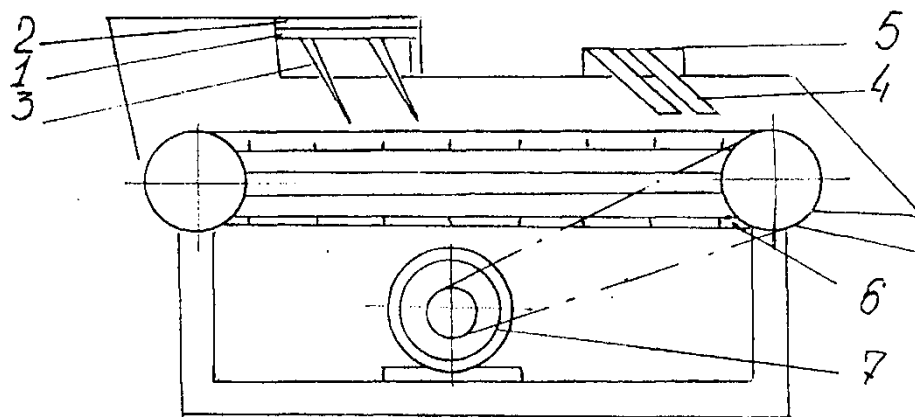


Рис. 1.4. Схема измельчителя плодов (обозначения в тексте)

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, представленный на рисунке 1.5.

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, выполненных в виде дисков.

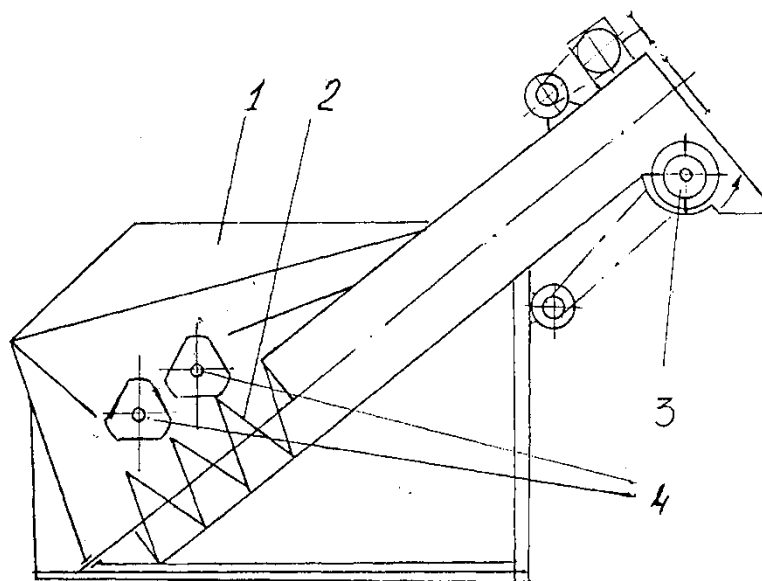


Рис. 1.5. Конструктивно-технологическая схема измельчителя тыквы и кукурузы: 1 - бункер; 2 - дозирующий шнек; 3 - аппарат вторичного измельчения; 4 - валы аппарата первичного измельчения

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. 1.6), 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.

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 предназначена 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.

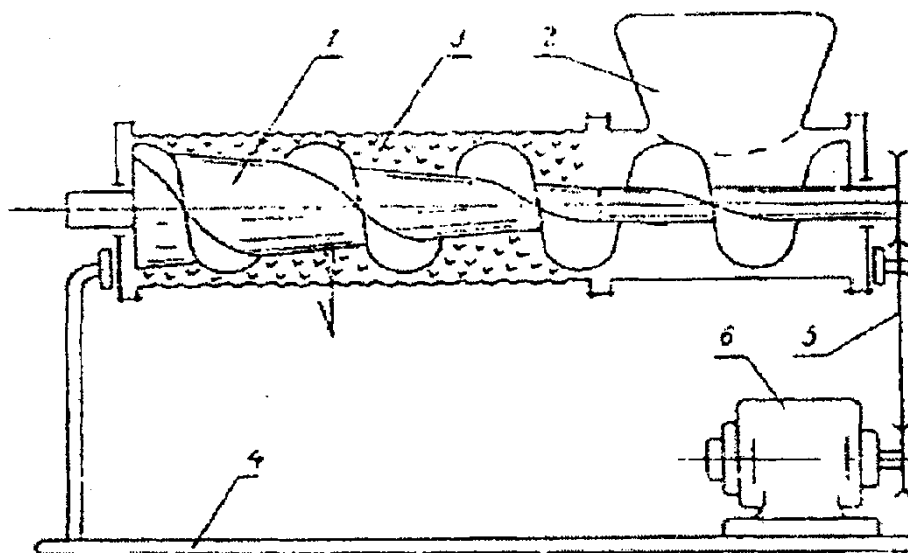


Рис. 1.6. Схема механической шнековой терки (обозначения в тексте)

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

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 (рис. 1.7).

Известен измельчитель плодов (рис. 1.8), содержащий бункер 1, днище которого образованно терочным транспортером 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.

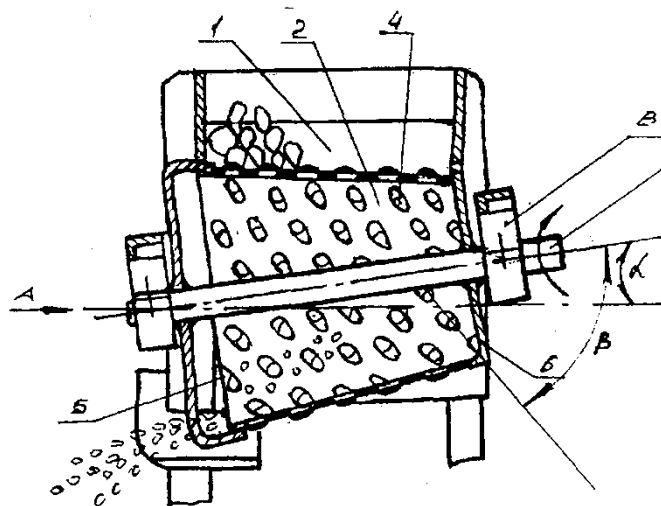


Рис. 1.7. Схема барабанной корнетерки (обозначения в тексте)

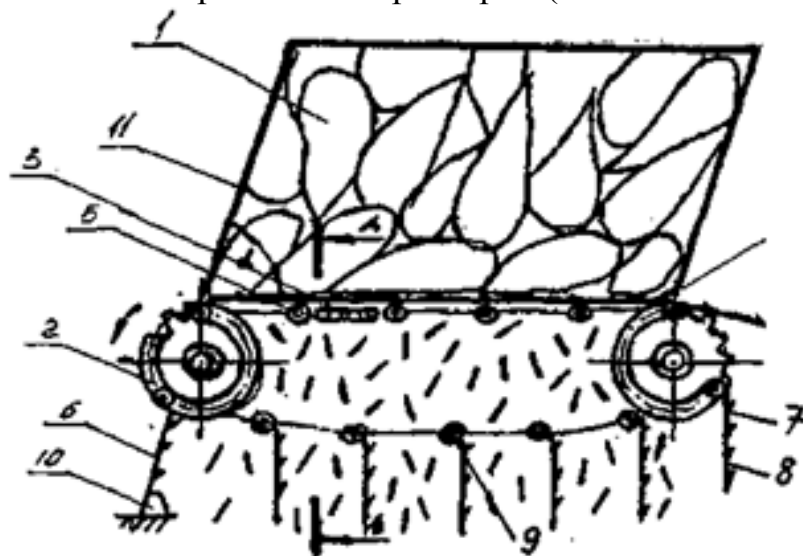


Рис. 1.8. Схема транспортерной корнерезки (обозначения в тексте)

Известен также измельчитель кормов (рис. 1.9) 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. 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.

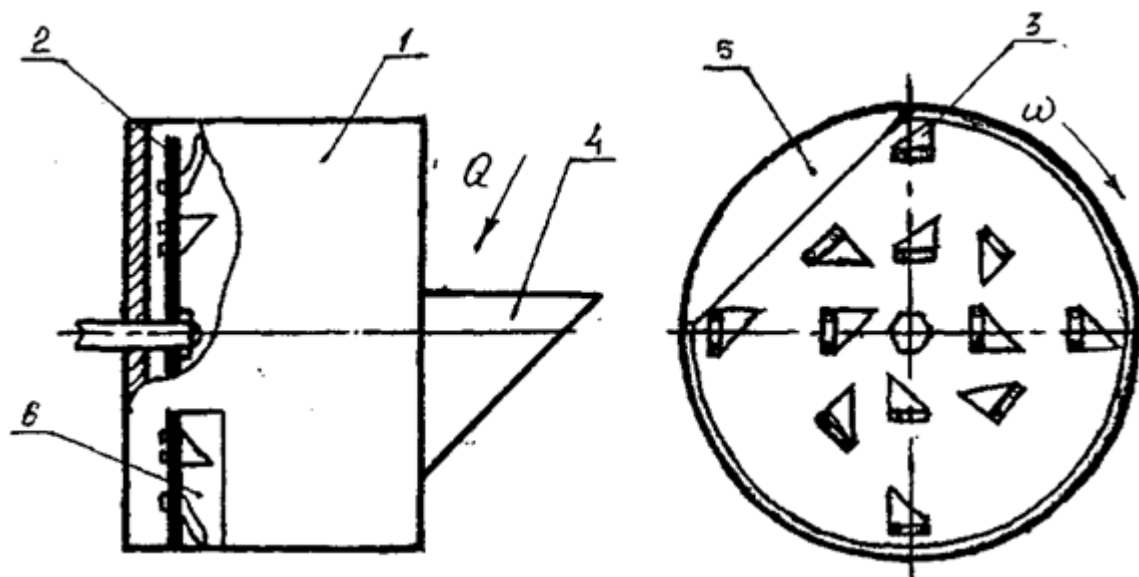


Рис. 1.9. Измельчитель с боковой подачей кормов (обозначения в тексте)

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 1.10.

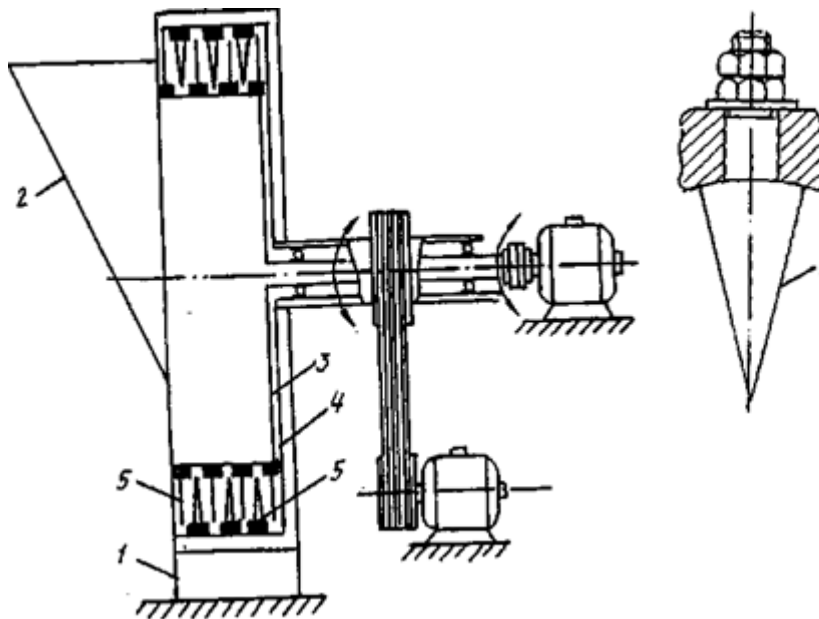


Рис. 1.10. Схема роторного измельчителя кормов (обозначения в тексте)

Измельчитель кормов содержит корпус 1 с загрузочной горловиной 2, внутри которого установлены 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.

Известно также устройство (рис. 1.11) 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. 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. Меж-

ду 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.

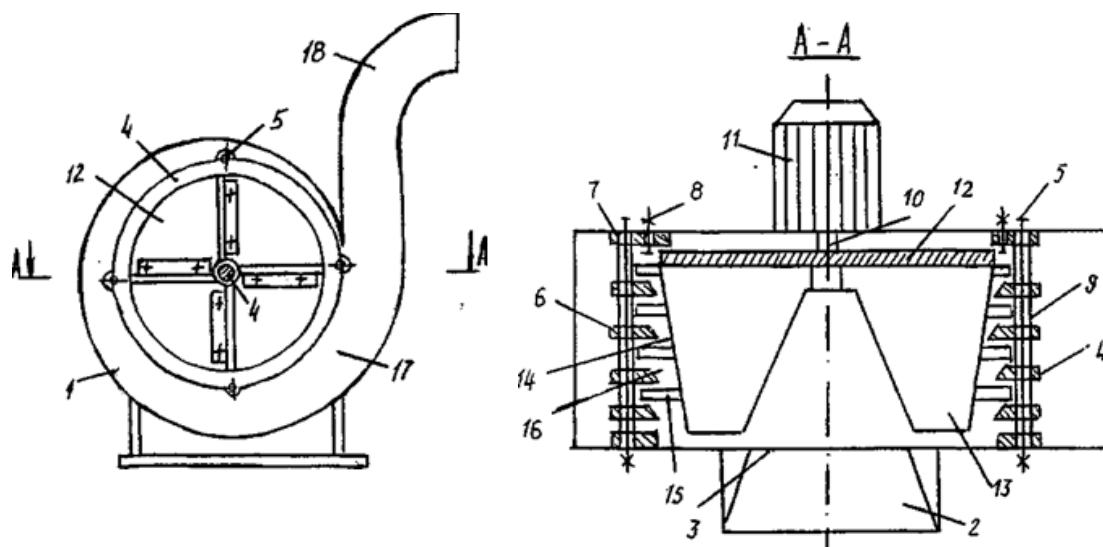


Рис. 1.11. Схема устройства для резки корнеклубнеплодов по а.с. № 1053781 (обозначения в тексте)

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, умень-

шает 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. 1.12) включает вертикальный конический корпус 1 с загрузной горловиной 2 и рабочей камерой 3, в которой установлен конический шнек 4, снабженный механизмом 5 привода. 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.

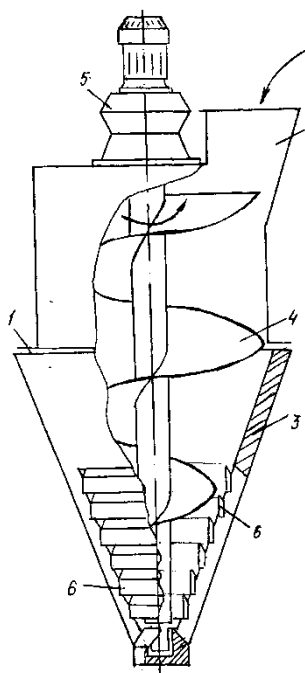


Рис. 1.12. Схема шнекового измельчителя (обозначения в тексте)

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. 1.13) 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 цепочно-планчатым транспортером 8 с зацепами 9 и выгрузным лотком. К транспортеру 8 может примыкать приемный транспортер 10.

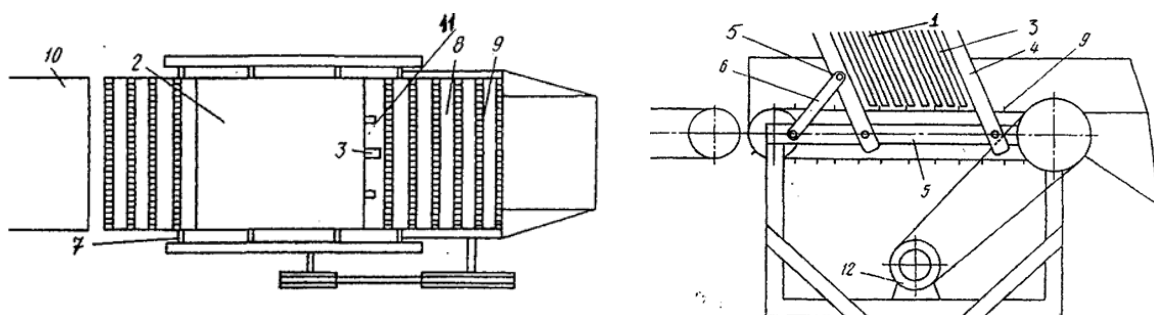


Рис. 1.13. Схема транспортерного измельчителя (обозначения в тексте)

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 $30-42^\circ$ и $70-135^\circ$. В зависимости от перерабатываемого продукта линия ножей может быть установлена как по направлению движения, так и против.

Известен также дисковый ножевой измельчитель (рис. 1.14).

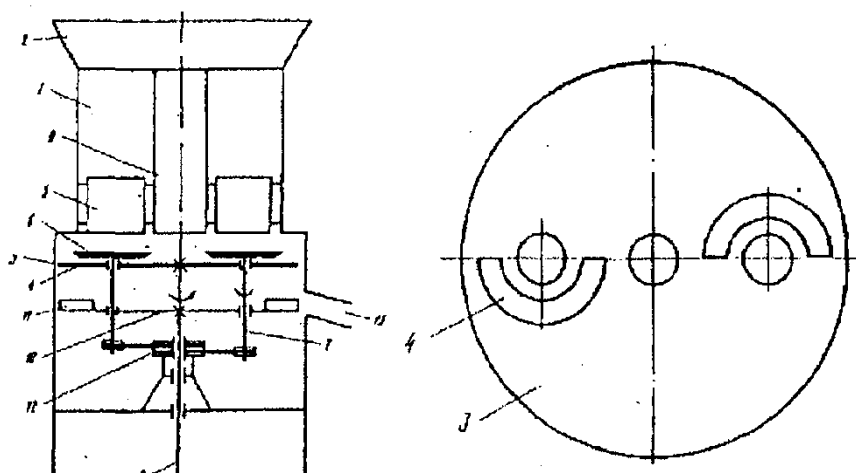


Рис. 1.14. Схема дискового измельчителя плодов (обозначения в тексте)

Данный измельчитель содержит вертикальную цилиндрическую камеру 1 с загрузочной воронкой 2 с дном 3, оснащенным выгрузным отверстием 4. Под углом к дну 3 установлены радиальные подающие лопасти 5. Эксцентрично дну 3 установлены дисковые ножи 6, соосно выгрузным отверстиям 4 на валах 7. Подвижное дно 3 выполнено с возможностью вращения вокруг оси 8, для чего концентрично установлен дополнительный направляющий цилиндр 9.

Под вращающим дном 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 дна 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 отверстие 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. 1.15) 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.

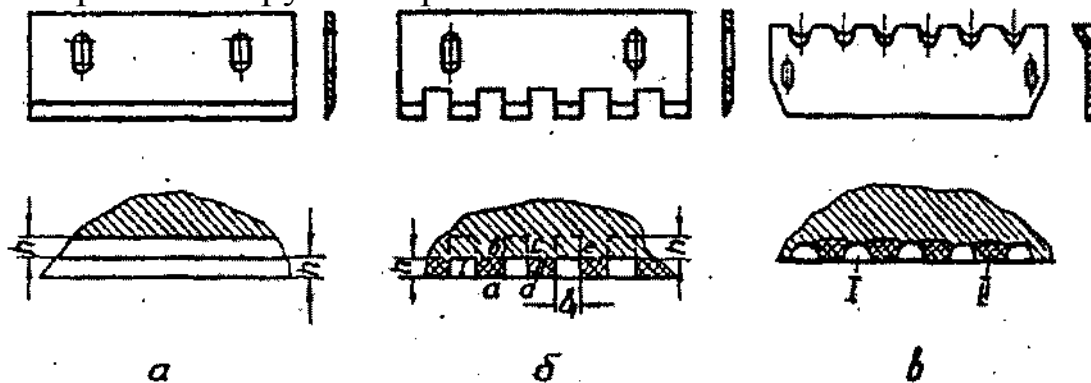


Рис. 1.15. Типы ножей корнерезок: а - прямой нож со сплошным лезвием; б - прямой нож с гребенчатым лезвием; в - совочкообразный нож

Гребенчатый нож (рис. 1.15) 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.

Гребенчатые ножи закрепляются на диске или барабане со смещением относительно друг друга на величину, равную ширине b_1 , 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 $abcd$, а гребни второго ножа только надрезают ее по линиям cl , то есть ножи выполняют различную по величине работу.

Совочкообразные ножи (рис. 1.15) отрезают стружку в виде узких полосок полуовального сечения. Высота и ширина стружки здесь зависит 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.

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 корнерезок 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 рисунке 1.16 представлена схема классификации измельчителей кормов.

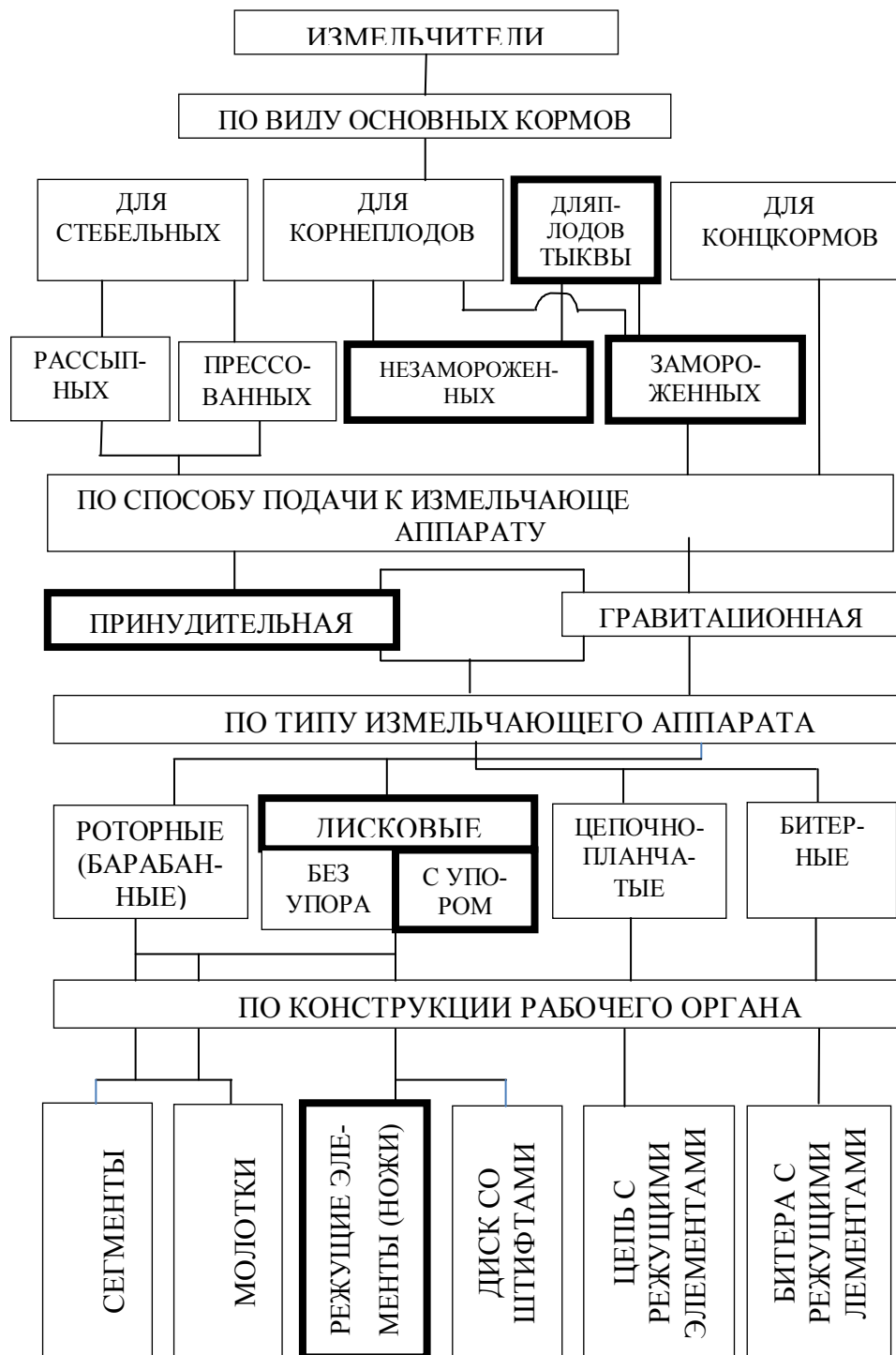


Рис. 1.16. Схема классификации измельчителей кормов

На основании проведенной классификации определено перспективное направление в разработке измельчителей плодов тыквы в соответствии с которым для измельчения плодов тыквы наиболее эффективны дисковые измельчители с ножами. В той связи, необходима разработка технических средств, обеспечивающих сколь-

зующее резание, что позволит значительно снизить энергоемкость процесса.

1.3.4 Классификация бункерных раздатчиков-смесителей и анализ их рабочих органов

В настоящее время существует множество конструктивно-технологических схем бункерных раздатчиков-смесителей для ферм и комплексов крупного рогатого скота в зависимости от зоотехнических требований к кормовым смесям, от состояния смешиваемых компонентов, животноводческих помещений и зональных особенностей, при этом идет поиск оптимальных их конструкций.

Бункерные раздатчики-смесители можно подразделить по способу загрузки емкости бункера, по совмещению функции смешивания дозирования, по характеру работы смесительного устройства, по форме бункера, по расположению смешиваемого органа, по способу смешивания, по характеру воздействия смешивающего органа, по роду привода, по способу передвижения, а также по конструкции смешивающего органа (рис. 1.17).

На рисунке 1.18 представлены конструктивно-технологические схемы смешивающих органов раздатчиков-смесителей.

По способу загрузки емкости бункера раздатчики-смесители подразделяются на: загрузку емкости бункера раздатчика-смесителя путем поочередной подачи кормов, совместной подачей кормов или послойным заполнением бункера, причем, последнее может осуществляться загрузочным устройством, подающим транспортером раздатчика-смесителя, либо с помощью накопительной емкости, предварительно загруженной послойно.

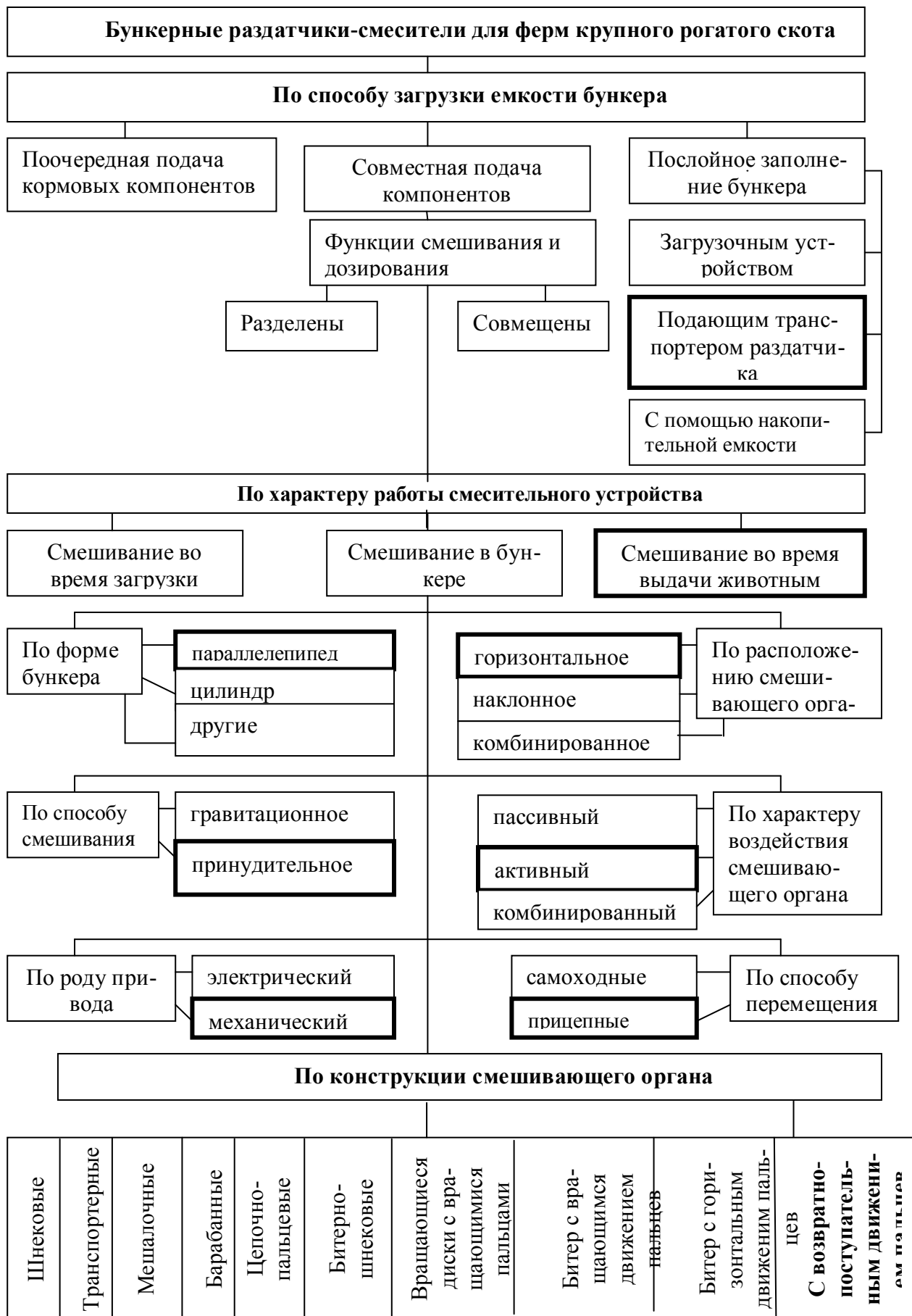


Рис. 1.17. Классификация бункерных раздатчиков-смесителей

По совмещению функций смешивания и дозирования бункерные раздатчики-смесители подразделяются на те, в которых эти операции могут быть разделены или совмещены.

По характеру работы смесительного устройства бункерные раздатчики-смесители можно подразделить на следующие типы:

- смешивание производится во время загрузки раздатчика смесителя;
- смешивание производится после заполнения бункера;
- смешивание производится во время выдачи животным.

По форме бункера раздатчики-смесители могут быть в виде параллелепипеда, цилиндра или принимать другие формы.

По расположению смешивающего органа раздатчики-смесители подразделяются на смешивающие органы, имеющие горизонтальное, наклонное или комбинированное положение.

По способу расположения раздатчики-смесители подразделяются на гравитационное и принудительное движение кормов к смешивающим органам.

По характеру воздействия смешивающего органа можно выделить раздатчики-смесители с пассивными, активными и комбинированными рабочими органами.

По роду привода бункерные раздатчики-смесители подразделяются на электрические и механические, а по способу передвижения они бывают самоходные и прицепные.

В бункерных раздатчиках-смесителях имеется множество разнообразных органов, предназначенных для смешивания загруженных кормов. Основными являются смешивающие органы шнекового (рис. 1.18 а, б), транспортерного (рис. 1.18 е) и битерного (рис. 1.18 д, ж) типов, а также их комбинации.

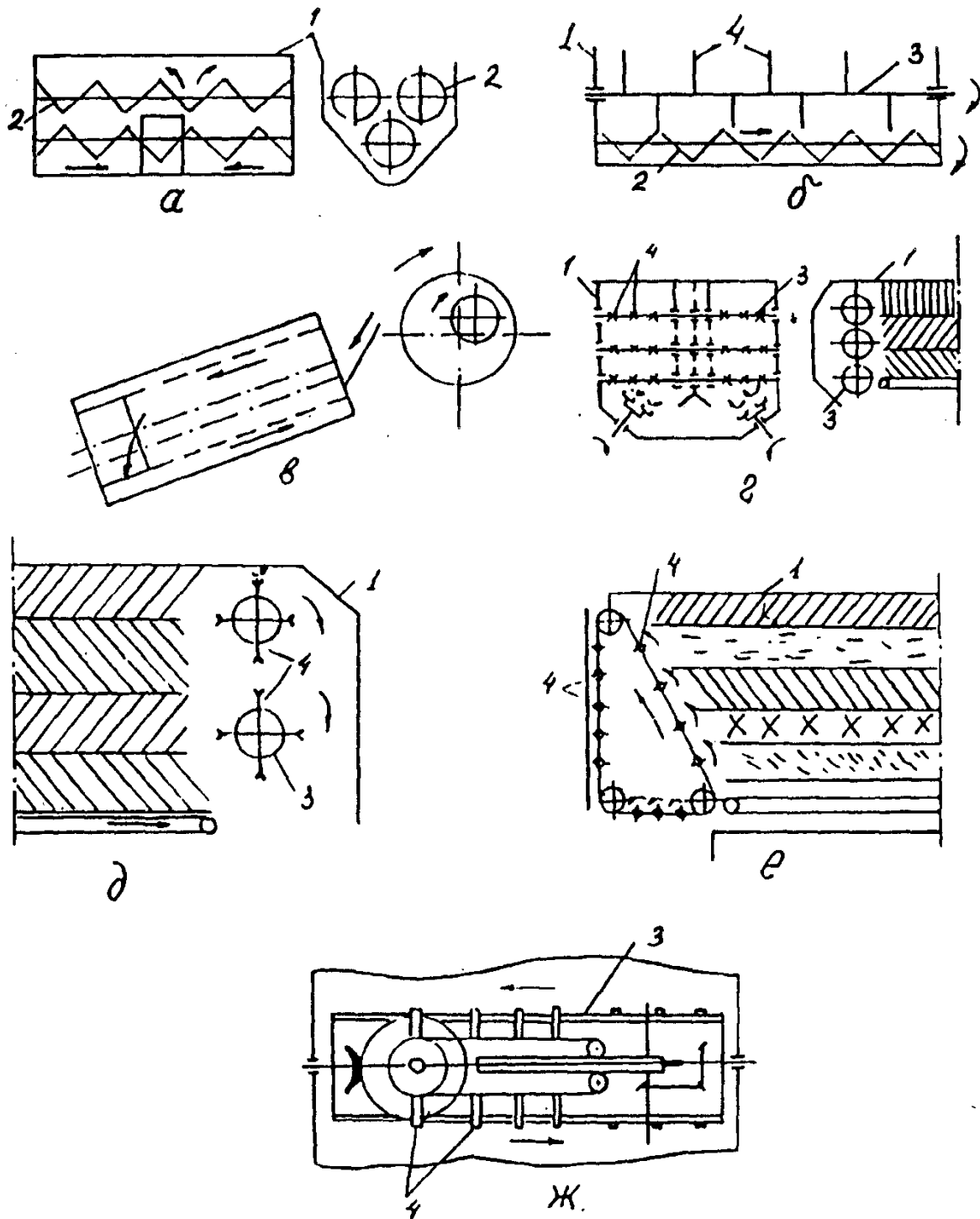


Рис. 1.18. Конструктивно-технологические схемы смешивающих рабочих органов раздатчиков-смесителей: а - шнековые; б - битерно-шнековые; в - барабанные; г - вращающиеся диски с вращающимися пальцами и битерными отделяющими механизмами; д - битер с вращающимися пальцами; е - цепочно-пальцевые; ж - битера с горизонтальным движением пальцев; 1 - бункера; 2 - шнеки; 3 - битера; 4 - пальцы

Распространение получили также и шнековые раздатчики-смесители по типу РСР-10, АРС-10 (рис. 1.18 а) [151].

Однако шнековые раздатчики-смесители обеспечивают получение качественной кормовой смеси только из мелкоизмельченных компонентов, смешивание и раздача кормов с длиной резки более 50 мм в них происходит неустойчиво из-за сильного уплотнения компонентов и забивания выгрузного окна при раздаче [151]. Кроме того, они имеют большую энергоемкость вследствие того, что их рабочие органы размещаются непосредственно в среде кормового продукта, и при работе взаимодействуют со всей массой, находящейся в бункере. Этому же недостатку подвержен и барабанный смешивающий орган (рис. 1.18 в).

Указанных недостатков не имеют бункерные раздатчики-смесители, в которых осуществляется послойная загрузка кормовых компонентов, а смешивание производится рабочими органами битерного типа.

Такой смеситель с предварительно послойным расположением составляющих компонентов рациона разработан в ЦНИИМЭСХ. В качестве смешивающих органов предложен битерный механизм мобильных кормораздатчиков типа КТУ-10, РММ-5, КСА-5 [53]. Однако отделение и смешивание корма штифтовым органом ротационного типа при увеличении толщины слоя оказывается неэффективным, так как он совершает движение и воздействует на слои корма лишь в одной плоскости.

В отличие от транспортерных (рис. 1.18 е), битерный механизм имеет хорошую работоспособность на стебельных кормах, менее чувствителен к длине резки кормов. При этом битерный механизм может отделять от бурта и подавать на смешивающий рабочий орган кормовые составляющие (рис. 1.18 г). Здесь начальное смешивание производится битерным механизмом, а окончательное - вращающимися дисками с пальцами.

Однако наиболее целесообразным представляется совмещение операций смешивания и отделения послойно загруженных кормовых компонентов в одном рабочем органе битерного типа. С этой точки зрения наиболее перспективными являются схемы, представленные на рисунке 1.18 д, ж.

Битерные механизмы со сходным движением пальца относительно загруженных кормов позволяют получать наиболее высо-

кую степень однородности при наименьшем количестве слоев. При этом могут применяться как вращающиеся отделяюще-смешивающие элементы (V-образные) совместно с вращающимися битерным механизмом (рис. 1.18 д), так и отделяюще-смешивающие пальцевые элементы, совершающие поступательное движение вдоль оси битера (рис. 1.18 ж). При этом предпочтителен первый (рис. 1.18 д) битерный отделяюще-смешивающий рабочий орган за счет того, что имеет более простую и надежную конструкцию, а выполнение отделяюще-смешивающих элементов V-образной формы позволяет дополнительно повысить однородность получаемой смеси за счет их сложного движения и, как следствие, неравномерной скорости отдельных частиц в процессе их падения на выгрузной транспортер.

Таким образом, разработанная классификация и проведенный анализ бункерных раздатчиков-смесителей для ферм КРС позволил установить, что для смешивания послойно уложенных компонентов кормового рациона в бункере наиболее целесообразным вариантом представляется совмещение операций смешивания и отделения в одном рабочем органе (рис. 1.19).

На рисунке 1.19 а показан шарнирно-рамочный отделяюще-смешивающий орган. Битерный барабан 1 выполнен на параллельных изгибах бункера 2 и при вращении гребенки 3 совершает возвратно-поступательное движение. Корм захватывается ими, отделяется и проталкивается через смежные слои и одновременно перемешивается. Недостатком такого рабочего органа является то, что воздействие на корм производится в одной плоскости.

Наиболее лучшим с точки зрения снижения энергетике отделения служит представленный на рисунке 1.19 б транспортерный отделяюще-смешивающий рабочий орган. Отделяюще-смешивающие транспортеры 4 состоят из секций со штифтами, имеющих противоположное направление движения, что дает интенсивное перемешивание корма. Однако как показали наши наблюдения, при работе на длинностебельных кормах такой рабочий орган не всегда выдает кормосмесь с заданным качеством.

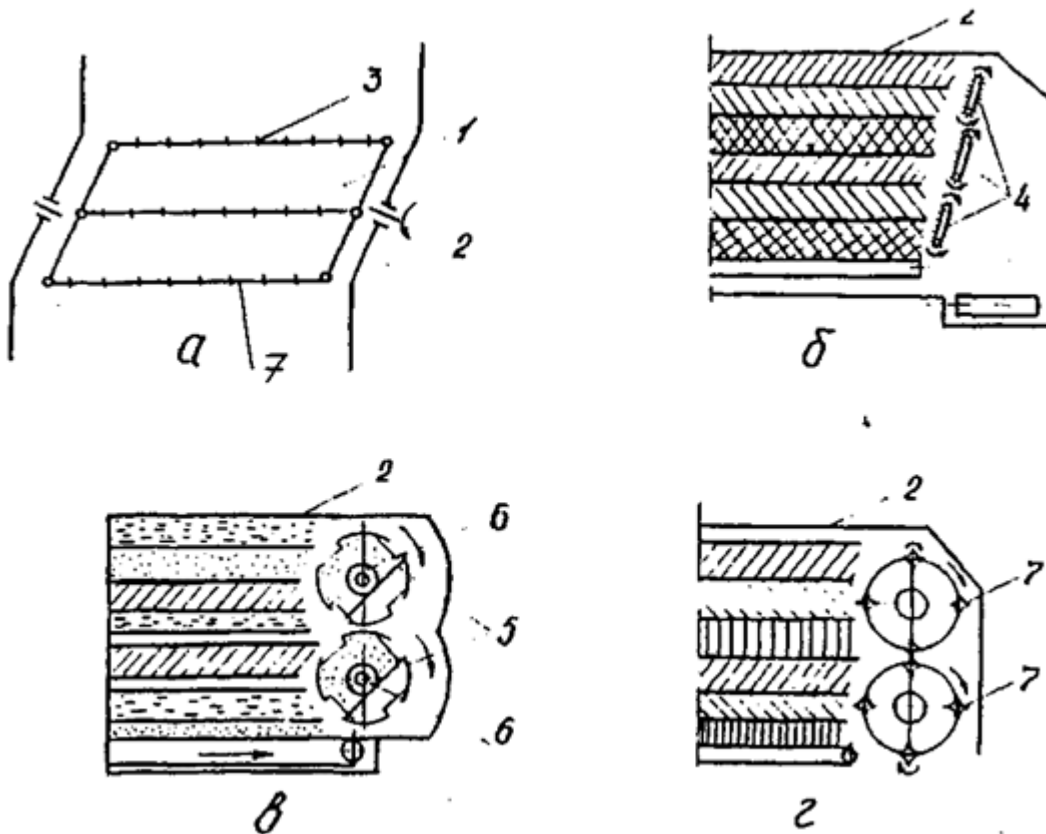


Рис. 1.19. Конструктивно-технологические схемы отделяюще-смешивающих органов раздатчиков-смесителей: а - шарнирно-рамочные; б - транспортные; в - битерно-шнековые; г - битерные с вращательным движением пальцев; д - битерные с возвратно-поступательным движением активной части; 1 - битерный барабан; 2 - бункер; 3 - гребенка; 4 - транспортеры; 5 - полый цилиндр; 6 - шнек; 7 - пальцы (отделяюще-смешивающие элементы)

Отличительной особенностью рабочего органа, представленного на рисунке 1.19в является то, что корм, отделенный полым цилиндром 5, попадает на шнековый выгрузной транспортер 6, где интенсивно перемешивается. Недостатком его является чувствительность к длине резки кормов. Дальнейший анализ показал, что наиболее эффективно использование отделяюще-смешивающих рабочих органов битерного типа (рис. 1.19 г) с пальцами, так как пальцы 7 могут совершать сложное движение в нескольких плоскостях - вращаясь вокруг своей оси совместно с вращающимся бите-ром (рис. 1.19 г) или совершать возвратно-поступательное движение, одновременно вращаясь относительно своей оси). При этом предпочтение следует отдать последнему отделяюще-смешивающему рабочему органу вследствие того, что он более интенсивно воздействует на слои компонентов кормового рациона за

счет активного движения битера в нескольких плоскостях. Выполнение рабочих органов (пальцев) в виде треугольных элементов обеспечивает перемешивание корма за счет протаскивания частиц через смежные слои и придания им различной линейной скорости.

1.3.5 Анализ технологических схем заполнения емкости бункера раздатчика-смесителя

Линии приготовления и раздачи кормосмесей на фермах и комплексах КРС должны осуществлять технологический процесс с наименьшими затратами труда, средств и энергии, обеспечивать качество приготавливаемых смесей и точность их выдачи в кормушки животным в соответствии с зоотехническими требованиями.

В последнее время научными исследованиями и производственной практикой проводится работа по совершенствованию существующих и созданию новых эффективных средств и способов механизации приготовления и раздачи кормовых смесей. Однако в создании технических средств для выполнения этих процессов еще имеется немало недостатков и недоработок, что сказывается в итоге на получении конечной продукции. В частности, это относится к мобильным бункерным раздатчикам-смесителям стебельных кормов для ферм и комплексов КРС, осуществляющих конечную операцию в цикле приготовления кормов - смешивание и дозированную выдачу животным в кормушки. Применяемые в настоящее время раздатчики-смесители не в полной мере отвечают современным зоотехническим требованиям как по качеству приготавливаемой смеси, так и их точности дозирования, обладают большой энергоемкостью, чувствительностью к длине резки кормов.

Как уже было сказано ранее, рядом исследователей отмечалась перспективность использования способа послойной укладки компонентов кормового рациона в бункере раздатчика с целью последующего смешивания и одновременной выдачи животным рабочим органом битерного типа. Однако вопросы послойного заполнения емкости бункера раздатчика кормов до настоящего времени еще недостаточно проработаны. На основе существующих машин и использования подающего транспортера раздатчика типа КТУ-10А или РММ-5 был выделен ряд перспективных способов послойного расположения составляющих кормовой смеси в бункере раздатчика-смесителя (рис. 1.20).

На рисунке 1.20-а представлена схема загрузки наклонными слоями бункера раздатчика-смесителя с помощью его подающего транспортера. Принцип действия заключается в следующем. Составляющие компоненты кормовой смеси находятся в бункерах-дозаторах 1. Раздатчик-смеситель находится своей задней частью под местом истечения кормов из бункеров-дозаторов. Их подача подбирается таким образом, чтобы обеспечить требуемую высоту слоя каждого компонента. Путем поочередного включения питателей корм в бункере 2 располагается слоями с углом у основания, равным углу естественного откоса. При образовании конуса, равного высоте борта (рис. 1.20-а), в работу включается подающий транспортер 3 раздатчика-смесителя и путем подбора его скорости слои располагаются с заданной высотой. При достижении борта корма отделяюще-смешивающих битеров подающий транспортер и дозаторы кормов отключаются, раздатчик-смеситель готов к смешиванию и раздаче кормосмеси животным.

В линиях подготовки кормов к скармливанию могут присутствовать такие операции как разравнивание и уплотнение, осуществляемые с помощью разравнивающих устройств. Ряд таких разравнивающих загрузочных устройств разработан в Благовещенском сельскохозяйственном институте под руководством д-ра техн. наук, профессора С.М. Доценко [73, 81]. На рисунке 1.20-б показана схема загрузки бункера раздатчика-смесителя горизонтальными слоями с помощью разравнивающего устройства 4 с распределяющими рабочими органами 5 барабанного типа путем возвратно-поступательного движения платформы 7 с загрузочным транспортером 6. Высота слоя подбирается соотношением подачи соответствующего дозатора корма и скорости движения платформы 7.

С помощью загрузочного устройства возможно распределение компонентов кормового рациона в бункере наклонными слоями (рис. 1.20-в). Начальная стадия аналогична первому способу (рис. 1.20-а). После образования конуса с высотой, равной высоте борта раздатчика-смесителя (рис. 1.20-в) платформа 7 начинает движение в сторону заднего борта раздатчика-смесителя и за счет поочередного поступления кормов на загрузочный транспортер 7, емкость бункера загружается наклонными слоями.

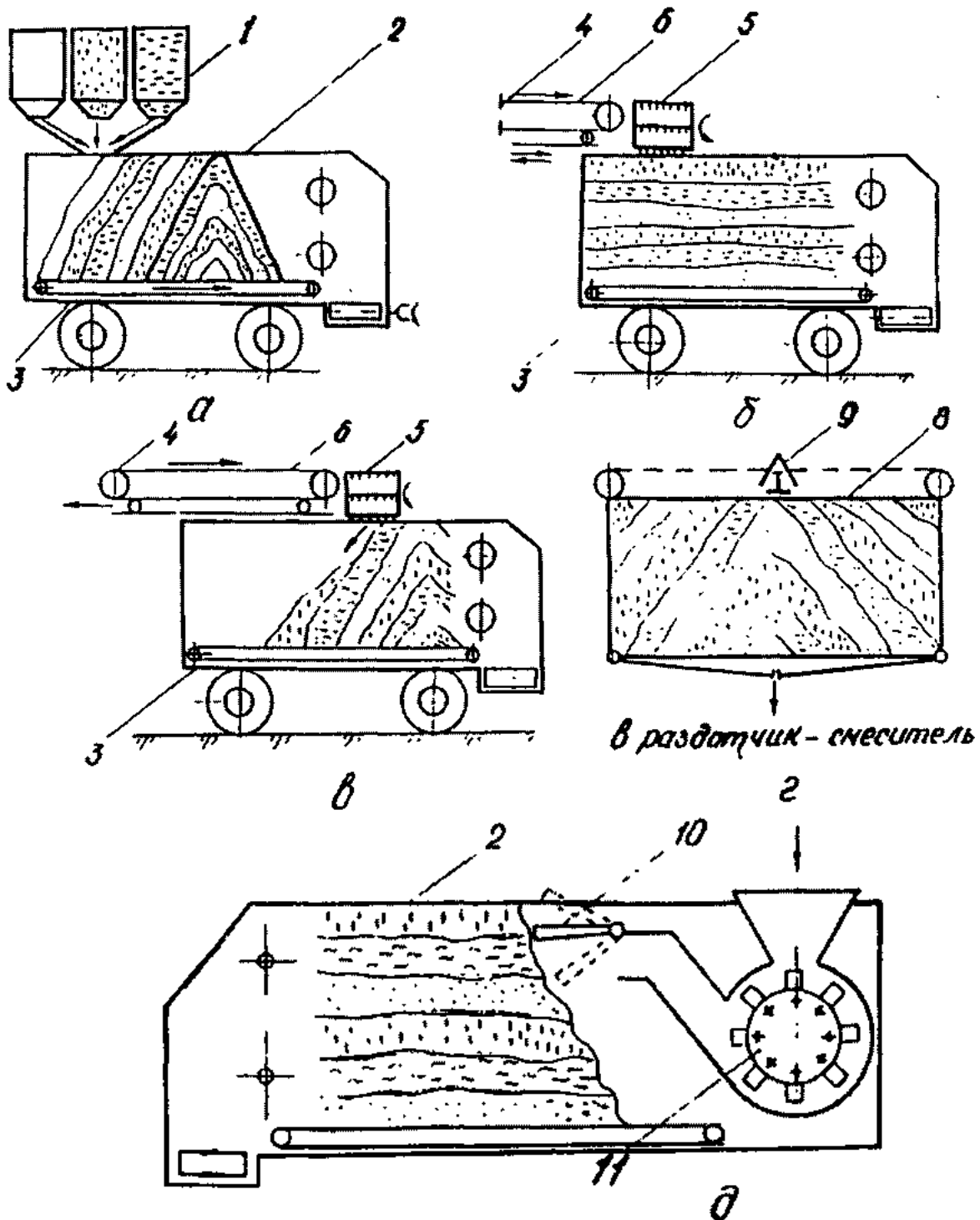


Рис. 1.20. Схемы послойной загрузки емкости бункеров раздатчиков-смесителей: а - с помощью подающего транспортера путем поочередной подачи кормов из дозаторов; б - с помощью загрузочного устройства горизонтальными слоями; в - то же, наклонными слоями; г - при послойной загрузке накопительной емкости; д - с помощью распределительной заслонки: 1 - бункера-дозаторы; 2 - бункер раздатчика-смесителя; 3 - подающий транспортер; 4 - загрузочное устройство; 5 - распределяющий барабан; 6 - загрузочный транспортер; 7 - платформа; 8 - бункер-накопитель; 9 - распределяющее устройство; 10 - распределительная заслонка; 11 - измельчитель

В.Г. Кобой и С.М. Доценко [95, 96, 134] разработан ряд схем бункеров-накопителей 8 с установленными на них разравнивающими устройствами 9 (рис. 1.20-г). При поочередном поступлении стебельных кормов различных видов в такой бункер-накопитель разравнивающее устройство 9 распределяет их по всей емкости бункера наклонными слоями. После окончательного заполнения открываются створки в нижней части бункера-накопителя и послойно распределенный в них корм перегружается в бункер раздатчика-смесителя.

С.М. Доценко и Н.Г. Херуимов [76] для послойного распределения кормов предложили распределительную заслонку 10 (рис. 1.20-д), устанавливаемую на выходе измельчителя кормов 11. Порция определенного вида корма, проходя через измельчитель за счет создаваемого им воздушного потока, приобретает некоторую скорость, достаточную для распределения по всей длине бункера, а само распределение производит распределительная заслонка, совершая возвратно-поступательные колебания относительно выходящего из горловины измельчителя потока кормов. Путем подбора частоты колебаний заслонки корм определенного вида распределяется горизонтальным слоем по всей длине и ширине бункера. Высота слоя каждого компонента смеси определяется порцией корма, проходящей через измельчитель.

Анализ приведенных технологических схем послойного заполнения емкости бункера раздатчиков-смесителей показывает, что компоненты кормового рациона в бункере могут располагаться как наклонными, так и горизонтальными слоями. Загрузка облегчается применением загрузочно-уплотняющих устройств. Однако при их отсутствии загрузка может осуществляться с помощью подающего транспортера раздатчика-смесителя путем наклонных слоёв.

Данная схема формирования кормового монолита ранее не изучалась, но представляет интерес с точки зрения снижения затрат труда и упрощения структуры линии.

1.4 Обзор научных исследований процессов подачи, измельчения, смешивания и дозированной выдачи кормов

1.4.1 Обзор научных исследований по изучению процесса подачи кормовых продуктов

Питатели применяются для равномерной подачи дозируемых кормов к дозаторам и могут быть транспортерными, лотковыми, барабанными, шнековыми, тарельчатыми, вибрационными, аэрационными, пропеллерного и колосникового типов.

На процессы подачи и дозирования оказывают влияние физико-механические свойства кормов: насыпная плотность, размеры частиц, угол естественного откоса, влажность, слеживаемость, комкуемость (склонность к комкообразованию), конструктивные особенности дозирующего устройства и другие факторы.

Необходимость непрерывной подачи и дозирования кормовых компонентов состоит в обеспечении выдачи заданного количества материала в единицу времени. Однако, как известно, реальный процесс сопряжен с отклонениями (погрешностями) от заданной величины, то есть является случайным.

Среднее значение абсолютной погрешности дозатора

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^m (Q_i - Q_p)}{m}, \quad (1.1)$$

где Q_i - действительная подача или расход материала в i -м измерении, выраженная в м³/с (объемный расход) или кг/с (массовый расход); Q_p - расчетное значение подачи; m - число измерений.

Показателем относительной погрешности дозирующего устройства служит коэффициент вариации, %

$$v = \pm 100s/Q, \quad (1.2)$$

где s - средняя квадратическая погрешность; Q - среднее значение подачи дозатора в m пробах.

Показатели погрешности, выраженные в виде числовых характеристик случайной величины, не дают объективной оценки точности дозирования в общем случае, так как их значения зависят

от числа проб и абсолютной величины среднего значения, изменяются во времени и не отражают внутренней структуры процесса.

Наиболее объективно охарактеризовать качество процесса позволяет система оценки технологических допусков машин и поточных линий, которая применительно к дозаторам и питателям непрерывного действия может быть выражена в следующем.

По зоотехническим требованиям или рецепту на кормовую смесь назначается допуск подачи Δ , выраженный в % от настроенного значения. В качестве первого приближения можно принять настроенное значение подачи дозатора равным среднему значению в том или ином режиме его работы.

Поток корма, выдаваемый дозатором, представляют как случайный процесс в виде реализации подачи во времени.

В общем случае реализацию $y_j(t)$ выходного процесса, определяющего эффективность функционирования машины или линии по какому-либо показателю, можно представить в виде

$$y_j(t) = \bar{y} + \dot{m}_y(t) + \dot{y}(t), \quad (1.3)$$

где $y_j(t)$ - любая реализация случайного процесса; $\bar{y}$ - среднее значение процесса (общее); $\dot{m}_y(t)$ - центрированная составляющая низкочастотной части процесса (отклонения от среднего значения); $\dot{y}(t)$ - отклонение случайного процесса от центрированной составляющей (центрированный процесс).

В.Р. Алешкин и П.М. Рощин [6] исследовали реализацию случайного процесса подачи резки соломы $y_j(t)$ (рис.1.21), где в определенной точке y_j показаны все составляющие случайного процесса.

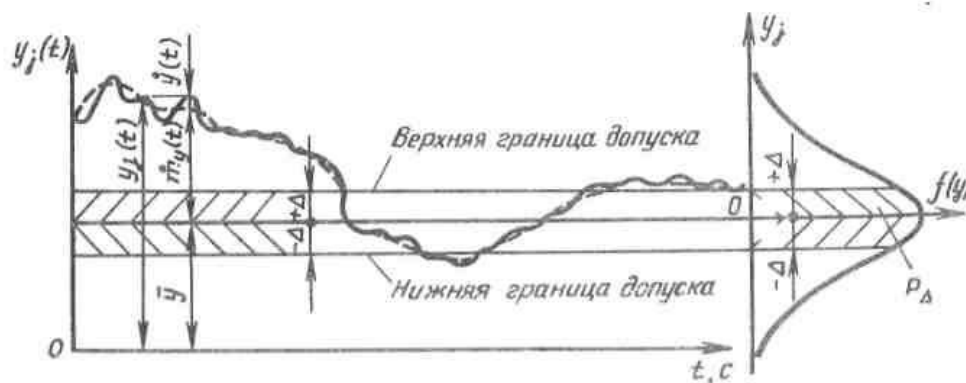


Рис. 1.21. Реализация случайного процесса подачи резки соломы

В качестве критерия оптимизации по оценке подачи дозирующего устройства авторами работ [4, 5] была назначена вероятность пребывания случайного процесса в поле допуска P_{Δ} . При этом чем больше P_{Δ} , тем лучше и равномернее подача корма.

Для точного расчета рекомендуется иметь не менее 60 измерений ординат случайного процесса и s определять по формуле

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}{m-1}}, \quad (1.4)$$

где y_i - текущее значение подачи, $i = 1, 2, \dots, j, \dots, m$; m - число ординат, принятое для расчета.

В качестве примера на рисунке 1.21 авторами исследован участок диаграммы подачи резки соломы измельчителем-питателем ЛИС-3.01, входящим в оборудование цеха приготовления рассыпных кормосмесей КОРК-15, записанной специальным расходомером потока резки.

Средняя подача в данном режиме работы питателя $\bar{y} = 2370$ кг/ч, $s = 678$ кг/ч. По зоотехническим условиям допуск на дозирование составляет $\Delta = 0,15$ или 15 % среднего значения, то есть $v = 678/2370 \approx 0,28$.

Вероятность пребывания процесса подачи в поле технологического допуска $P_{\Delta} = 2\Phi(0,15/0,28) \approx 0,4$. Иными словами, питатель-измельчитель ЛИС-3.01 выдает резку 40 % по времени в пределах 15 %-го допуска в данном режиме работы.

Длина реализации случайного процесса ограничена во времени, поэтому следует ожидать в длительном режиме работы значительных отклонений подачи от среднего значения. Предельные отклонения подачи (максимальное $Q_{\max}$ и минимальное $Q_{\min}$) можно определить по «правилу трех сигм»:

$$Q_{\max} = \bar{y} + 3s \text{ и } Q_{\min} = \bar{y} - 3s,$$

Это обеспечивает надежность выводов с вероятностью 0,9973.

Подставляя данные примера, получаем

$$Q_{\max} = 4393 \text{ кг/ч и } Q_{\min} = 346 \text{ кг/ч.}$$

Таким образом, питатель-измельчитель ЛИС-3-01 выдает резку крайне неравномерно, и при установке его в поточную линию необходимо предусмотреть дополнительные устройства для выравнивания потока.

В поточных технологических линиях питатели-дозаторы представляют собой отдельные самостоятельные машины или рабочие органы, встроенные в другие машины. Поэтому необходимо учитывать способность длительной работы с дозируемым материалом (влияние липкости, агрессивность среды и др.), необходимость герметизации при работе с пылевидными материалами и др.

В зависимости от способа дозирования дозаторы делятся: на массовые и объемные. Объемные - проще по устройству, но дают меньшую точность дозирования. Относительная погрешность объемных дозаторов достигает 3 - 12 %, массовых - 0,1 - 3 %.

Объемные дозаторы непрерывного действия могут быть барабанными, тарельчатыми, скребковыми, ленточными, вибрационными, шнековыми. Наибольшее распространение имеют шнековые, тарельчатые и барабанные.

Проведенный обзор и анализ показывает, что наиболее объективно охарактеризовать качество процесса позволяет система оценки технологических допусков машин и поточных линий, которая применительно к дозаторам и питателям непрерывного действия может быть выражена в допуске подачи Δ , выраженный в % от настроенного значения. В качестве первого приближения можно принять настроенное значение подачи дозатора равным среднему значению в том или ином режиме его работы. При этом, поток корма, выдаваемый дозатором, можно представить как случайный процесс в виде реализации подачи во времени.

1.4.2 Обзор научных исследований по изучению процесса измельчения плодов

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 элемен-

та 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 [55].

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

$$P = P_0 + P_g + P_v. \quad (1.5)$$

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 [193], на основании результатов экспериментальных исследований, предложил эмпирические формулы, но они очень громоздкие. Поэтому при расчетах величины 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, яв-

ляются: 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, которое в общем виде выглядит так:

$$Q = 60Vn\gamma, \quad (1.6)$$

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, 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 возникают 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 [54]

$$P_0 = \sigma_{вр}le, \quad (1.7)$$

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 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 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, раз-

меры которых соответствуют зоотехническим требованиям на корм крупному рогатому скоту до 80,5%, при минимальных потерях питательных веществ до 0,1% [281].

1.5 Обзор и анализ научных исследований рабочего процесса бункерных раздатчиков-смесителей

1.5.1 Обзор и анализ научных исследований процесса отделения и смешивания кормов бункерными раздатчиками

От качества выполнения процесса смешивания во многом зависит исполнение поставленной задачи. Используемые в настоящее время конструкции серийно выпускаемых смесителей оказываются не всегда удачными как с технологической, так и с экономической точек зрения, что заставляет проводить дальнейшие исследования по данному вопросу.

В.Г. Коба и Г.М. Обухан [127, 130, 200] исследовали дозирующие органы битерного типа с точки зрения энергетики и установили, что битера работоспособны только в определенном интервале скоростей, то есть до тех пор, пока центробежная сила, действующая на определенные частицы корма, будет меньше силы сопротивления пограничной кормовой зоны на сжатие. Авторами было рассмотрено действие окружного усилия пальцев. Весь период вращения битера был разбит на четыре квадранта и определено, что горизонтальная составляющая центробежной силы не способствует отделению корма от основного бурта, а наоборот, стремится сбросить отдельные частицы корма с последующим их внедрением в пограничную кормовую зону бурта.

П.И. Моисеевым [185] при анализе работы подающего конвейера и битеров принимались следующие допущения: корм однороден по составу; подача его продольным транспортером при установившемся режиме работы равномерна на каждый ряд пальцев битера; отделение частиц от корма от общей массы возможно только под действием пальцев; пальцы расположены симметрично по окружности битера при одинаковом их количестве в ряду.

Исследования автора показывают, что с целью улучшения работы битеров пальцы их следует установить с некоторым наклоном по ходу вращения, например, для кукурузного силоса угол наклона

должен быть равен 20° (при скорости подающего транспортера и битера соответственно равной 0,024 м/с и 1,81 м/с и длине пальцев 80 мм).

В.С. Краснов и В.В. Гопка [51, 52, 140], исследуя работу битера, изменяли угол наклона их пальцев на $35-40^\circ$ в сторону, противоположную вращению битера для лучшего соскальзывания с них частиц корма.

Ю.Л. Лившиц с соавторами [159, 161] получил снижение мощности, расходуемой на работу битеров, в 1,3 раза за счет ступенчатого расположения битеров. Был установлен оптимальный угол смещения, составляющий $30-33^\circ$, образованный линией, соединяющей центры битеров и вертикалью, отклоненный в сторону кормового монолита, что позволило уменьшить зоны обрушения корма.

Работу битеров в качестве смешивающего органа исследовал В.У. Горидовец [53]. За основу брался кормовыгрузной механизм мобильных раздатчиков кормов, при их послойном расположении в бункере. Исследования проводились на смеси силоса и соломы.

Смешивающая способность оценивалась по окружной скорости штифтов и углу смещения блока битеров. Была получена оптимальная окружная скорость штифтов битера 2,4-2,6 м/с и выявлено, что дальнейшее увеличение этой скорости практически не повышает качество смеси.

Угол смещения блока битеров рекомендуется принимать в интервале 1,32-1,4 рад, что способствует попаданию частиц корма, отделенного верхним битером на нижний, и дает дополнительное перемешивание.

Недостатком такого смесителя является то, что не предложен эффективный способ укладки кормов в бункере послойно.

Всероссийским научно-исследовательским и проектно-технологическим институтом механизации животноводства создана опытная передвижная смесительная установка для закладки силоса, состоящего из бункеров-дозаторов на базе кормораздатчиков КТУ-10 с электроприводом, пневмотранспортером и сборным транспортером [12, 229]. В один бункер-дозатор подают зеленую массу, в другой – соломенную сечку. Потoki этих кормов выбрасываются битерами навстречу друг другу и в процессе подачи на выгрузной транспортер перемешиваются, дальнейшее перемешивание

происходит на пневмотранспортере. Недостатком является большая энергоемкость этой машины.

Е.Г. Бочарова [17] исследовала навесной смеситель для смешивания послойно расположенных объемов зеленой массы и соломы при закладке силоса. Смешивание производится рабочим органом в виде двух встречно вращающихся битеров с пальцами за счет протаскивания пальцами частиц одного компонента в потоке другого и перераспределения их во время падения.

Исследования показали влияние физико-механических свойств кормов на однородность смеси. Верхний предел измельчения зеленой массы был установлен 70 мм, соломы – 90 мм. Установлено, что однородность получаемой смеси зависит от толщины слоя смешиваемых компонентов и угла наклона битеров, оптимальные значения которых соответственно равны 0,55-0,60 м и 30° в сторону бурта, установлены оптимальные конструктивно-режимные параметры.

Из приведенного анализа следует, что наиболее эффективным для смешивания стебельных кормов является смешивающий орган битерного типа, однако их применение в существующих установках для приготовления кормосмесей связано или с низким качеством смешивания и необходимостью для ее увеличения уменьшать толщину слоев смешивающих компонентов до минимума, или с другой стороны, большей энергоемкостью и сложностью.

Таким образом, изучение смешивающей способности битерного механизма, которая в настоящее время изучена недостаточно в плане совмещения операций по отделению частиц и их перераспределению в процессе отделения, имеет большое теоретическое и прикладное значение.

1.5.2 Обзор научных исследований процесса дозированной выдачи кормов бункерными раздатчиками

Как уже было сказано выше, исследования ученых и опыт эксплуатации мобильных бункерных раздатчиков стебельных кормов позволили установить, что качество дозирования в значительной степени зависит от равномерности заполнения бункера кормораздатчика [10, 11, 73, 95, 97, 133, 134, 201] в том смысле, что загрузка бункера кормораздатчика без выравнивания свободной по-

верхности корма приводит к тому, что при выдаче корма к кормоотделителям подается слой корма переменной высоты и плотности. Колебания высоты и плотности слоя корма приводят к выдаче разных по объему и массе порций корма. Кроме того, за счет обрушения задней грани кормового слоя в конце раздачи снижается норма выдачи.

В настоящее время способы решения задач повышения качества дозирования можно представить как задачу повышения равномерности дозирования путем совершенствования существующих и разработки новых конструкций бункерных дозаторов (рис. 1.22 а, б, в, г).

Ряд исследователей (рис. 1.22 а, б) [355, 359] предлагают для исключения обрушения грани кормового слоя устанавливать подвижную заднюю стенку у серийных бункерных кормораздатчиков или использовать схему с надвиганием кормоотделителей на слой корма, причем последнее может осуществляться как с торцевой части кормового слоя (рис. 1.22 б), так и сверху (рис. 1.22 в). Было установлено, что при надвигании кормоотделителей на слой корма снижается энергоемкость процесса дозирования [201], однако при надвигании кормоотделителей сверху оказывается невозможным распределить корм при загрузке по всей ширине бункера и происходит увеличение нормы выдачи к концу раздачи за счет изменения плотности корма по высоте.

В дозаторах с гравитационной подачей кормовых материалов к кормоотделителям (рис. 1.22 г) рядом исследователей наблюдается изменение нормы выдачи корма в процессе выгрузки за счет изменения плотности по высоте и обусловленной в основном давлением вышележащих слоев [117, 274, 293].

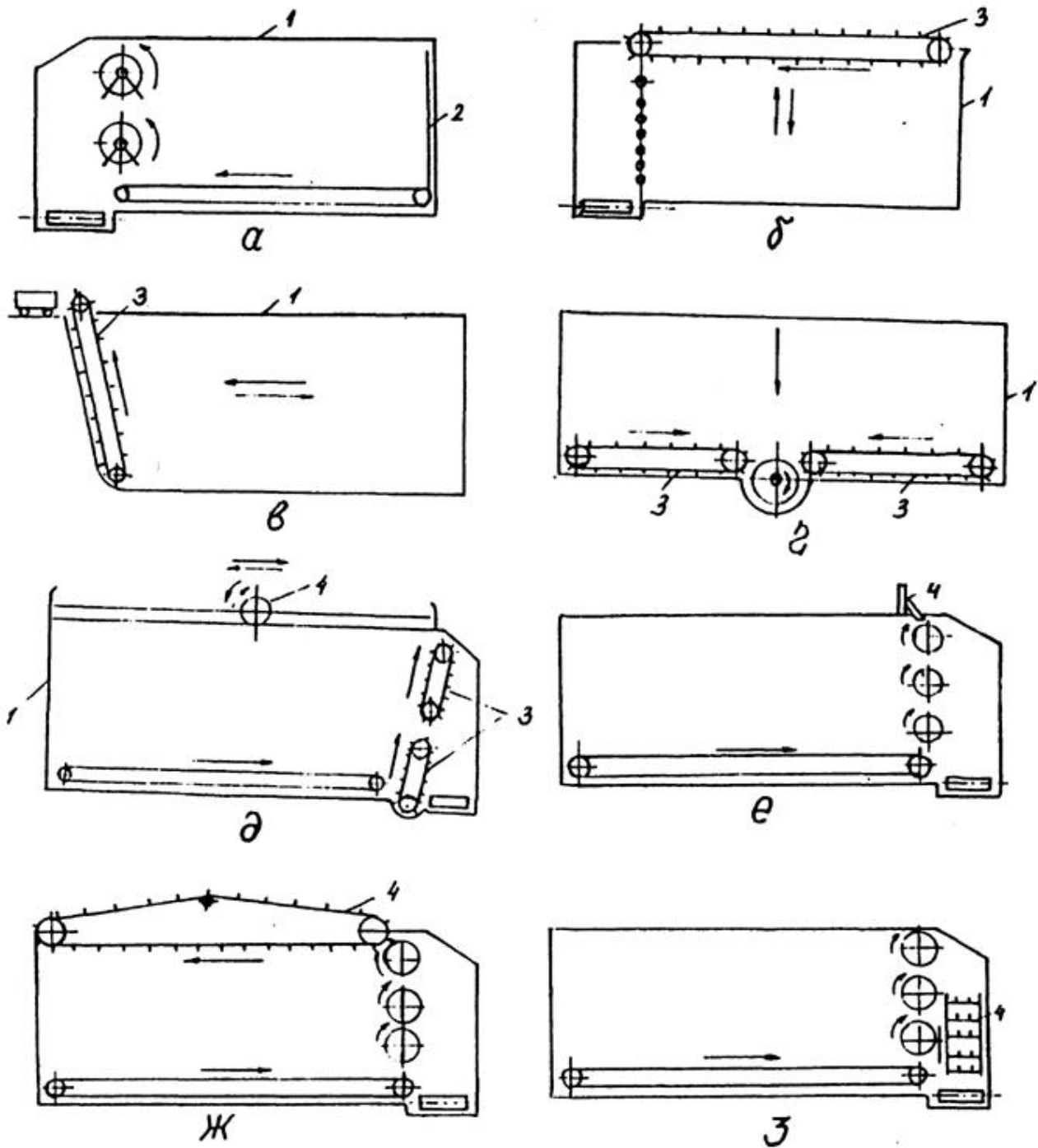


Рис. 1.22. Конструктивно-технологические схемы бункерных накопителей: а – с надвиганием кормового бурта на кормоотделители и подвижной задней стенкой; б, в – с принудительной подачей транспортерных кормоотделителей на подвижный бурт; г – с гравитационной подачей кормовых материалов к кормоотделителям; д, ж – с активным разравнивающим устройством и транспортерными кормоотделителями; е – с пассивным разравнивающим устройством; з – с выравниванием после кормоотделителей; 1 – бункера; 2 – подвижная задняя стенка; 3 – транспортерные кормоотделители; 4 – разравнивающие устройства

Таким образом, первое направление работ по повышению качества дозирования можно признать нерациональным, так как совершенствование конструкций рабочих органов бункерных дозаторов не позволяет существенно повысить качество дозирования за счет того, что не учитывается процесс заполнения бункером корма, основными факторами при этом являются распределение корма в объеме бункера с постоянной площадью сечения кормового слоя и его плотности по длине. Эта задача заставляет ученых искать эффективные способы механизированного решения проблем улучшения качества дозирования за счет применения специальных технических средств, позволяющих выравнивать свободную поверхность корма и его плотность по длине бункера, как в бункерах-дозаторах (рис. 1.22 д, е, ж, з), так и в бункерах-накопителях (рис. 1.22 и, к), предназначенных для перегрузки корма в бункерные раздатчики.

На рисунке 1.22 д, ж представлены конструктивно-технологические схемы бункерных дозаторов с активными рабочими органами, которые совершают циклическое движение относительно неподвижного кормового слоя. Наименьшую энергоемкость имеют пассивные выравнивающие устройства (рис. 1.22 е), рабочие органы которых представляют собой скребки, счесывающие гребенки и граблины, установленные неподвижно, относительно которых перемещается кормовой слой после его загрузки. Также после загрузки бункера-дозатора производится выравнивание кормового слоя, показанное на рисунке 1.23 з. Особенностью ее является расположение выравнивающего транспортера после кормоотделителей, что позволяет исправить погрешности, созданные кормоотделителями [338, 154, 275, 293]. А. Кутлембетов [153] отмечает, что такое устройство позволяет корректировать поступление корма лишь по одному параметру – высоте.

Исследованиями, представленными в работах [70, 73, 81], а также авторами других работ [132, 158, 198], установлено, что целесообразным решением следует считать предварительное выравнивание кормового слоя по поверхности и плотности в автономно установленном бункере-накопителе, емкость которого равняется емкости бункерного кормораздатчика и имеющего в нижней части открывающиеся створки.

Авторами работ [73, 134] исследованы процессы заполнения бункера-накопителя с переменным объемом с помощью разравни-

вающего устройства. Было установлено, что неравномерность высоты поперечного сечения комового слоя и плотности его по длине в бункере зависит от режима работы параметров разравнивающего устройства, основными из которых являются: показатель кинематического режима устройства, длина горизонтальных пальцев, высота планки граблины, а также от неравномерности подачи корма в бункер загрузочным транспортером.

В.Г. Кобой и В.А. Силагиным [127, 261] установлено, что характерной особенностью колебания высоты и плотности слоя корма по длине бункера является их принадлежность к категории случайных величин.

Г.М. Обухан [200] показал, что наилучшее качество формирования слоя было получено в случае принудительного распределения корма в бункере. Автором было исследовано устройство для автоматического изменения подачи корма к рабочим органам в зависимости от его плотности [349, 199].

Из приведенного анализа следует, что на равномерность дозирования корма бункерными раздатчиками оказывают влияние как конструктивно-режимные показатели самого раздатчика, так и характер заполнения емкости бункера кормовыми компонентами.

Смешивание кормовых компонентов возможно мобильными бункерными кормораздатчиками типа КТУ-10(РММ-5) с битерным механизмом при предварительной послойной укладке составляющих кормового рациона в бункере и дальнейшей выдачей отделяюще-смешивающими органами битерного типа.

1.6 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 идеаль-

ным 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 [287]

при $B < B_0$

$$\theta = \frac{B \cdot 100}{B_0}, \quad (1.8)$$

при $B > B_0$

$$\theta = \frac{(100 - B) \cdot 100}{100 - B_0}, \quad (1.9)$$

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 [287].

Степень однородности также может быть определена по формулам А.А. Лапшина [207, 173, 287]

при $B < B_0$

$$\theta = \frac{1}{n} \sum \frac{B}{B_0}, \quad (1.10)$$

при $B > B_0$

$$\theta = \frac{1}{n} \sum \frac{2B_0 - B}{B_0}, \quad (1.11)$$

где n – число проб.

О.Б. Пошевкин [230] предлагает формулу для определения коэффициента вариации числа единиц контрольного компонента в пробе ν

$$\nu = \sqrt{\frac{1-\rho}{\rho}}, \quad (1.12)$$

где ρ – концентрация частиц контрольного компонента.

При различных размерах частиц

$$\nu_{(n)} = \sqrt{\frac{1-\rho}{m\rho}}, \quad (1.13)$$

где m – общее число частиц в пробе.

О степени однородности можно судить по отношению среднеквадратических отклонений теоретического и эмпирического распределения [255]

$$\theta = \frac{\delta_0}{\delta} \frac{\pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_i - B_{cp})^2}{n-1}}}{\pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}}, \quad (1.14)$$

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, 115, 207]

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (1.15)$$

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100, \quad (1.16)$$

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

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1.17)$$

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.

Степень однородности определяется из выражения

$$\theta = 100 - v \quad (1.18)$$

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.

Таким образом, исследования ученых и передовая производственная практика показывают, что полноценные кормосмеси на основе измельченных стебельных, углеводистых и концентрированных кормов наиболее полно удовлетворяют физиологические потребности крупного рогатого скота. Их скармливание способствует усилению переваримости питательных веществ при одновременном снижении затрат на раздачу вследствие использования для этой цели одной унифицированной машины. При этом в кормосмесях можно скармливать в 1,5-2 раза больше малоценных грубых кормов с величиной резки 8-10 мм, чем при раздельной раздаче.

Включение в кормовую смесь углеводистых кормов – в виде измельченных плодов тыквы – позволяет обеспечить организм животного такими элементами, как сахара и крахмал, имеющими большое значение в регулировании обмена веществ у животных.

В соответствии с зоотехническими требованиями углеводистые корма измельчают непосредственно перед скармливанием, так как измельченная масса, окисляясь, быстро темнеет, теряет сок и покрывается плесенью. Эти операции выполняют в поточно-технологических линиях кормоцехов с дальнейшим смешиванием с остальными компонентами кормового рациона и раздачей в кормушки животным.

Однако хранение плодов тыквы в механизированных хранилищах требует больших затрат, связанных с их строительством, созданием оптимального микроклимата и механизацией работ в зимний стойловый период.

Плоды тыквы во всех хозяйствах Амурской области, Дальнего Востока и Сибири хранятся в замороженном виде. В связи с этим на их размораживание необходимы большие затраты энергии с целью

подготовки к дальнейшей обработке – измельчению и смешиванию с другими компонентами кормового рациона. По времени эти операции могут длиться 3-4 часа и более в зависимости от применяемого технологического оборудования. Кроме этого, плоды тыквы из-за своих больших размеров практически не могут быть подвергнуты механической обработке с помощью серийно выпускаемых машин и, как правило, скармливаются животным в неподготовленном виде и в малых объемах.

В то же время, приготовление и раздача кормовых смесей на животноводческих фермах являются процессами энергоемкими и трудоемкими, требующими значительных дополнительных затрат на строительство кормоцехов, приобретение и использование машин и оборудования. Однако при этом размер затрат, своевременность и качество выполнения процессов по кормлению животных в конечном итоге определяют стоимость продукции животноводства.

Проведенные исследования и анализ использования в производственных условиях ПТЛ на базе указанных средств показывают, что наиболее эффективны линии, выполненные по схеме с использованием мобильных раздатчиков-смесителей типа РСП-10.

Вместе с тем, обеспечивая существенное снижение трудо- и энергозатрат и высокую надежность процесса кормления, данная ПТЛ имеет ряд существенных недостатков, основными из которых являются:

- низкая технологическая надежность работы линии смешивания и выдачи мобильным оборудованием, особенно при работе с крупноизмельченными стебельными кормами;
- низкие качественные показатели смешивания и дозированной выдачи.

В настоящее время также необходимо уделить внимание разработке специального технологического оборудования для индивидуальных фермерских хозяйств, так как в связи с развитием новых форм хозяйствования возрастает их роль в решении вопросов снабжения населения страны продуктами питания.

Изучению вопросов приготовления и выдачи полнорационных кормовых смесей посвящены многие исследования. Они явились существенным вкладом в науку и практику механизации животноводства и стали основой создания существующей системы машин для животноводства.

Однако большая часть проведенных работ была посвящена изучению отдельных процессов и обоснованию конструктивно-режимных параметров машин без учета таких взаимосвязанных процессов, как хранение кормовых компонентов и их подготовка к скармливанию, смешивание и выдача именно полнорационных кормовых смесей жвачным животным.

Анализ проведенных исследований показывает, что основой повышения эффективности производства животноводческой продукции являются кормовые рационы с обязательным содержанием в них углеводистых кормов –или корнеклубнеплодов или тыквы. Однако затраты на их приготовление все еще высоки из-за больших капитальных вложений, высоких затрат труда на подготовку углеводистых кормов к скармливанию, низких качественных показателей при осуществлении процессов измельчения, смешивания и выдачи полнорационных кормовых смесей.

Вместе с тем, ПТЛ приготовления и выдачи полнорационных кормовых смесей для крупного рогатого скота имеют низкую надежность функционирования из-за своей сложной структуры. Не все применяемое оборудование является эффективным, а для таких процессов как подготовка к скармливанию плодов тыквы его вовсе не существует. Это не позволяет при объективно малых затратах полностью сбалансировать кормовой рацион по питательным веществам и сахаропротеиновому отношению, а также осуществлять процессы приготовления и раздачи полнорационных кормосмесей с высокими качественными показателями.

При этом необходимо учитывать, что максимальную прибыль от производства продукции животноводства при стабильных ценах можно получить только от снижения ее себестоимости и стоимости используемых кормов. Этого можно достичь рациональными подходами к использованию углеводистых кормовых компонентов, а также способов их подготовки к скармливанию с помощью ПТЛ приготовления и выдачи полнорационных кормовых смесей при одновременном повышении качества работы этих машин [41, 108, 120].

Проведенный анализ существующих способов, а также конструктивно-технологических схем линий и машин по процессам механизированной системы кормления КРС показал, что в настоящее время имеется противоречие между желанием использовать в течение

ние всего зимнего стойлового периода полнорационные кормовые смеси с оптимальным сахаропротеиновым соотношением, содержащие так называемые «молокогонные» кормовые компоненты в виде тыквы и возможностью их включения в рационы кормления коров в этот период в соответствующей физической форме в составе кормовых композиций и комбинаций, а также требуемых количествах.

На основании изложенного, целью настоящих исследований является повышение эффективности процессов механизированного кормления крупного рогатого скота путем совершенствования технологических процессов и технических средств по приготовлению полнорационных кормовых смесей КРС с оптимальным сахаропротеиновым соотношением.

Рабочей гипотезой для решения данной проблемы, является предположение о том, что повышение эффективности процессов приготовления и раздачи полнорационных кормовых смесей КРС с оптимальным сахаропротеиновым соотношением, за счет обеспечения их высоких качественных показателей и снижения материальных, трудовых и энергетических затрат, возможно на основе изыскания и выбора рациональных технологических подходов и способов, позволяющих использовать в течение всего зимне-стойлового периода полнорационные кормовые смеси, содержащие в своем составе физиологически ценные кормовые компоненты в виде тыквы, в соответствующей физической форме в составе кормовых композиций, а также конструктивно-технологических схем линий и машин, в объективно и реально возможной степени, совмещающих рабочие процессы по измельчению хранящихся в определенных условиях компонентов, а также их смешиванию и раздаче с выявлением функциональных зависимостей и закономерностей, характеризующих указанные процессы с последующим установлением области оптимальных значений их параметров и режимов работы.

Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОРМЛЕНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ПОЛНОРАЦИОННЫМИ КОРМОВЫМИ СМЕСЯМИ

2.1 Обоснование экономико-математической модели оценки эффективности механизированного кормления крупного рогатого скота полнорационными кормовыми смесями

Научными исследованиями и передовой производственной практикой доказано, что кормление животных должно осуществляться полнорационными многокомпонентными кормовыми смесями в соответствии с их физиологическими потребностями [14, 19, 61, 63, 144, 168, 180, 182, 209, 232, 258, 279].

Известно, что процесс приготовления и выдачи полнорационных кормовых смесей является сложной биотехнической целенаправленной системой “человек→корм→машина→животное”. 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, то есть 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 ВНИИТиН (г. Тамбов), смешивание объемистых грубых, сочных кормов с большим содержанием клетчатки, концентрированных или 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 крупному рогатому скоту, не позволяют готовить полнорационные кормосмеси с высокой однородностью 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 зимнего стойлового периода.

При разработке и проектировании линий приготовления полнорационных кормосмесей крупному рогатому скоту, 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 [78, 83, 311].

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

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

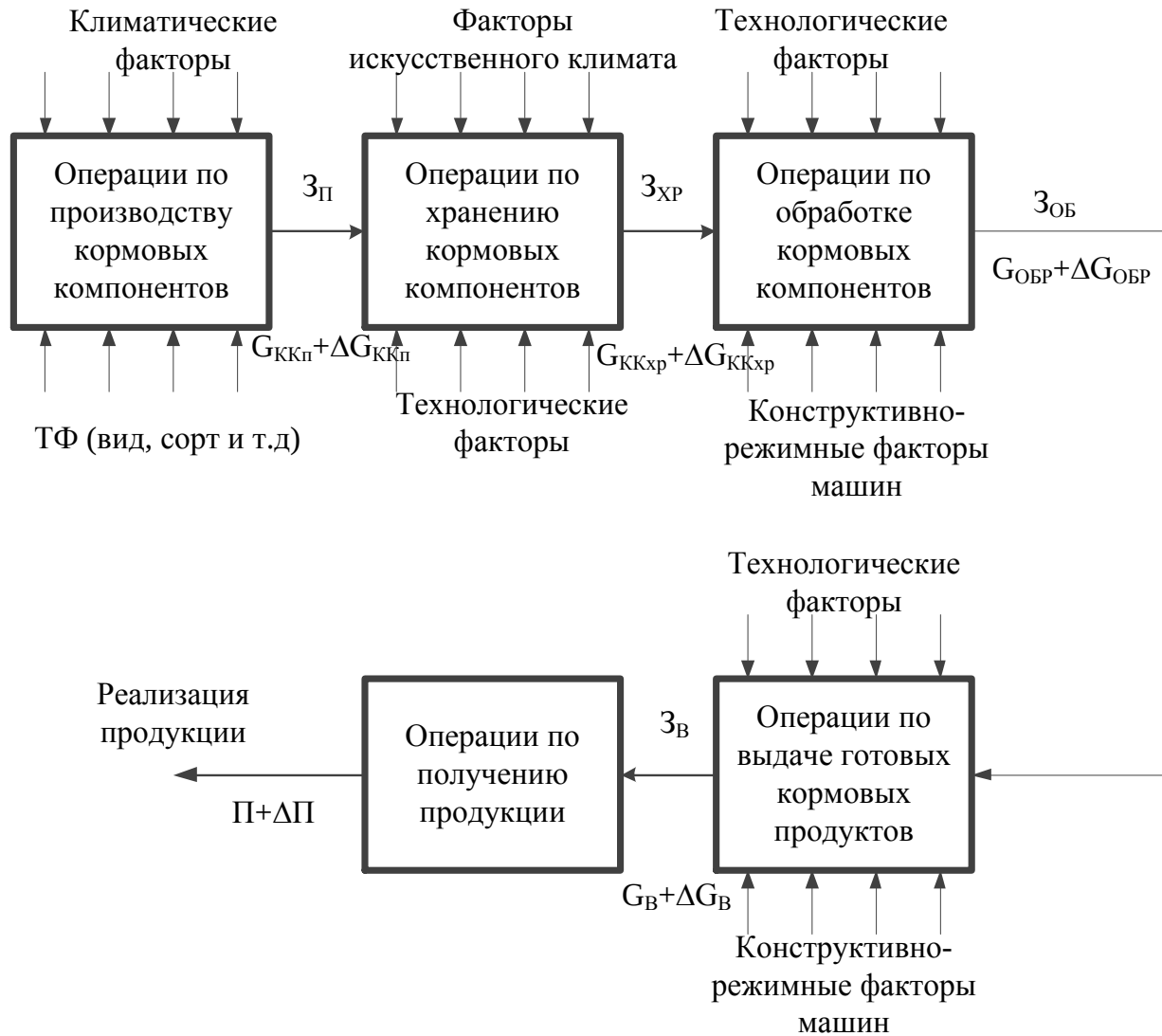


Рис. 2.1. Общая схема к обоснованию оценки эффективности принимаемых технических и технологических решений по механизированному кормлению КРС, где: КФ-климатические факторы; ФИК-факторы искусственного микроклимата; ТФ-технологические факторы; КРФМ-конструктивно-режимные факторы машин; $З_{\Pi}$ и $G_{\text{ККп}}$ -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; Π -получаемая прибыль от реализации продукции

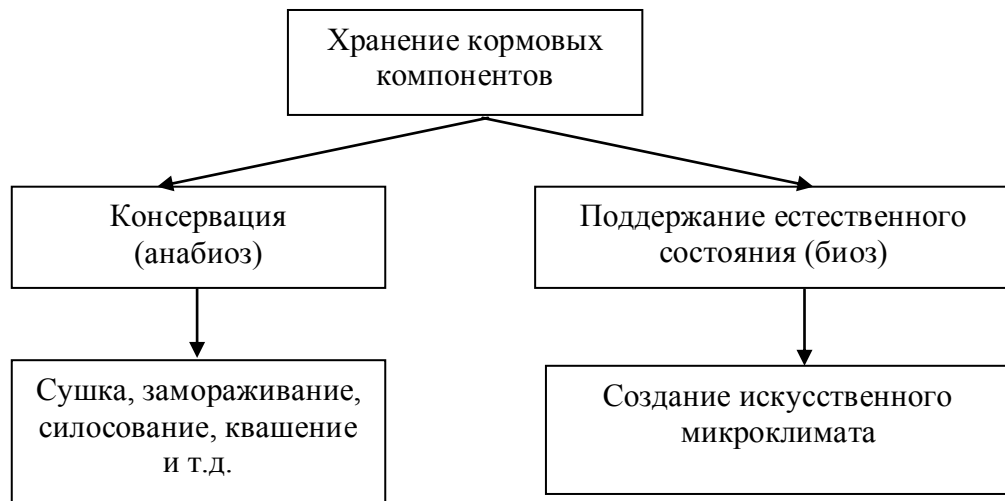


Рис.2.2.Схема к анализу способов хранения исходного кормового сырья и продуктов его переработки

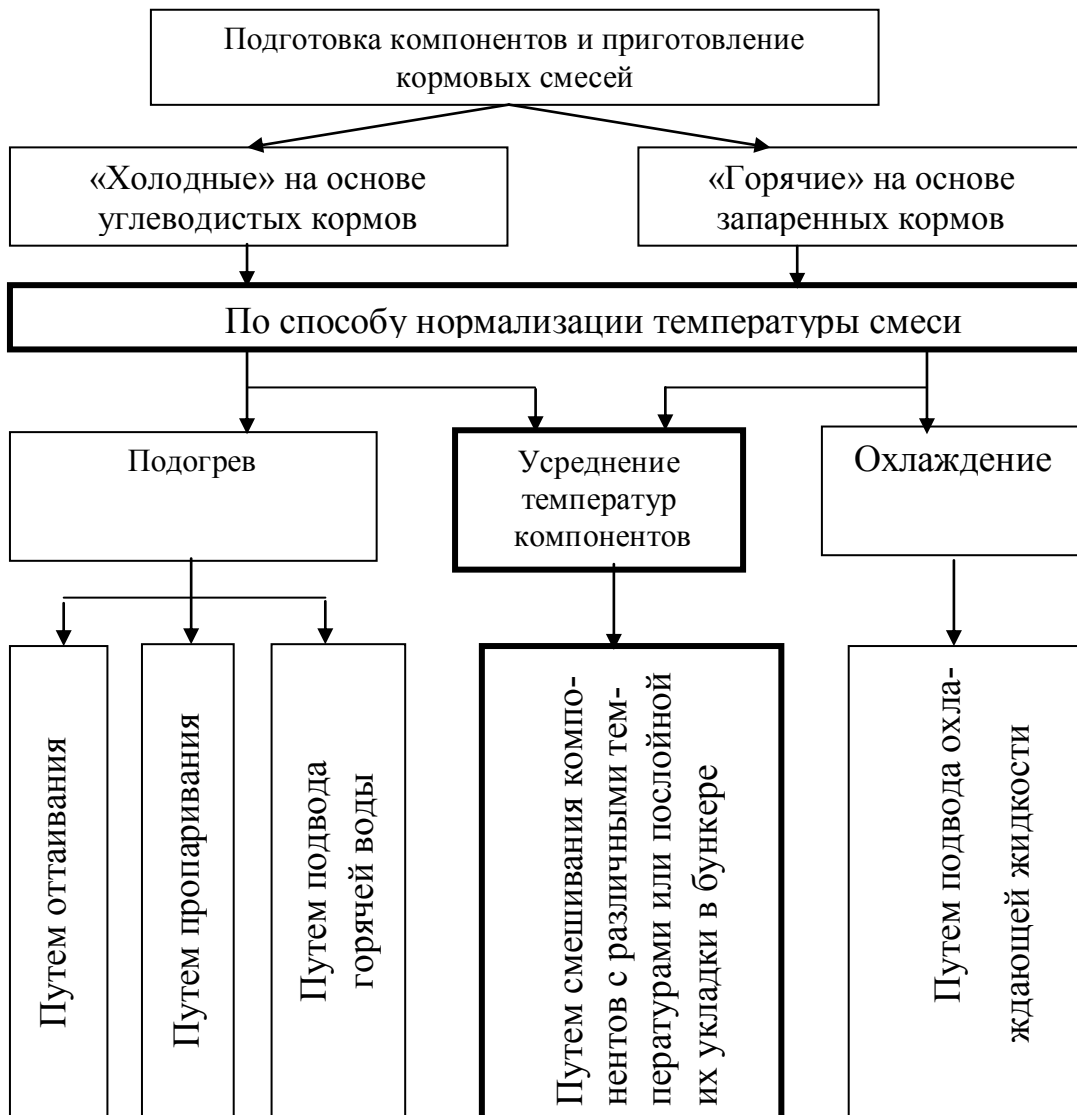


Рис.2.3. Схема классификации способов приготовления полнорационных кормовых смесей

Выбор системы механизированной раздачи кормовых смесей также зависит от множества факторов. Наиболее целесообразным и эффективным вариантом может быть система с использованием мобильных раздатчиков-смесителей.

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.

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 такое кормовое сырье, как тыква. Плоды тыквы содержат и сахара и каротин [59]. В то же время производство и хранение ККП связано с высокими затратами труда и средств.

В отличие от указанных видов ККП, производство тыквы менее затратно, ее 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.

С учетом вышеприведенного экономико-математическая модель оценки эффективности функционирования механизированного процесса кормления животных можно представить в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \mathcal{E}_r &= \sum_{i=1}^5 \Delta \mathcal{E}_i \rightarrow \max; \\ \text{при } \sum_{i=1}^n 3 &\rightarrow \min; \sum_{i=1}^n K \rightarrow \min; \\ N_{y\partial}^{ПТЛ} &= \sum_{i=1}^n N / Q^{ПТЛ} \rightarrow \min; \\ \text{при } t_k &\leq [t_k] \end{aligned} \right\}, \quad (2.1)$$

где $\Delta \mathcal{E}_r$ - годовой экономический эффект по процессу механизированного кормления животных;

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

$\sum_{i=1}^n 3$ – суммарные годовые эксплуатационные затраты по принятым процессам;

$\sum_{i=1}^n K$ – суммарные капитальные вложения в процесс механизированного кормления животных;

n – число процессов;

$N_{y\partial}^{ПТЛ}$ – энергоемкость процесса механизированного кормления животных;

$\sum_{i=1}^n N$ – суммарные затраты энергии на процесс механизированного кормления животных;

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

t_k - продолжительность времени кормления;

$[t_k]$ – допустимая по зоотехническим требованиям.

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

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

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 обработке ККП и тыквы в системе механизированного кормления животных полнорационными кормосмесями;

$\Delta \mathcal{E}_3$ – экономическая эффективность от кормления полнораци-

онными кормовыми смесями;

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

$\Delta\mathcal{E}_5$ — экономическая эффективность от получения дополнительной продукции в результате реализации рациональных способов и технических средств, обеспечивающее более точное дозирование ПРКС в кормушки животным.

Первая составляющая выражения (2.2) по сути есть разница в стоимости ККП и тыквы

$$\Delta\mathcal{E}_1 = \left(\frac{\sum 3_{\text{ККП}}^{\text{П}}}{G_{\text{ККП}}} + 3_3' \right) = C_{\text{ККП}} - C_T, \quad (2.3)$$

где $\sum 3_{\text{ККП}}^{\text{П}}$ и $\sum 3_T^{\text{П}}$ — суммарные затраты на производство соответственно ККП и тыквы;

$G_{\text{ККП}}$, G_T — объемы производства ККП и тыквы;

$C_{\text{ККП}}$, C_T —себестоимость производства соответственно одной тонны ККП и тыквы;

$3_{\text{ККП}}'$, $3_3''$ — плата за землепользование по базовому и предлагаемому вариантам.

Экономическая эффективность от разницы затрат по хранению и обработке ККП и тыквы равна

$$\Delta\mathcal{E}_2 = \left(\frac{\sum 3_{\text{ККП}}^{\text{ХР}} + \sum 3_{\text{ККП}}^{\text{ОБР}}}{G_{\text{ККП}}} + 3_3' \right) - \left(\frac{\sum 3_T^{\text{ХР}} + \sum 3_T^{\text{ОБР}}}{G_T} + 3_3'' \right), \quad (2.4)$$

где $\sum 3_{\text{ККП}}^{\text{ХР}}$ и $\sum 3_{\text{ККП}}^{\text{ОБР}}$ — суммарные затраты на хранение и обработку ККП;

$\sum 3_T^{\text{ХР}}$ и $\sum 3_T^{\text{ОБР}}$ — суммарные затраты на хранение и обработку плодов тыквы.

Экономическая эффективность от кормления животных ПРКС

$$\Delta\mathcal{E}_3 = (0,075 - 0,1) \frac{q_{\text{П}} \cdot \mathcal{E}_{\text{К}}}{\mathcal{E}_{\text{П}}} \cdot T \cdot D \cdot C_P, \quad (2.5)$$

где $q_{\text{П}}$ — средневзвешенная питательность суточного кормового рациона, к. ед.;

$\mathcal{E}_{\text{К}}$ — энергетическая ценность, МДж/к.ед.;

$\mathcal{E}_{\text{П}}$ — затраты энергии на получение единицы продукции МДж/кг;

N — количество животных;

D – продолжительность зимне-стойлового периода;

C_p – реализационная цена продукции.

Экономическая эффективность от получения дополнительной продукции за счет повышения однородности смеси

$$\Delta \Xi_4 = \Delta \eta_c \cdot \Delta \Xi_3, \quad (2.6)$$

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

Данный коэффициент определяется как

$$\Delta \eta_{\bar{n}} = \Delta \eta_{\bar{n}}^{\bar{a}} - \Delta \eta_{\bar{n}}^{\bar{i}}, \quad (2.7)$$

$$\text{где} \quad \Delta \eta_{\bar{n}}^{\bar{a}} = \frac{\theta_{\bar{e}\bar{a}} - \theta^{\bar{a}}}{\theta_{\bar{e}\bar{a}}}, \text{ а } \Delta \eta_{\bar{n}}^{\bar{i}} = \frac{\theta_{\bar{e}\bar{a}} - \theta^{\bar{i}}}{\theta_{\bar{e}\bar{a}}}. \quad (2.8)$$

В равенствах (2.7) и (2.8):

$\theta_{ИД}$, $\theta^{\bar{a}}$, $\theta^{\bar{i}}$ – однородность смеси при идеальном смешивании; при использовании базового варианта и при использовании предлагаемого варианта соответственно.

Экономическая эффективность от реализации мероприятий, обеспечивающих повышение точности дозирования ПРКС

$$\Delta \Xi_5 = \Delta \eta_p \cdot -, \quad (2.9)$$

где $\Delta \eta_p$ – коэффициент, учитывающий прирост дополнительной продукции за счет реализации мероприятий по повышению точности дозирования ПРКС.

Данный коэффициент определяется как

$$\Delta \eta_p = \Delta \eta_p^{\bar{b}} - \Delta \eta_p^{\bar{n}},$$

$$\Delta \eta_p^{\bar{b}} = \frac{\Delta \delta_{ИД} - \Delta \delta^{\bar{b}}}{\delta_{ИД}}, \quad (2.10)$$

$$\text{а } \Delta \eta_p^{\bar{n}} = \frac{\Delta \delta_{ИД} - \Delta \delta_p^{\bar{n}}}{\delta_{ИД}} \quad (2.11)$$

В приведенных равенствах (2.10) и (2.11) $\delta_{ИД}$, $\delta^{\bar{b}}$, $\delta_p^{\bar{n}}$ – равномерность выдачи ПРКС в идеальном случае, при использовании базового варианта, при использовании предлагаемого варианта механизированного кормления животных соответственно.

На основании проведенного анализа, принятых допущений и выдвинутых на решение положений по механизированному кормлению КРС полнорационными кормовыми смесями с использованием тыквы разработана обобщенная структурная схема ПТЛ приготовления таких смесей (рис. 2.4).

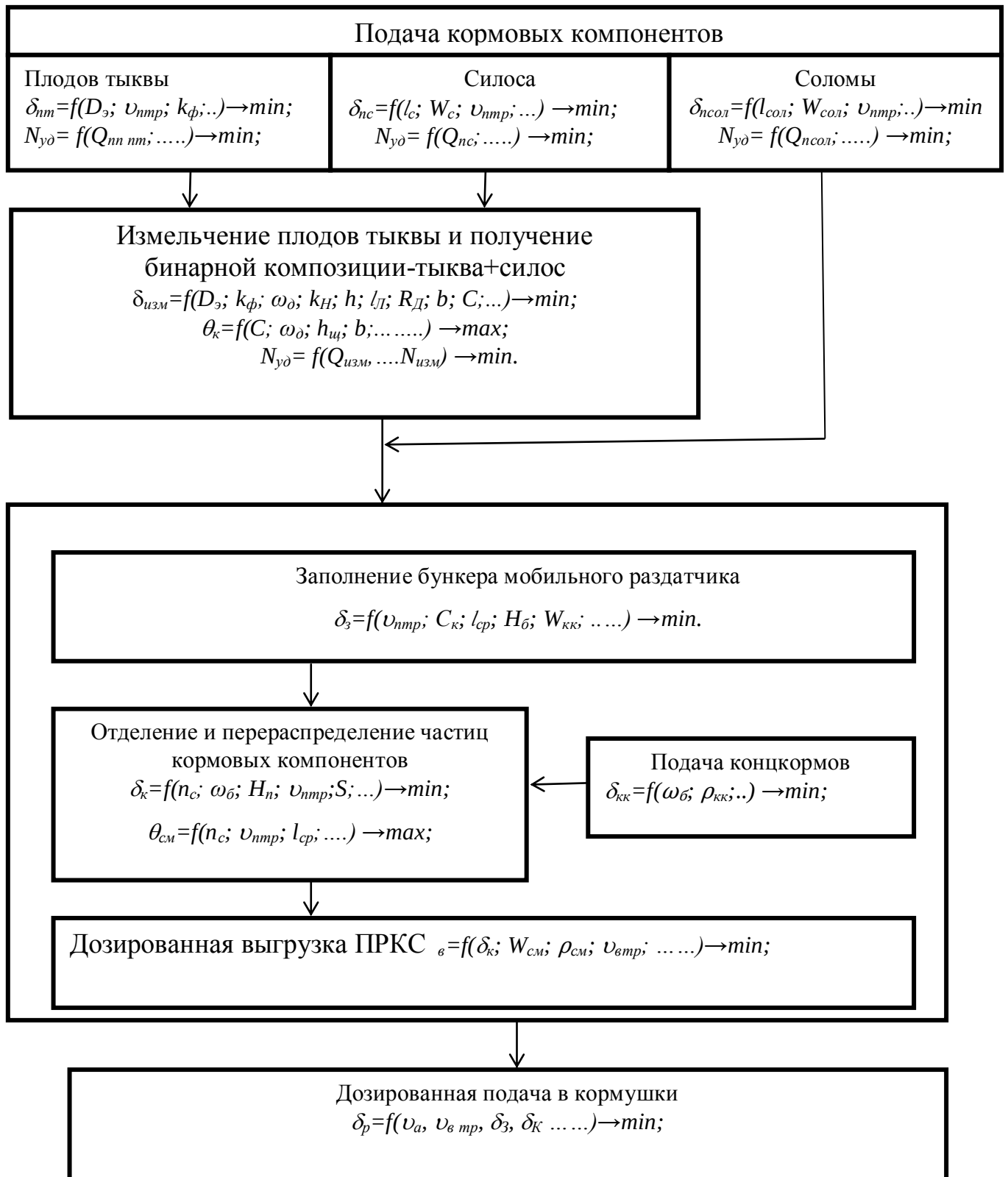


Рис. 2.4. Обобщенная структурная схема процесса механизированного кормления КРС полнорационными кормовыми смесями с использованием тыквы, где D_3 – эквивалентный диаметр плода тыквы; v_{nmp} – скорость подающего транспортера питателя соответствующего вида корма; k_ϕ – коэффициент формы плодов тыквы

Согласно обобщенной структурной схеме процесс механизированного

рованного кормления КРС ПРКС с использованием тыквы 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 плодов тыквы

$$\delta_{nm} = f(D_{\text{э}}; v_{nmp}; k_{\phi}; \dots) \rightarrow \min, \quad (2.12)$$

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

где $Q_{nn\ nm}$ -подача питателя плодов тыквы.

По аналогии с выражениями (2.12) и (2.13): δ_{nc} и δ_{ncol} – неравномерности подачи силоса и соломы, соответственно; l_c и l_{col} – средняя длина частиц силоса и соломы, соответственно; W_c и W_{col} – влажность силоса и соломы, соответственно; Q_{nc} и Q_{ncol} – подача питателя силоса и соломы, соответственно; $\delta_{изм}$ – степень измельчения плодов тыквы; ω_{∂} – угловая скорость вращения диска измельчителя; k_H – количество ножей; h – вылет ножа над диском; l_L – длина лезвия ножа; R_D – радиус диска измельчителя; b – ширина окна в диске под ножом; C – соотношение компонентов (тыква:силос); $h_{из}$ – расстояние между диском и стенкой бункера измельчителя; $Q_{изм}$ – пропускная способность измельчителя; $N_{изм}$ – мощность, потребляемая в процессе измельчения; δ_z , δ_k , δ_{kk} , δ_v и δ_p – неравномерности заполнения бункера мобильного раздатчика кормов; отделения порций корма, подачи концентрированных кормов, дозирования ПРКС и ее подачи в кормушки, соответственно; C_k – соотношение компонентов; l_{cp} – средневзвешенная длина частиц; H_b – высота кормового монолита в бункере раздатчика; W_{kk} – средневзвешенная влажность кормовых компонентов; n_c – число сформированных слоев в монолите; ω_b – угловая скорость вращения битера; H_n – высота пальцев кормоотделителя; S – величина продольного хода битера; ρ_{kk} – плотность концентрированных кормов; W_{cm} – средневзвешенная влажность ПРКС; ρ_{cm} – средневзвешенная плотность ПРКС; $v_{втр}$ – скорость выгрузного транспортера раздатчика; v_a – скорость движения агрегата.

Для процесса подачи силоса

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

- для процесса подачи соломы

$$\delta_{nc} = f(l_c; W_c; v_{nmp}; \dots) \rightarrow \min. \quad (2.15)$$

При этом все три процесса подачи характеризуются энергоемкостью

$$N_{y\partial} = f(Q_{nmp}; \dots) \rightarrow \min. \quad (2.16)$$

В тоже время процесс измельчения плодов тыквы и получения бинарной композиции тыква+силос характеризуется степенью измельчения получаемых частиц тыквы - $\delta_{изм}$ и на их основе однородности получаемой композиции тыква+силос θ_K .

$$\delta_{изм} = f(D_3; k_\phi; \omega_\partial; k_H; h; l_L; R_D; b; C; \dots) \rightarrow \min. \quad (2.17)$$

$$\theta_K = f(c, \omega_D, h_{ш}, v, \dots) \rightarrow \max. \quad (2.18)$$

При этом, данный процесс характеризуется затратами энергии на осуществление измельчения плодов и получения композиции тыква:силос:

$$N_{y\partial} = f(Q_{изм}, \dots, N_{изм}) \rightarrow \min. \quad (2.19)$$

При загрузке бункера мобильного раздатчика кормовым продуктом, согласно принятой схеме необходимо сформировать кормовой монолит с постоянными высотой и плотностью корма в бункере. Целевую функциональную зависимость для данного процесса можно представить как

$$\delta_3 = f(v_{нmp}; C_K; l_{cp}; H_6; W_{KK}; \dots) \rightarrow \min. \quad (2.20)$$

Отделение и перераспределение частиц кормовых компонентов в процессе выдачи ПРКС характеризуется неравномерностью отделения порций корма - δ_K , а также однородностью формирующейся смеси компонентов θ_{CM} .

$$\delta_K = f(n_C; \omega_6; H_n; v_{нmp}; S; \dots) \rightarrow \min, \quad (2.21)$$

где n_C – число сформированных слоев в монолите;

ω_6 – угловая скорость вращения битера;

H_n – высота пальцев кормоотделителя;

S – величина продольного хода битера.

$$\theta_{CM} = f(n_C, v_{нmp}, l_{CP}, \dots) \rightarrow \min. \quad (2.22)$$

Качество дозированной выгрузки ПРКС также оценивается неравномерностью выдачи, а зависимость имеет вид

$$\delta_B = f(\delta_K, W_{CM}, \rho_{CM}, v_{вmp}, \dots) \rightarrow \min, \quad (2.23)$$

где W_{CM} – средневзвешенная влажность ПРКС;

ρ_{CM} – средневзвешенная плотность ПРКС;

$v_{вmp}$ – скорость выгрузного транспортера раздатчика.

И, в конечном итоге, качественные показатели работы мобильного раздатчика как дозатора ПРКС зависят от совокупности всех обозначенных выше управляемых и неуправляемых факторов, а также скорости движения агрегата

$$\delta_P = f(v_a, v_{вmp}, \delta_3, \delta_K, \dots) \rightarrow \min, \quad (2.24)$$

Таким образом, приведенные выше положения позволяют на основе полученной совокупности данных разработать ПТЛ приго-

товления полнорационных кормовых смесей КРС с использованием тыквы, а также обоснованно подойти к исследованию указанных процессов, разработать рациональные схемы технических средств, предназначенных для их реализации, а также установить для каждого из них области оптимальных значений параметров – технологических, конструктивных и режимных.

2.2 Теоретические предпосылки к обоснованию конструктивно-технологической схемы и параметров питателя плодов тыквы

Согласно экономико-математической модели технологические и технические решения по выполнению процесса подачи плодов тыквы в измельчитель должен обеспечивать достаточную равномерность подачи плодов тыквы в измельчитель с наименьшими затратами труда и средств:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{\text{ИТ}} &= f(D_{\text{э}}; v_{\text{нмп}}; k_{\phi}; \dots) \rightarrow \min \\ N_{\text{уд}} &= N_n / Q_{\text{ннт}} \rightarrow \min \end{aligned} \right\} \quad (2.25)$$

где N_n – мощность, затрачиваемая на процесс подачи плодов тыквы.

Выражение для определения затрачиваемой мощности можно представить как

$$N_n = P_{\text{мп}} \cdot v_{\text{нмп}}, \quad (2.26)$$

где $P_{\text{мп}}$ – сила сопротивления перемещению плодов тыквы в питателе.

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

$$P_{\text{мп}} = M_n \cdot g \cdot f = V \cdot \rho \cdot g \cdot f, \quad (2.27)$$

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 тыквы.

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

С учетом данного подхода, подача питателя плодов тыквы определится как

$$Q_{\text{ннт}} = k \cdot D_{\text{э}} \cdot v_{\text{нмп}} \cdot t_{\text{уз}} \cdot t_{\text{э}}^1 \quad k \cdot D_{\text{э}} = k^2 \cdot D_{\text{э}}^2 \cdot v_{\text{нмп}} \cdot t_{\text{э}}^1, \quad (2.28)$$

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

v_{nmp} – скорость подающего транспортера питателя.

Вероятностная модель качественной работы системы питатель→транспортер→измельчитель по сохранению равномерности потока измельченных частиц тыквы имеет вид

$$P = P(A) \cdot P\left(\frac{B}{A}\right) \cdot P\left(\frac{C}{B} \cdot A\right), \quad (2.29)$$

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 защемления плода в камере измельчителя;

$P\left(\frac{C}{B} \cdot A\right)$ – условная вероятность того, что плод тыквы будет измельчен в промежутке времени $t_{\epsilon q_i}^1$.

Качество работы системы питатель→измельчитель плодов тыквы характеризуется:

- неравномерностью потока подачи выходящего из измельчителя плодов тыквы

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{q} - q_i)^2}{P_i}} \quad (2.30)$$

и

$$\delta_i = \frac{\sigma_i}{\bar{q}} \cdot 100\%, \quad (2.31)$$

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

- неоднородностью гранулометрического состава полученных частиц тыквы:

$$\sigma_{\dot{E}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - l_{\dot{E}})^2 \cdot q_i}{\sum m_i}} \quad (2.32)$$

и

$$\theta_{\dot{E}} = \frac{\sigma_{\dot{E}}}{l} \cdot 100\%, \quad (2.33)$$

где l_i , l_{cp} – 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

$$F(q) = 1 - \left(1 + \frac{2q_i}{\bar{q}}\right) \cdot e^{\frac{-2q_i}{\bar{q}}} \quad (2.34)$$

Доверительные границы для этого закона

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

Чем меньше производительность измельчителя и выше неоднородность гранулометрического состава измельченных плодов тыквы, 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 тыквы. В этой связи необходима разработка способа сглаживания колебаний массы измельченных частиц плодов тыквы на сборном транспортере.

Исследованиями многих ученых установлено [6, 79, 207], 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 [151], с увеличением длительности отбора проб коэффициент вариации уменьшается на 10-25% и более за счет сглаживания неравномерности потока- δ_n .

Исследованиями Ю.Д. Видинеева [44] установлена, а А.А. Кутлембетовым и др. подтверждена зависимость коэффициента вариации δ_l , при длительности формирования доз, равной 1с. от продолжительности формирования доз Δt

$$\delta(\Delta t) = \delta_l \cdot \Delta t^{z-1}, \quad (2.35)$$

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

С учетом данного положения, для предлагаемой нами системы питатель $\rightarrow$ измельчитель $\rightarrow$ сборный транспортер, с целью снижения неравномерности выходящего из измельчителя потока продукта $\delta_{изм}$ необходимо обеспечить так называемое «сжатие» выходного потока.

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

Учитывая, что $Q_{ннт} = Q_{изм} = Q_{сб тр}$ можно записать

$$t_{\text{eq}}^1 = \frac{k \cdot V_v \cdot \rho_{\dot{y}}}{k \cdot Q_{i \dot{i} \dot{o}}} = \frac{\pi \cdot D_{\dot{y}}^3 \cdot \rho_{\dot{y}}}{6 \cdot Q_{\text{eq}}} = \frac{V \cdot \rho}{Q_{\text{н} \dot{a} \dot{o} \dot{\delta}}} \quad (2.36)$$

Тогда, с учетом зависимостей (2.35) и (2.36) имеем

$$\delta_{\dot{n}\dot{a}\dot{o}\dot{\delta}} = \delta_{\dot{e}\dot{q}\dot{i}} \cdot \left(\frac{V \cdot \rho}{Q_{\dot{n}\dot{a}\dot{o}\dot{\delta}}} \right)^{z-1} \leq [\delta_{\dot{n}\dot{a}\dot{o}\dot{\delta}}]. \quad (2.37)$$

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

$$\delta_{\dot{e}\dot{q}\dot{i}} \leq \frac{[\delta_{\dot{n}\dot{a}\dot{o}\dot{\delta}}]}{\left(\frac{V \cdot \rho}{Q_{\dot{n}\dot{a}\dot{o}\dot{\delta}}} \right)^{z-1}}. \quad (2.38)$$

Расчеты по условию (2.38) показывают, что даже при самых неблагоприятных условиях для выполнения процессов подачи и измельчения плодов тыквы, обусловленных их физической формой и размерами, а также требуемых значений $[\delta_{сб\ tr}] \leq 5\%$, значение $\delta_{uзм}$ составит $\delta_{uзм} = 20\%$, при

$$v_{сб\ tr} = 0,1 \text{ м/с}.$$

Таким образом, принятый технологический подход по сжатию выходного потока из измельчителя обеспечивает сглаживание колебаний массы измельченного продукта на каждом метре сборного транспортера.

В рассматриваемой нами системе подача $\rightarrow$ транспортирование плодов $\rightarrow$ измельчение плодов $\rightarrow$ заполнение бункера мобильного раздатчика $\rightarrow$ смешивание и выдача кормовой смеси в кормушки процесс подачи плодов тыквы лимитируется с одной стороны дискретным характером измельчения одного плода, имеющего округлую форму с соответствующим ей размером, с другой стороны дискретным характером заполнения бункера мобильного раздатчика и дискретным выполнением им функций, связанных с транспортировкой и выдачей полнорационной кормовой смеси в кормушки животным.

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

$$\frac{B}{D_9} \cdot t_{uзм}^1 = \frac{B}{D_9} \cdot \frac{V_9 \cdot \rho_9}{Q_{nm}}, \quad (2.39)$$

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

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

где M_n, V_n – масса и объем i -го плода тыквы;

Q_{nnt} – подача питателя плодов тыквы.

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

$$t_{изм}^1 \leq \frac{\pi \cdot D_9^2 \cdot \rho_9}{6 \cdot B \cdot v_{nmp} \cdot \rho_9 \cdot \Psi}, \quad (2.40)$$

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

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

При этом, длина такого элемента системы, как транспортер плодов тыквы, с учетом приведенных положений должен быть равен (рис. 2.5)

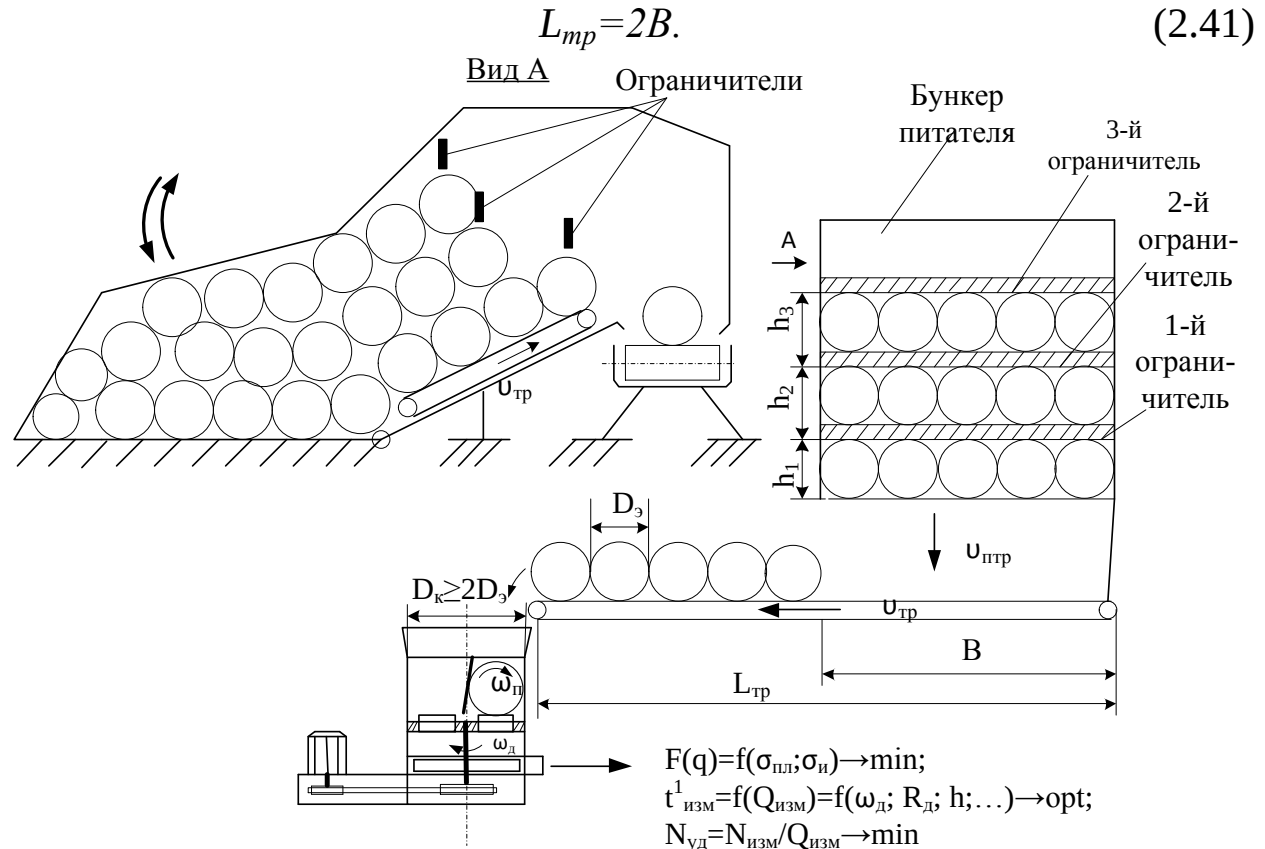


Рис. 2.5. Схема к обоснованию параметров питателя плодов тыквы

Скорость подающего транспортера зависит от количества поданных на него накопителем плодов B/D_3 и определяется как

$$v_{mpn} = \frac{2B}{t_{изм}^1} \cdot \frac{B}{D_3} = \frac{2B^2}{D_3 \cdot t_{изм}^1}. \quad (2.42)$$

Мощность, затрачиваемая на перемещение плодов тыквы, определится как

$$N_n = \frac{B}{D_3} \cdot M_n \cdot q \cdot v_{mpn}, \quad (2.43)$$

где M_n - эквивалентная масса плода.

Обоснование параметра в системе подача $\rightarrow$ транспортер $\rightarrow$ 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.

Таблицей 2.1 представлена циклограмма работы рассматриваемой системы с учетом усредненных таким подходом характеристик

$$\sum_{i=1}^n t_{изм i} = t_{ин}^1.$$

Таким образом, проведенный теоретический анализ системы питатель плодов тыквы $\rightarrow$ транспортер $\rightarrow$ измельчитель плодов тыквы 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 и рассматриваемой системы будут находиться в допустимых пределах их значений, чем и будут обеспечены значения качественных показателей σ_n в выходном потоке корма из измельчителя в требуемых пределах.

2.3 Обоснование схемы и конструктивно-режимных параметров измельчителя плодов тыквы

В соответствии с экономико-математической моделью (2.1) и структурной схемой (рис. 2.4) процесс измельчения плодов тыквы должен

мельчителя

$$\left. \begin{aligned} \delta_{изм} &= f(D_{\phi}; k_{\phi}; \omega_{\phi}; h; l; R_{\phi}) \rightarrow \min \\ N_{уд} &= \frac{N_u}{Q_{изм}} \rightarrow \min \end{aligned} \right\}, \quad (2.44)$$

где N_u – мощность, затрачиваемая на процесс измельчения плодов тыквы.

На основании анализа существующих конструктивно-технологических схем измельчителей корнеклубнеплодов [29, 32, 36, 69, 82, 100, 250, 284, 298], с учетом их преимуществ и недостатков разработана схема измельчителя плодов тыквы (рис. 2.6).

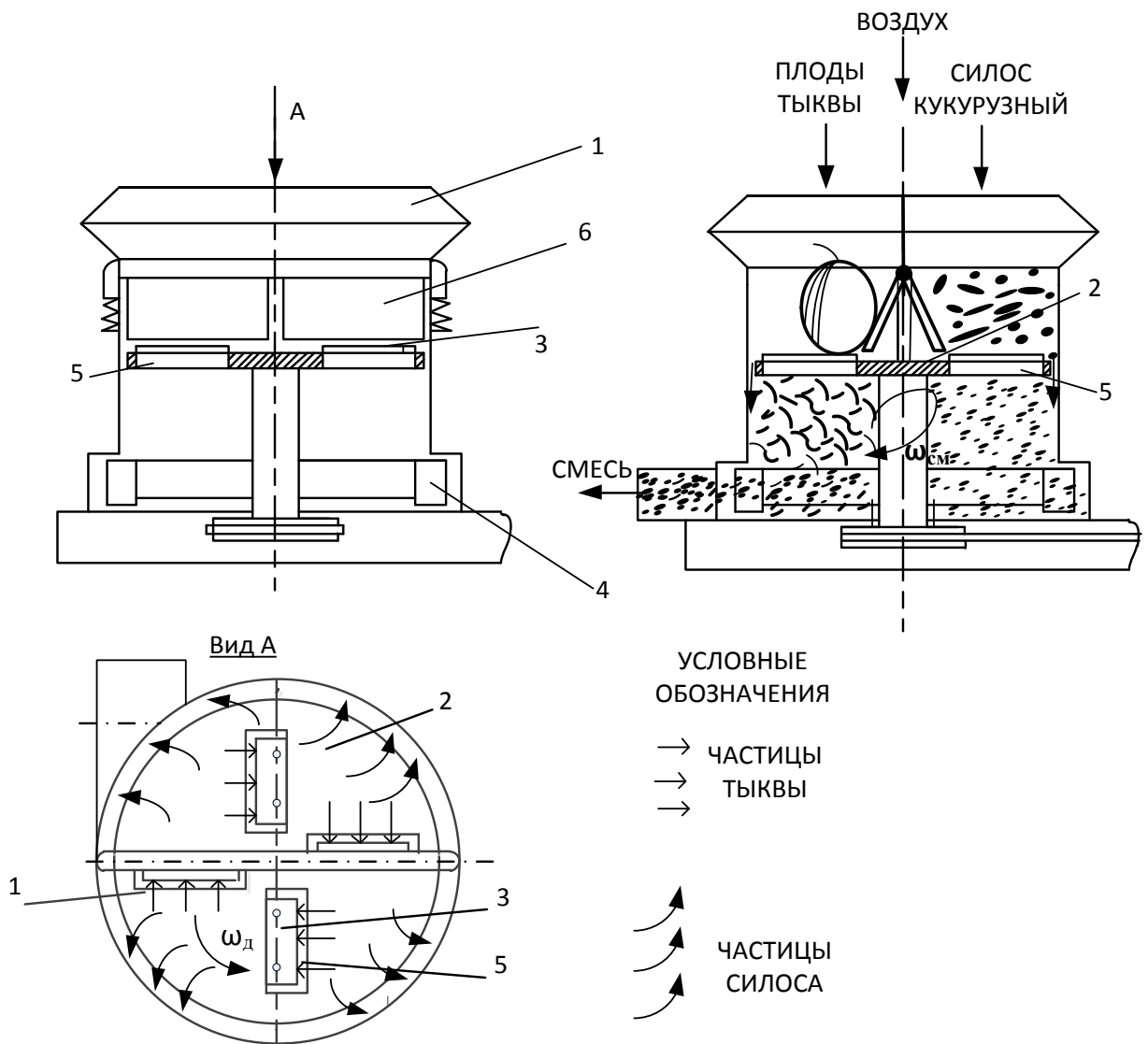


Рис. 2.6. Схема к определению параметров измельчителя плодов тыквы: 1 - камера измельчения; 2 - диск; 3 - ножи; 4 - выгрузные лопасти; 5 - выгрузная горловина; 6 - ограничительные пластины

Процесс измельчения осуществляется путем снятия стружки с вращающегося относительно своей оси плода тыквы. 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 силос, а в другую - плоды тыквы 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 силосом.

Кормосмесь 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 [312], представляющая собой клинообразный нож, установленный над окном, выполненном в диске.

Радиус диска обозначим R . 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 CB (DA) параллельна вертикальной оси, а сторона AB (DC) - горизонтальной оси диска. Длину стороны обозначим l . Сторона CB расположена на расстоянии R_0 от центра диска O .

Нож крепится к диску так, что кромка рабочей части лезвия находится в одной вертикальной плоскости со стороной AB отвер-

ствия. Поэтому в дальнейшем на рисунке 2.7 сторону АВ отверстия будем отождествлять с кромкой рабочей части лезвия.

Рассмотрим некоторые элементы теории резания тыквы и корнеклубнеплодов лезвием АВ.

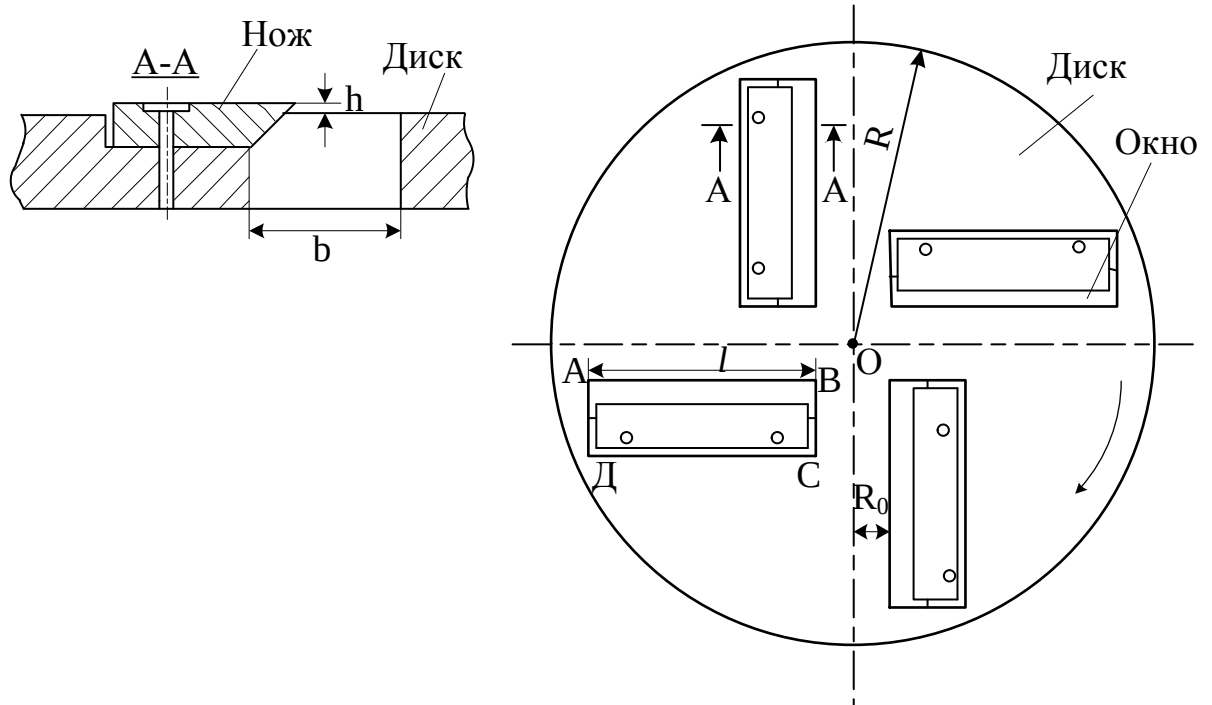


Рис. 2.7. К обоснованию схемы и параметров рабочего органа измельчителя

Если бы вращающийся нож вокруг оси О (рис. 2.8) имел радиальное направление, то такой нож производил бы только рубку корнеклубнеплодов (без скольжения). В рассматриваемом нами случае нож прямой, но не радиальный (лезвие не совпадает с одним из радиусов окружности диска) и лезвие его отстоит от оси вращения на расстоянии Р.

Рассмотрим произвольную точку М (рис. 2.8) лезвия, находящуюся в промежутке $ABA=1$ длины лезвия ножа. Положение точки будем определять ее расстоянием от точки В (правого конца лезвия ножа). Тогда расстояние точки М от центра вращения ножа (центра диска О), как это следует из рисунка 2.8 определится по зависимости

$$r_M = \sqrt{(R_0 + B_M)^2 + MM_1^2} = \sqrt{(R_0 + b_M)^2 + p^2}. \quad (2.45)$$

Угол τ_M между радиусом вектором r_M и кромкой лезвия ножа АВ определяется по зависимости

$$\operatorname{tg} \tau_i = \frac{p}{R_0 + b_i}. \quad (2.46)$$

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

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

Расстояние точки В от центра О вращения лезвия определится по зависимости

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

$$tg r_B = \frac{p}{R_0}. \quad (2.50)$$

Скорость произвольной точки М лезвия равна

$$v_M = \omega \cdot r_M, \quad (2.51)$$

где ω - угловая скорость вращения лезвия (диска).

Скорость v_M можно разложить на нормальную скорость

$$v_{nM} = \omega \cdot r_M \cdot \cos \tau_M = \omega \cdot v_M, \quad (2.52)$$

где

$$v_M = r_M \cdot \cos \tau_M \quad (2.53)$$

и тангенциальную

$$v_{tM} = \omega \cdot r_M \cdot \sin \tau_M = \omega \cdot p. \quad (2.54)$$

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

Отношение

$$E_M = \frac{v_{tM}}{v_M} = tg \tau_M = \frac{p}{\sqrt{R_0 + b_M}} \quad (2.55)$$

можно принять за коэффициент скольжения [140] 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 (2.55) имеем коэффициент скольжения ножа в точке В равный

$$E_M = \frac{V_{tB}}{V_{nA}} = tg \tau_B = \frac{p}{R_0}. \quad (2.56)$$

При $b_M = l$ точка М совпадает с точкой А. Тогда в соответствии с выражением (2.55) имеем коэффициент скольжения ножа в точке А равный

$$E_A = \frac{V_{tA}}{V_{nA}} = tg \tau_A = \frac{p}{R_0 + l}. \quad (2.57)$$

Сопоставление выражений (2.56) и (2.57) показывает, что наибольший коэффициент скольжения ножа имеет место в точке В, а наименьший - в точке А.

$$\frac{E_B}{E_A} = \frac{tg \tau_B}{tg \tau_A} = \frac{p}{R_0 + l}. \quad (2.58)$$

Известно, чем больше коэффициент скольжения, тем меньше усилие требуется на процесс резания (на снятие стружки с тыквы).

Для определения общего усилия резания Р плодов может быть применена известная рациональная формула акад. В.П. Горячкина [55]

$$P = P_0 + kbh + Ebhv^2, \quad (2.59)$$

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

$$P = P_0 + P_q + P_v \quad (2.60)$$

По определению слагаемых P_0 , P_q и P_v правой части формулы (2.60) 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 $b_1 = A_1B_1$, 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, $b_1 \leq l$.

При этом ширина $b_1 = A_1B_1$ 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 $\Delta b_1^{(1)}$. Между точкой A лезвия и левой стороной стружки имеет место расстояние $\Delta b_1^{(2)}$. При этом, как правило, $\Delta b_1^{(1)} \neq \Delta b_1^{(2)}$. Между величинами $\Delta b_1^{(2)}$, b_1 , $\Delta b_1^{(1)}$ и b имеет место зависимость

$$\Delta b_1^{(1)} + b_1 + \Delta b_1^{(2)} = l. \quad (2.61)$$

Величины $\Delta b_1^{(2)}$, b_1 , $\Delta b_1^{(1)}$ являются случайными величинами. Удельное усилие резания в точке M лезвия обозначим q_M - усилие, приходящееся на единицу длины лезвия. Его величина устанавливается опытным путем.

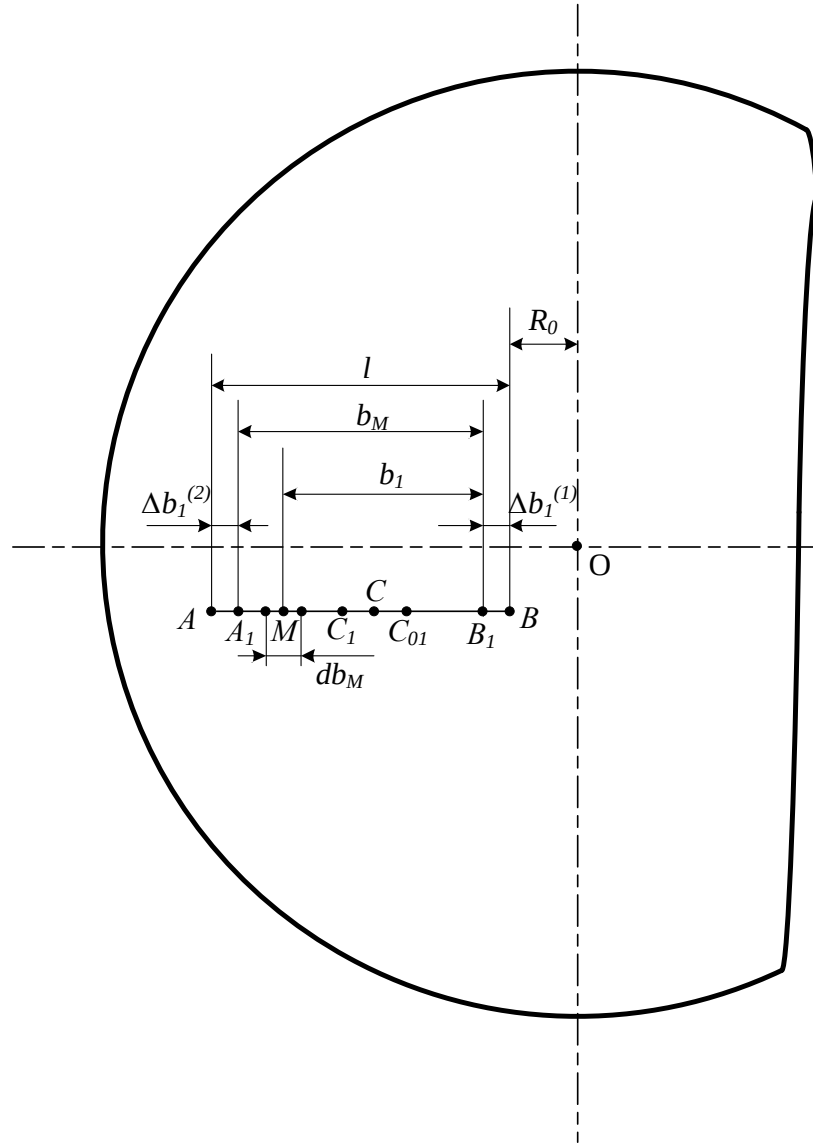


Рис. 2.9. Схема к обоснованию параметров ножа измельчителя плодов тыквы

Усилие резания на элементарном участке лезвия длины db_M , расположенного около точки М лезвия, равно

$$dQ_M = q_M db_M. \quad (2.62)$$

Усилие резания по всей рабочей длине b_1 лезвия

$$Q_1 = \sum_{(b_1)} q_i db_i = \int_{\Delta b_1^{(1)}}^{\Delta b_1^{(1)} + b_1} q_i db_i = \int_{\Delta b_1^{(1)}}^{b - \Delta b_1^{(2)}} q_i db_i. \quad (2.63)$$

Определим точку приложения C_{Q1} силы Q_1 , находящуюся на отрезке $A_1B_1 = b_1$, относительно точки В. По теореме Вариньона

$$Q_1 BC_{Q1} = \sum_{(b_1)} dQ_M b_M = \int_{\Delta b_1^{(1)}}^{\Delta b_1^{(1)} + b_1} b_M q_M db_M = \int_{\Delta b_1^{(1)}}^{b - \Delta b_1^{(2)}} b_M q_M db_M. \quad (2.64)$$

Из выражения (2.64) следует

$$BC_Q = \frac{\int_{\Delta b_1^{(1)}}^{b-\Delta b_1^{(2)}} q_M b_M db_M}{Q_1} \quad (2.65)$$

Момент силы Q_1 относительно центра О вращения ножа (диска) - момент сопротивления резания для рассматриваемого положения

$$M_1 = Q_1 r_{Q_1}, \quad (2.66)$$

где r_{Q_1} - плечо силы Q_1 относительно точки О.

Из рисунка 2.9 следует

$$r_{Q_1} = R_0 + BC_{Q_1} \quad (2.67)$$

С учетом выражений (2.65) и (2.67) выражение (2.66) принимает вид

$$M_1 = Q_1 r_{Q_1} = Q_1 R_0 + \frac{Q_1 \int_{\Delta b_1^{(1)}}^{b-\Delta b_1^{(2)}} q_M b_M db_M}{Q_1} = QR_0 + \int_{\Delta b_1^{(1)}}^{b-\Delta b_1^{(2)}} q_M b_M db_M \quad (2.68)$$

Средний момент сопротивления резанию за один оборот диска (ножа) равен

$$M = \frac{\int_0^{2\pi} M_1 d\varphi}{2\pi}, \quad (2.69)$$

где $d\varphi$ - элементарный угол поворота диска (ножа).

С учетом выражения (2.68) выражение (2.69) принимает вид

$$M = \frac{\int_0^{2\pi} \left(Q_1 R_0 + \int_{\Delta b_1^{(1)}}^{b-\Delta b_1^{(2)}} q_M b_M db_M \right) d\varphi}{2\pi}. \quad (2.70)$$

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 2.70 можно свести к виду

$$M = kql \left(R_0 + \frac{1}{2} \right), \quad (2.71)$$

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_{Q_1} , 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

$$\Delta b_{cp}^{(2)} = \Delta b_{cp}^{(1)} = \frac{l - kl}{2} = \frac{l(1-k)}{2}. \quad (2.72)$$

Средняя мощность (за один оборот), затрачиваемая на снятие стружки продукта одним ножом

$$N_1^{(1)} = M\omega, \quad (2.73)$$

где $\omega = \pi n / 30$ - угловая скорость ножа (диска).

Средняя мощность (за один оборот), затрачиваемая на снятие стружки продукта всеми четырьмя ножами дискового измельчителя

$$N_1 = 4M\omega, \quad (2.74)$$

Подставляя выражение 2.71 в выражение 2.74, окончательно получим

формулу для определения мощности, необходимой для снятия стружки

дисковым измельчителем плодов тыквы

$$N_1 = 4kql \left(R_0 + \frac{l}{2} \right) \frac{\pi n}{30}. \quad (2.75)$$

2.3.1 Мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения скольжения плодов тыквы по поверхности диска

При работе измельчителя загружаемый в бункер плод тыквы в силу наличия ограничительных пластин в бункере вращается вокруг своей оси и создает вертикальное давление на диск [29, 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

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} H \gamma. \quad (2.76)$$

Давление k продукта на диск равно

$$k = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{\frac{\pi D^2}{4} H \gamma}{\frac{\pi D^2}{4}} = H \gamma. \quad (2.77)$$

Выразим элементарную площадку dS на круге диска следующим образом. Проведем горизонтальную $X-X$ и вертикальную $Y-Y$ оси через центр O круга. Проведем две окружности: радиусом 1) ρ ($0 \leq \rho \leq R = D/2$); и 2) $\rho + d\rho$ радиусом. 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 на рис. 2.10 заштрихована. Площадь dS этой площадки с точностью до величины второго порядка можно представить как площадь прямоугольника.

По величине dS равна

$$dS=(\rho d\varphi)d\rho. \quad (2.78)$$

На площадь dS действует нормальная сила давления

$$dN=kdS=H\gamma\rho d\varphi d\rho. \quad (2.79)$$

При скольжении диска относительно плода на площадке dS возникает сила трения

$$dF=dNf, \quad (2.80)$$

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

$$dF=dNf=fH\gamma\rho d\varphi d\rho, \quad (2.81)$$

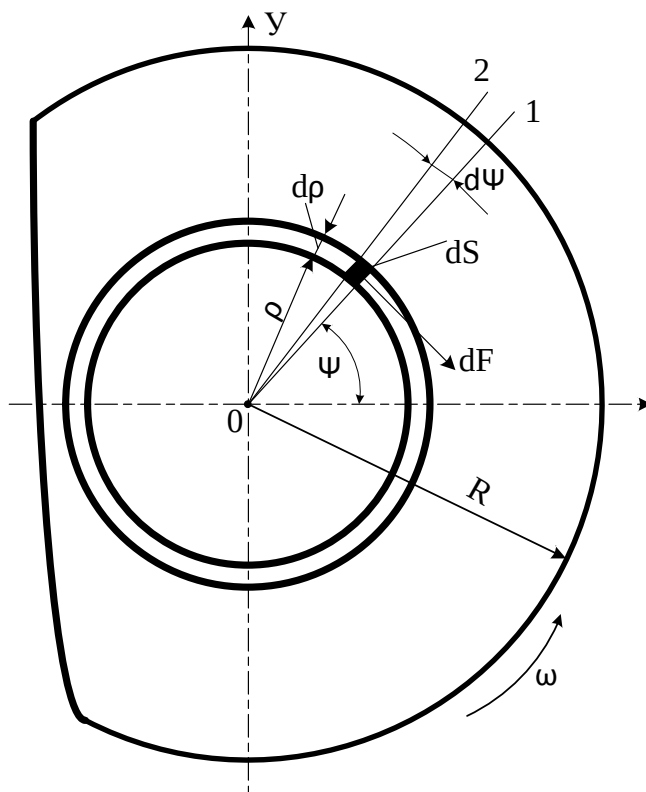


Рис. 2.10. Схема к определению мощности, затрачиваемой на преодоление сил трения скольжения по поверхности диска

Сила dF порождает элементарный момент сопротивления

$$dM = \rho dF = fH\gamma\rho^2 d\varphi d\rho. \quad (2.82)$$

Элементарный момент сопротивления dM порождает элементарную мощность сопротивления силы трения скольжения плода по диску.

$$dN_2 = dM\omega. \quad (2.83)$$

Полная мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения по всей площади определяется по выражению

$$\begin{aligned} N_2 &= \sum_{(S)} dN_2 = \sum_{(S)} \omega dM = \omega \sum_{(S)} dM = \\ &= \omega \sum_{(S)} fH\gamma\rho^2 d\varphi d\rho = \omega\gamma fH \int_0^{2\pi} \int_0^R \rho^2 d\varphi d\rho = \omega\gamma fH \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^R \rho^2 d\rho, \end{aligned} \quad (2.84)$$

произведя интегрирование, получим

$$N_2 = \frac{2}{3} \gamma HR^3 f \pi \omega, \quad (2.85)$$

учитывая, что $\gamma\pi R^2 H = Q$ (Q - масса продукта в бункере), окончательно имеем

$$N_2 = \frac{2QRf\omega}{3}. \quad (2.86)$$

2.3.2 Производительность измельчителя плодов тыквы

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

$$v_{n_M} = \omega r_M \cos \tau_M. \quad (2.87)$$

Из выражения (2.46) следует

$$\cos \tau_M = \frac{R_0 + b_M}{\sqrt{(R_0 + b_M)^2 + p^2}}. \quad (2.88)$$

Выражение (2.87) с учетом (2.52) и (2.88) принимают вид

$$v_{n_M} = \omega r_M \cos \tau_M = \omega(R_0 + b_M). \quad (2.89)$$

Нормальные составляющие скорости точки А и точки В определяются на основании выражения (2.89)

$$\text{при } b_M=1, v_{n_A} = \omega(R_0 + l) \quad (2.90)$$

$$\text{при } b_M=0, v_{n_B} = \omega R_0 \quad (2.91)$$

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

$$dA = h db_M, \quad (2.92)$$

Элементарная производительность измельчителя dQ , соответствующая длине лезвия db_M , равна

$$dQ = dA v_{n_M} \gamma_M, \quad (2.93)$$

где γ_M - плотность продукта.

Производительность одного ножа

$$Q = \sum_{(S)} dQ = \sum_{(S)} \gamma_M v_{n_M} dA. \quad (2.94)$$

Подставляя значение dA из выражения (2.92) в выражение (2.94) будем иметь

$$Q = \sum_{(S)} \gamma_M v_{n_M} h db_M = h \int_{R_0}^{R_0+l} \gamma_M v_{n_M} db_M. \quad (2.95)$$

С учетом выражения (2.89) выражение (2.93) принимает вид

$$Q = h \int_{R_0}^{R_0+l} \gamma_M \omega (R_0 + b_M) db_M. \quad (2.96)$$

После преобразования выражение (2.96) принимает вид

$$Q = h \gamma \omega \int_{R_0}^{R_0+l} (R_0 + b_M) db_M. \quad (2.97)$$

Интегрируя, получим

$$Q = h \gamma \omega \left(2R_0 l + \frac{l^2}{2} \right) = \frac{hl \gamma \omega (4R_0 + l)}{2}. \quad (2.98)$$

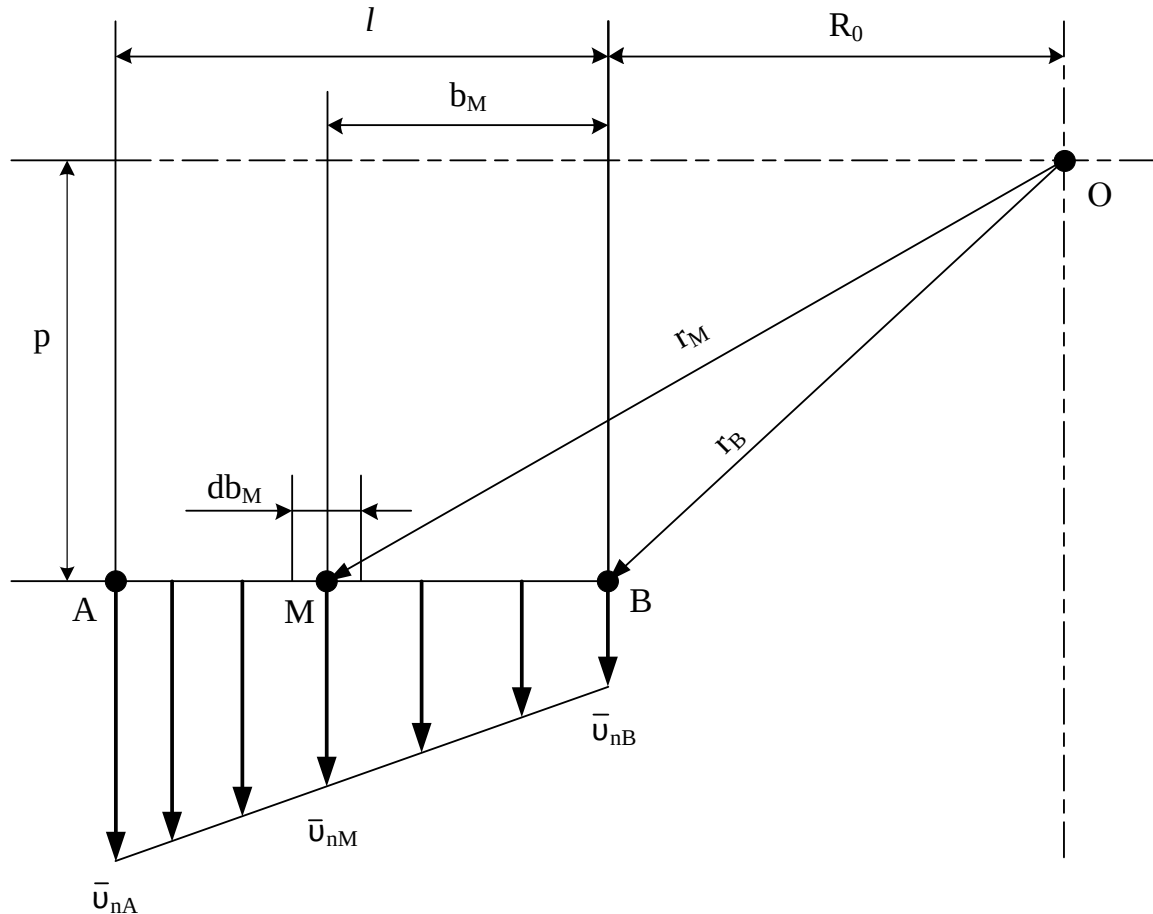


Рис. 2.11 Схема к обоснованию нормальной скорости движения лезвия ножа

Производительность измельчителя зависит от количества установленных ножей, то есть

$$Q_z = zQ = \frac{zhb\gamma(4R_0 + b)\omega}{2}. \quad (2.99)$$

Производительность измельчителя определяется по зависимости выражения (2.99) 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

$$Q_{изм} = z \cdot h \cdot b \cdot \gamma \cdot (4R_0 + b) \cdot \omega \cdot k_l \cdot k_h, \quad (2.100)$$

где $k_l < 1$ - коэффициент ширины стружки, $k_h < 1$ - коэффициент высоты стружки.

Величины k_l и k_h можно установить только опытным путем.

2.3.3 Мощность, затрачиваемая на выбрасывание частиц стружки продукта через отверстия диска

За элементарный промежуток времени dt через отверстия диска выбрасывается (удаляется) элементарная масса стружки, равная

$$dI = Qdt. \quad (2.101)$$

Масса частиц стружки dI равна

$$dm = \frac{dI}{q}. \quad (2.102)$$

С учетом выражения (2.101) выражение (2.102) запишется в виде

$$dT = \frac{Qdt}{q}. \quad (2.103)$$

Кинетическая энергия, приобретаемая массой m равна

$$dT = dm \frac{V^2}{2}. \quad (2.104)$$

По закону сохранения энергии между работой dA , затрачиваемой на приобретение кинетической энергии dT и самой кинетической энергией dT имеется зависимость

$$dA = dT. \quad (2.105)$$

Мощность, затрачиваемая на приобретение кинетической энергии dT при выбрасывании частиц стружки продукта

$$N_3 = \frac{dA}{dT}. \quad (2.106)$$

Выражение (2.106) после преобразования принимает вид

$$N_3 = \frac{dA}{dT} = \frac{dT}{dT} = \frac{dm \frac{V^2}{2}}{dt} = \frac{Qdtv^2}{2qdt} = \frac{Qv^2}{2q}. \quad (2.107)$$

Мощность, затрачиваемая на удаление (выбрасывание) частиц стружки продукта через отверстия диска определяется зависимостью

$$\begin{aligned} N_3 &= \frac{Qv^2}{2q} = \frac{zbh\gamma(4R_0 + b)\omega k_l k_h (\omega(R_0 + b))^2}{4q} = \\ &= \frac{1}{4q} z(4R_0 + b)(R_0 + b)^2 bh\gamma k_l k_h \omega^3. \end{aligned} \quad (2.108)$$

2.3.4 Мощность, затрачиваемая на весь процесс измельчения плодов тыквы

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

$$N_3 = \frac{z(4R_0 + b)(R_0 + b)^2 b h \gamma k_l k_h \omega^3}{4q}$$

Таким образом, полная мощность, затрачиваемая на весь процесс измельчения плода тыквы, равна

$$N = N_1 + N_2 + N_3. \quad (2.109)$$

2.3.5 Удаление частиц плодов тыквы в поддискное пространство

Плод тыквы 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 СЕ отверстия диска, и частица приобретает скорость, равную скорости $v_{nD} = v_{nA}$ (рис. 2.12).

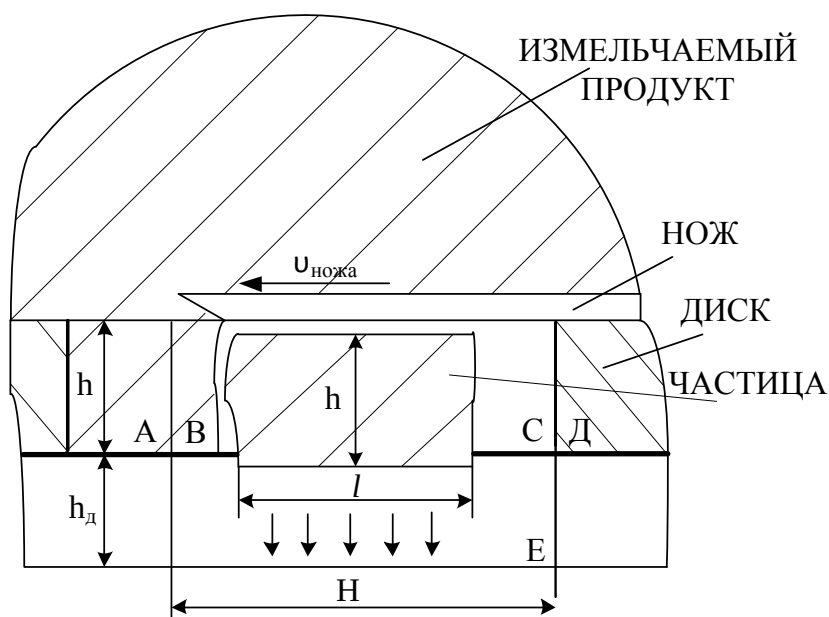


Рис. 2.12. Схема к обоснованию параметров процесса удаления частиц вподбункерное пространство измельчителя

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

$$h_h = h_d + h, \quad (2.110)$$

где h - толщина стружки (вылет ножа).

Время свободного падения верхней точки частицы стружки определяется по зависимости

$$t_{hn} = \sqrt{\frac{2h_n}{g}}, \quad (2.111)$$

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 CE, по истечении которого точка D вертикальной грани CE придет в соприкосновение с частицей стружки длиной l ($0 < l < H$). Это время обозначим t_d . Тогда D грани CE, двигаясь вдоль DA со скоростью $v_{nD} = v_{nA}$ за время t_d пройдет путь $S_d = H - l$. Будем иметь равенство $S_d = H - l = v_{nA} t_d$. Отсюда

$$t_d = \frac{H - l}{v_{nA}}. \quad (2.112)$$

Подставляя в выражение (2.111) $v_{nA} = \omega(R_0 + b)$ из выражения (2.89) получим

$$t_{\mathcal{D}} = \frac{H - l}{\omega(R_0 + b)}. \quad (2.113)$$

Минимальное время $t_{\mathcal{D}}$, по истечении которого произойдет соприкосновение дальней грани отверстия с падающей частицей стружки, как и следовало ожидать (на основании выражения (2.87)) имеет место при $H = l$ и равно нулю.

Максимальное время $t_{\mathcal{D}}$, по истечении которого произойдет соприкосновение грани отверстия с падающей частицей стружки, на основании выражения (2.113) имеет место при $l = 0$ и равно

$$t_{\mathcal{D}\max} = \frac{H}{\omega(R_0 + b)}. \quad (2.114)$$

В свою очередь максимальное значение величины $t_{\mathcal{D}\max}$, т.е. $\max t_{\mathcal{D}\max}$, имеет место при $H = H_{\max}$ и определяется из выражения

$$\max t_{\mathcal{D}\max} = \frac{H_{\max}}{\omega(R_0 + b)}. \quad (2.115)$$

Теоретически $H_{\max}$ равен стороне вписанного квадрата в окружность радиусом $r = D/2$ (D - диаметр диска измельчителя), т.е.

$$H_{\max} = \sqrt{2}R. \quad (2.116)$$

В таком случае необходимо принять $b = 0$ и

$$R_0 = \frac{H_{\max}}{2} = \frac{\sqrt{2}}{2}R.$$

Тогда $\max t_{\mathcal{D}\max}$ на основании выражения (2.115) с учетом выражения (2.116) и того, что $b = 0$ определится по выражению

$$\max t_{\mathcal{D}\max} = \frac{\sqrt{2}R}{\omega\left(\frac{\sqrt{2}}{2}R_0 + 0\right)} = \frac{2}{\omega} \quad (2.117)$$

Подставляя в выражение (2.117) значение $\omega = \pi n/30$, будем иметь

$$\max t_{\mathcal{D}\max} = \frac{60}{\pi n}, \quad (2.118)$$

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. [32], максимально возможная величина

$$t_{\mathcal{D}} = \frac{60}{\pi n_{\min}} = \frac{60}{\pi \cdot 1200} = 0,0159 \text{ с}.$$

Возвратимся к выражению

$$t_{hn} = \sqrt{\frac{2h_n}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5}{1000 \cdot 9,81}} = 0,0319 \text{ с} .$$

Сопоставление дает

$$t_{hn}=0,0319 \text{ с} > t_{\text{Д}}=0,0159 \text{ с}; \text{или } t_{hn}=2t_{\text{Д}}$$

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.

2.3.6 Движение частиц тыквы в поддискном пространстве

Частицы стружки выбрасываются из отверстия диска со скоростью $v_0=v_{nD}=v_{nA}$ в горизонтальном направлении [36]. 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 (рис. 2.13).

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

$$\vec{R} = \alpha \vec{v}_1, \quad (2.119)$$

где α - коэффициент пропорциональности;

$\vec{v}_1$ - скорость движения частицы.

Обозначим

$$\frac{\alpha}{m} = k, \quad (2.120)$$

где m - масса частицы.

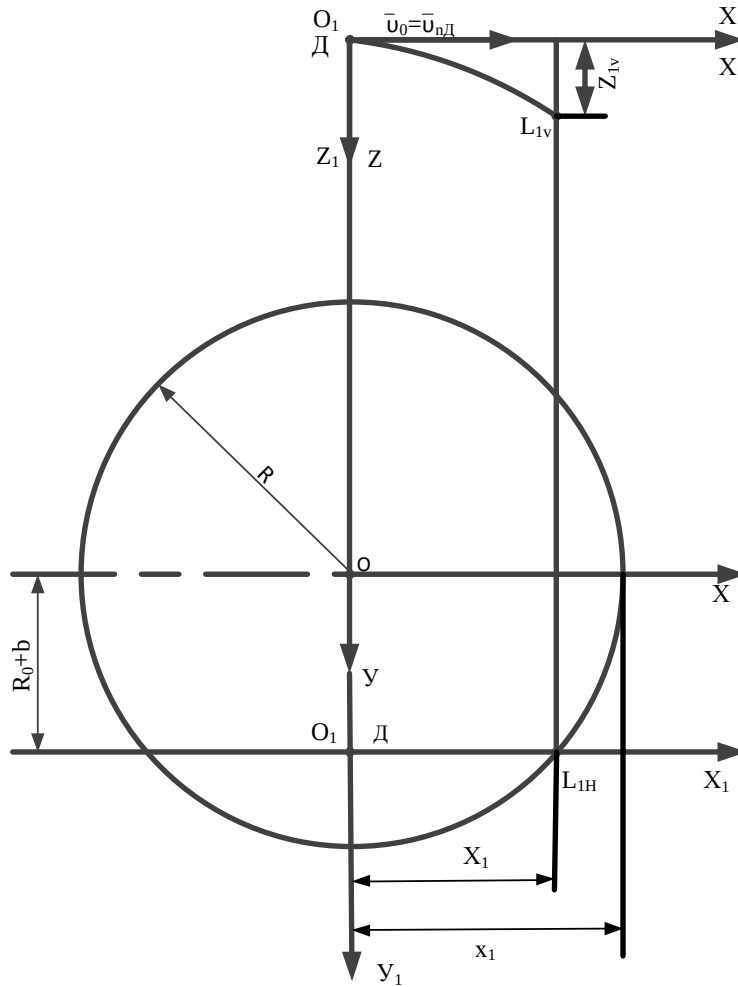


Рис. 2.13. Схема к обоснованию параметров процесса движения частиц тыквы в поддисковом пространстве

Коэффициент k равен модулю силы сопротивления воздуха, приходящейся на единицу массы движущегося тела, при скорости его равной единице, и имеет размерность (с^{-1}).

Составим дифференциальное уравнение движения частицы под действием силы тяжести $\bar{G}$ и силы сопротивления воздуха $\bar{R}$

$$m\bar{a}_1 = \bar{G} - \bar{R} = m\bar{g} - mk\bar{v}_1. \quad (2.121)$$

Проецируя (2.121) на оси координат X_1 и Z_1 , получим дифференциальное уравнение движения частицы

$$\ddot{x}_1 + k\dot{x}_1 = 0, \quad (2.122)$$

$$\ddot{z}_1 + k\dot{z}_1 = g. \quad (2.123)$$

Решая дифференциальное уравнение (2.122), получим

$$x_1 = C_1 e^{er_1 t} + C_2 e^{r_2 t} = C_1 + C_2 e^{-kt}, \quad (2.124)$$

где C_1 и C_2 - произвольные интегрирования, которые определяются изначальных условий.

Или, проведя преобразования,

$$x_t = \frac{v_0}{k} - \frac{v_0}{k} e^{-kt} = \frac{v_0}{k} (1 - e^{-kt}). \quad (2.125)$$

Аналогично для выражения (2.122)

$$z_1 = C_1 + C_2 e^{-kt},$$

и

$$z_1 = C_1 + C_2 e^{-kt} + \frac{q}{k} t. \quad (2.126)$$

Произвольные постоянные интегрирования C_1 и C_2 определим из начальных условий.

При $t=0$ $Z_1=0$. Тогда выражение (2.126) принимает вид

$$C_1 + C_2 = 0. \quad (2.127)$$

Продифференцируем выражение (2.126) по времени t . Будем иметь

$$\dot{z}_1 = -kC_2 e^{-kt} + \frac{q}{k} \quad (2.128)$$

при $t=0$, $\dot{y}_1=0$. Тогда выражение (2.128) запишем как

$$-kC_2 + \frac{q}{k} = 0,$$

$$\text{отсюда } C_2 = \frac{q}{k^2}, \quad (2.129)$$

так как $C_1 = -C_2$, то с учетом выражения (2.129)

$$C_1 = -C_2 = -\frac{q}{k^2}. \quad (2.130)$$

Подставляя выражение (2.130) и (2.129) в выражение (2.126) получим

$$z_1 = C_1 + C_2 e^{-kt} + \frac{q}{k} t = -\frac{q}{k^2} + \frac{q}{k^2} e^{-kt} + \frac{q}{k} t = \frac{q}{k^2} (e^{-kt} + kt - 1). \quad (2.131)$$

Следовательно, уравнениями движения частицы стружки в проекциях на оси координат являются

$$x_1 = \frac{v_0}{k} (1 - e^{-kt}), \quad (2.125)$$

$$z_1 = \frac{q}{k^2} (e^{-kt} + kt - 1). \quad (2.132)$$

Найдем уравнение траектории движения частицы стружки. Для этого исключим время t из уравнений (2.125) и (2.132). Уравнение (2.125) представим в виде

$$\frac{v_0}{k} e^{-kt} = \frac{v_0}{k} - x_1. \quad (2.133)$$

Проведя преобразования, получим

$$e^{-kt} = \frac{k}{v_0} \left(\frac{v_0}{k} - x_1 \right) = 1 - \frac{k}{v_0} x_1. \quad (2.134)$$

Логарифмируя выражение (2.134), получим

$$t = -\frac{\ln \left(1 - \frac{k}{v_0} x_1 \right)}{k}. \quad (2.135)$$

Подставляя t из выражения (2.135) в выражение (2.132) получаем уравнение траектории движения стружки

$$\begin{aligned} z &= \frac{q}{k^2} \left[e^{\left(-k \left(\frac{-\ln \left(1 - \frac{k}{v_0} x_1 \right)}{k} \right) \right)} + k \left(-\frac{\ln \left(1 - \frac{k}{v_0} x_1 \right)}{k} \right) - 1 \right] = \\ &= \frac{q}{k} \left(e^{\ln \left(1 - \frac{k}{v_0} x_1 \right)} - \ln \left(1 - \frac{k}{v_0} x_1 \right) - 1 \right) \end{aligned} \quad (2.136)$$

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 рис. 2.13).

Из рисунка 2.13 следует, что дальность полета X_1 определяется по выражению

$$X_1 = \sqrt{O_1 L_{1H}^2 - O O_1^2} = \sqrt{R^2 - (R_0 + b)^2}. \quad (2.137)$$

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

$$X_1 = \frac{v_0}{k} (1 - e^{-kt_n}). \quad (2.138)$$

Из выражения (2.134) следует

$$e^{-kt_n} = \frac{v_0}{k} - X_1. \quad (2.139)$$

В свою очередь из выражения (2.135) следует

$$-kt_n = \ln \left(\frac{v_0}{k} - X_1 \right),$$

отсюда

$$t_{II} = -\frac{\ln\left(\frac{v_0}{k} - X_1\right)}{k}. \quad (2.140)$$

Вертикальная координата точки L - координата точки, определенная по формуле (2.127) при $t = t_n$

$$z_{1L} = \frac{q}{k^2} (e^{-kt_{II}} + kt_{II} - 1). \quad (2.141)$$

Формула (2.141) после подстановки t_n из выражения (2.140) запишется так:

$$z_{1L} = \frac{q}{k^2} \left(e^{\ln\left(\frac{v_0}{k} - x_1\right)} - \ln\left(\frac{v_0}{k} - x_1\right) - 1 \right). \quad (2.142)$$

Определим скорость частицы стружки в момент ее удара о цилиндрическую поверхность.

Дифференцируя выражение (2.125) по времени t , получим

$$\dot{x} = v_0 e^{-kt}. \quad (2.143)$$

Дифференцируя выражение (2.132) по времени t , получим

$$\dot{z}_1 = \frac{q}{k^2} (-ke^{-kt} + k) = \frac{q}{k} (1 - e^{-kt}). \quad (2.144)$$

При ударе горизонтальная составляющая скорости (в момент времени t_n) на основании выражения (2.143) равна

$$\dot{x}_{1II} = v_0 e^{-kt_{II}}. \quad (2.145)$$

При ударе вертикальная составляющая скорости частицы стружки на основании выражения (2.144) равна

$$\dot{z}_{1II} = \frac{q}{k} (1 - e^{-kt_{II}}). \quad (2.146)$$

Величина скорости частицы стружки при ударе равна

$$v_{1II} = \sqrt{\dot{x}_{1II}^2 + \dot{z}_{1II}^2}. \quad (2.147)$$

С учетом выражений (2.145) и (2.146) выражение (2.147) принимает вид

$$v_{1II} = \sqrt{v_0^2 e^{-2kt_{II}} + \frac{q^2}{k^4} (1 - e^{-kt_{II}})^2}. \quad (2.148)$$

Скорость v_{1II} направлена по касательной к траектории частицы стружки, описываемой уравнением (2.104) [36], при $x_1 = X_1$

$$v_{1II} = \frac{v_0}{k} (1 - e^{-kt_{II}})$$

Проведенное теоретическое обоснование скорости движения частицы стружки, снимаемой с плода тыквы в поддисковом пространстве позволяет сделать заключение, что в случае подачи и по-

падания в поддисковое пространство частиц другого компонента, например силоса, будет обеспечено их интенсивное перераспределение между собой с последующей равномерной подачей на сборный транспортер. Данный подход к решению технической задачи по обеспечению предварительного смешивания частиц тыквы и силоса, является рациональным, как с точки зрения снижения затрат труда и средств, так с точки зрения повышения качественных показателей смешивания и раздачи.

Возможность реализации данного подхода является очевидной в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2.14.

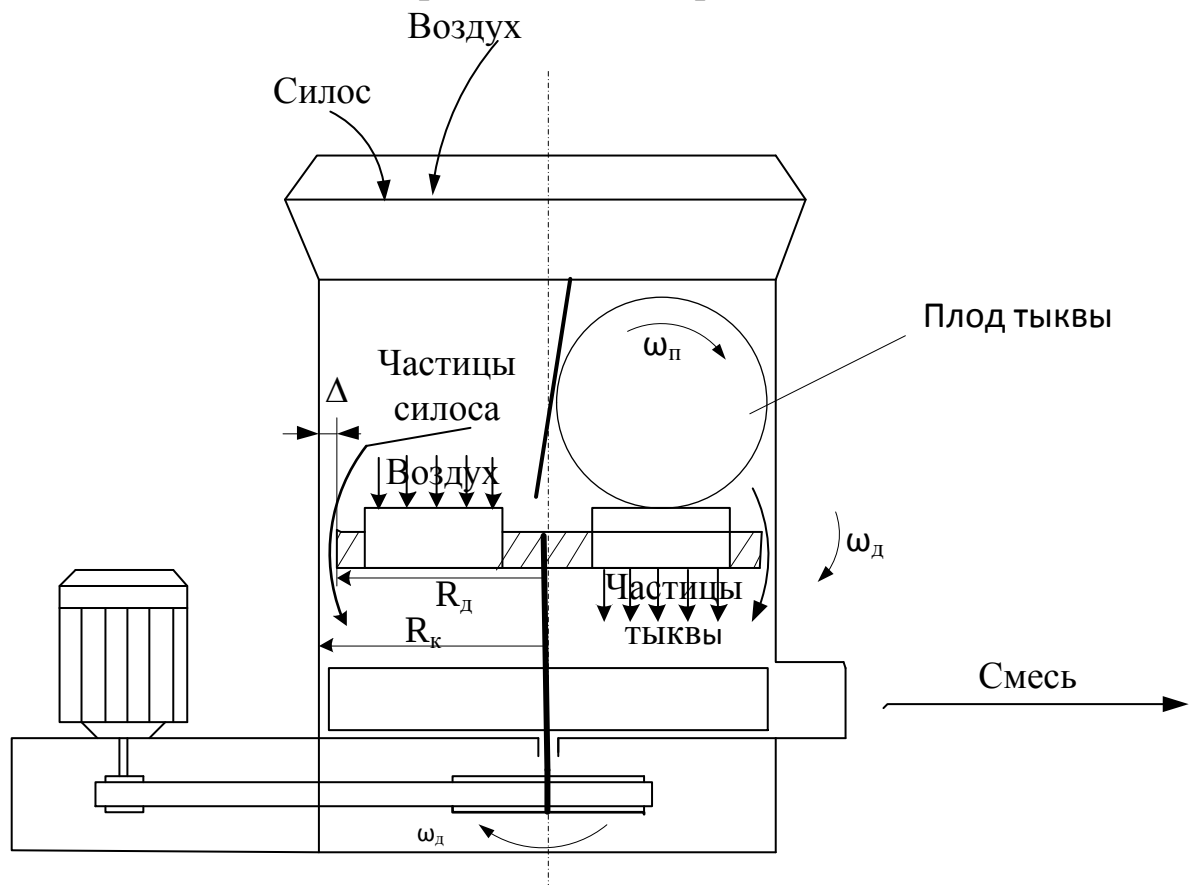


Рис. 2.14.Схема к обоснованию возможности и целесообразности осуществления процесса смешивания компонентов в поддисковом пространстве

При реализации данного подхода возможным становится осуществление процесса измельчения плодов тыквы в их 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 тыквы и силоса; t_m , t_c – температура тыквы и силоса.

С целью исключения раскатывания крупногабаритных шарообразных плодов тыквы разработан варианты их размещения в питателе «слоем» (см. рис. 2.15). На слое плодов размещается слой силоса, частицы которого заполняют пустоты между плодами. Данный подход позволяет выполнять процесс подачи обоих видов компонентов с более стабильными характеристиками процесса подачи.

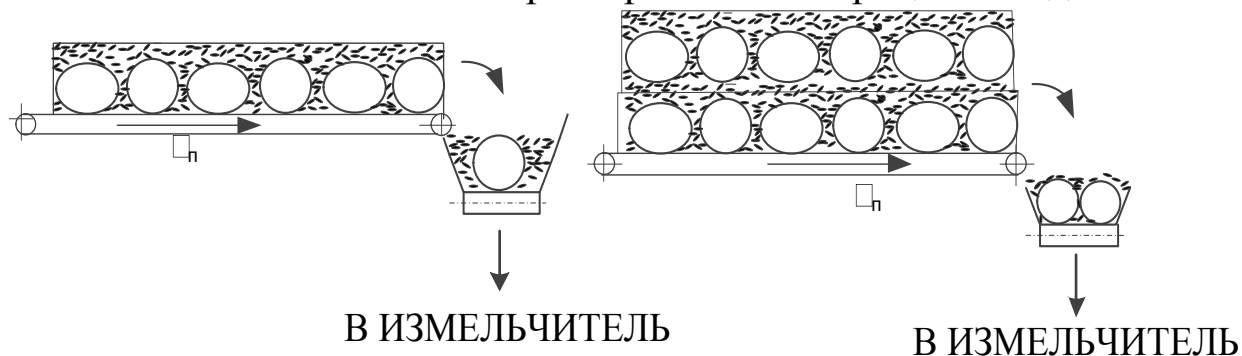


Рис. 2.15.Схемы к обоснованию послойного размещения компонентов в питателе

Согласно принятой схеме, пропускная способность измельчителя по двум компонентам

$$Q_{изм} = Q_{изм}^П + Q_{сил} . \quad (2.149)$$

Пропускная способность по силосу:

$$Q_{сил} = \left[4bl_n + \pi \left(R_k^2 - R_d^2 \right) \right] \Psi \rho v_{воз} , \quad (2.150)$$

где $v_{воз}$ —скорость движения частиц силоса с воздухом; Ψ – коэффициент, учитывающий плотность воздушно-силосной смеси.

С учетом того, что

$$R_k^2 - R_d^2 = \Delta , \quad (2.151)$$

запишем

$$Q_{сил} = \left[4bl_n + \pi \Delta^2 \right] \Psi \rho v_{воз} . \quad (2.152)$$

2.4 Теоретические аспекты по оценке процесса заполнения бункера мобильного раздатчика кормовым продуктом

В соответствии с экономико-математической моделью (2.1) и структурной схемой (рис. 2.4), неравномерность заполнения бункера кормовым продуктом быть минимальной

$$\delta_3 = f(v_{сб\ tr}; v_{нтр}; C_k; l_{ср}; H_б; W_{кк}; \dots) \rightarrow \min \quad (2.153)$$

Согласно принятой схеме, послойное заполнение бункера осуществляется с помощью подающего транспортера раздатчика-смесителя.

Схема, согласно которой осуществляется заполнение, представлена на рисунке 2.16. Она состоит из загрузочного транспортера 1, оснащенного делителем потока 2, корм распределяется по ширине бункера. По бункеру корм распределяется с помощью подающего транспортера 4 и храпового механизма, осуществляющего его привод (на схеме не обозначено).

Процесс заполнения бункера мобильного раздатчика происходит следующим образом. Подача комового продукта осуществляется сборным транспортером в его заднюю часть.

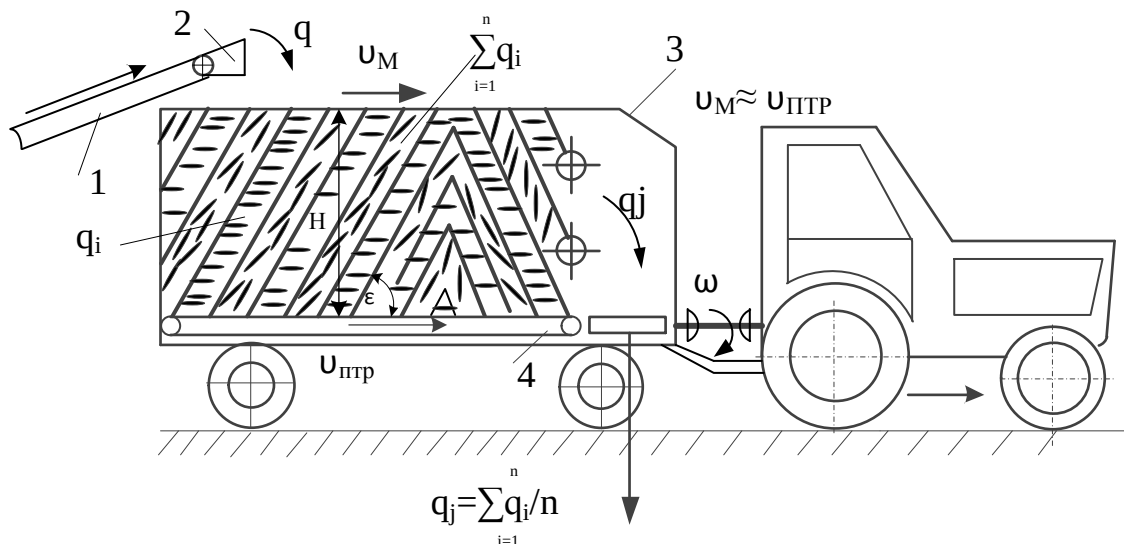


Рис. 2.16. Схема загрузки бункера раздатчика-смесителя наклонными слоями с помощью подающего транспортера: 1 - загрузочный транспортер; 2 - делитель потока; 3 - бункер; 4 - подающий транспортер

При достижении высоты первичного конуса, равной высоте бункера, в работу включается подающий транспортер и дальнейшее послойное заполнение происходит за счет движения подающего транспортера с формируемым монолитом. При достижении кормовым монолитом блока битеров привод подающего и загрузочного транспортеров выключаются. Для настройки раздатчика-смесителя на заданный режим работы (скорость движения подающего транспортера) в зависимости от количества поступающего в его бункер корма разработана номограмма [75].

Процесс послойного заполнения бункера раздатчика с принудительной подачей кормового монолита к битерам, согласно принятой нами схеме характеризуется «сжатием» потока подачи от питателей кормовых компонентов. Степень такого «сжатия» определяется высотой H полезного заполнения бункера и зависит от соотношения скорости потока подачи корма $\sum_{i=1}^{\alpha} Q_{ni}$ в заднюю часть бункера v_{mp} и скорости движения подающего транспортера раздатчика v_{nmp} .

Данное условие послойного и равномерного заполнения бункера раздатчика можно представить как

$$v_{nmp} = \frac{\sum_{i=1}^{\alpha} Q_{ni}}{BH\rho n}, \quad (2.154)$$

где $\sum_{i=1}^{\alpha} Q_{ni}$ – подача кормовых компонентов питателями; B и H – ширина и высота бункера; n – число слоев.

Используя зависимость (2.35), можно оценить равномерность заполнения бункера раздатчика

$$\delta_{зб} = \delta_{сб\,тр} \Delta t_3^{z-1}, \quad (2.155)$$

где Δt_3 – продолжительность загрузки бункера (формирования кормового монолита).

Подставляя в данное равенство соответствующие значения $\delta_{сб\,тр}$ и Δt_3 получим

$$\delta_{зб} = \left[\delta_{изм} \left(\frac{N\rho}{Q_{сб\,тр}} \right)^{z-1} \right] \left(\frac{V_б \rho_б}{Q_{nmp}} \right)^{z-1}, \quad (2.156)$$

где $V_б$ – объем бункера раздатчика, $V_б = B \cdot H \cdot L$; ρ – плотность корма в формируемом монолите; Q_{nmp} – скорость движения подающего транспортера.

Расчеты по выражению (2.156) показывают, что $\delta_{зб} = 1,5\%$;

При этом для формирования кормового монолита в бункере с $H(L) = const$ и $\rho(L) = const$ должно выполняться условие, при котором $v_{nmp} = const$ и $\sum_{i=1}^{\alpha} Q_{ni} = const$.

$$B \cdot H \cdot \rho \cdot v_{nmp} = n \sum_{i=1}^{\alpha} Q_{ni} = const. \quad (2.157)$$

Вполне очевидно, что продолжительность заполнения бункера раздатчика t_3 определяется следующей зависимостью:

$$t_3 = \frac{V \rho_k}{n \sum_{i=1}^{\alpha} Q_{ni}} = \frac{BHL \rho_k}{n \sum_{i=1}^{\alpha} Q_{ni}}, \quad (2.158)$$

где V – объем бункера раздатчика.

Данная зависимость обуславливает производительность этих питателей

$$\sum_{i=1}^{\alpha} Q_{ni} = \frac{BHL \rho}{n t_3}. \quad (2.159)$$

При этом пропускная способность линии подачи кормовых компонентов

$$Q_{\lambda} = \sum_{i=1}^{\alpha} Q_{ni} = Q_{nm} + Q_{nc} + Q_{nzk}, \quad (2.160)$$

где Q_{nm} – подача питателя плодов тыквы; Q_{nc} – подача питателя силоса; Q_{nzk} – подача питателя грубых кормов.

Составляющие выражения (2.160) определяются в зависимости от их массовой доли в рационе, α_i , принятой кратности кормления k_i , а также количества обслуживаемых животных N_2 .

$$Q_{\lambda} = \sum_{i=1}^{\alpha} Q_{ni} = \frac{(\alpha_1 q + \alpha_2 q + \alpha_3 q) N_2}{t_k}, \quad (2.161)$$

где t_k – допустимое время кормления животных, обусловленное зоотехническими требованиями, $t_k \geq \sum_{i=1}^{t_k} t_{ci}$.

2.4.1 Теоретические предпосылки к оценке качества формирования кормового монолита в бункере мобильного раздатчика

Приведенные выше положения и подходы к формированию кормового монолита в бункере мобильного раздатчика позволяют обосновать данную схему заполнения и дать оценку качественным характеристикам сформированного таким образом кормового монолита.

Бункер мобильного кормораздатчика с принудительной подачей монолита к битерам представляет емкость в виде прямоугольного 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 xuz (рис. 2.17).

Для каждого из элементарных объемов $V_{i, i+1}$ можно записать, что он есть функция

$$V_{i,i+1} = \int_{y_1}^{y_i=1} \int_{x_0=0}^{x_i=B} z dx dy. \quad (2.162)$$

Для математического описания поверхности H приняты два вида уравнений поверхности:

$$x = \dot{a}_{11}x^2 + \dot{a}_{22}y^2 + \dot{a}_{12}xy + \dot{a}_1x + \dot{a}_2y + \dot{a}_0 \quad (2.163)$$

$$z^2 = a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{12}xy + a_1x + a_2y + a_0 \quad (2.164)$$

ИЛИ

$$z = \sqrt{a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{12}xy + a_1x + a_2y + a_0}.$$

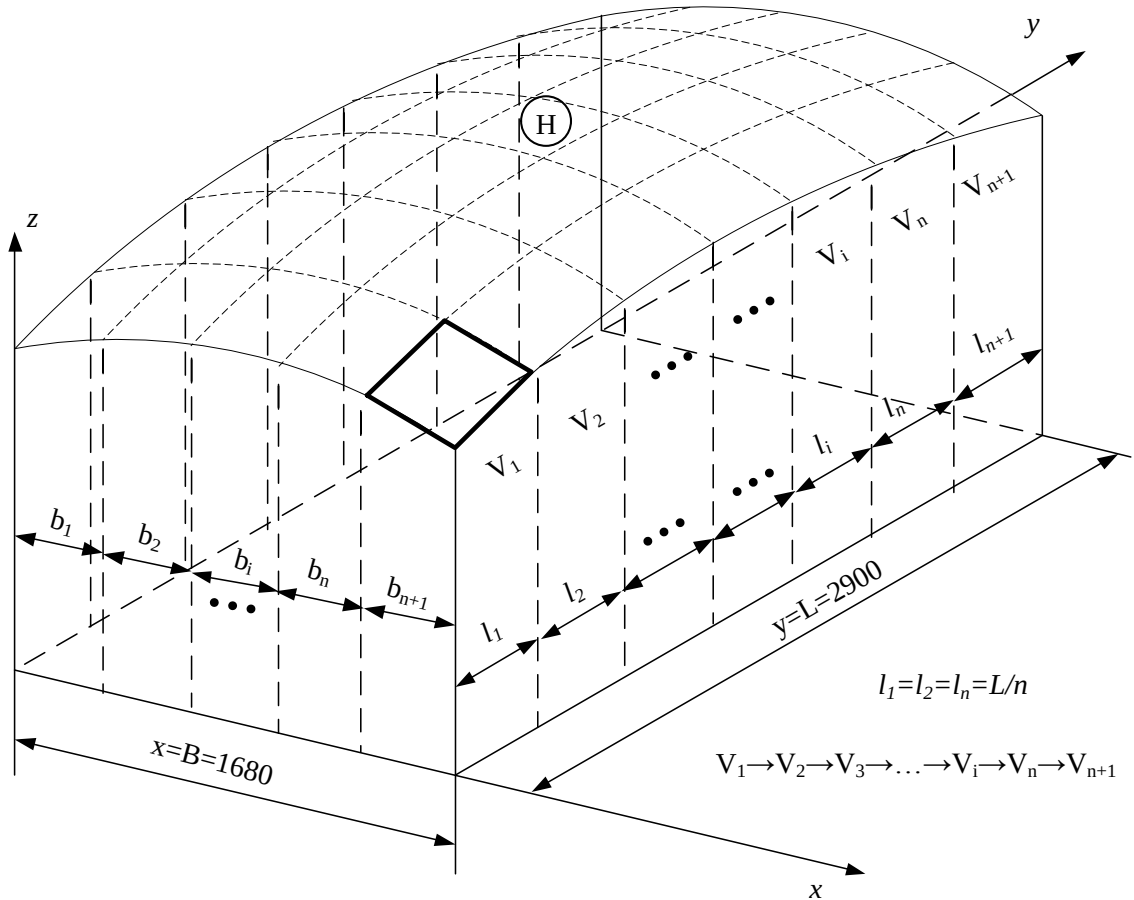


Рис. 2.17. Схема к обоснованию равномерности заполнения бункера кормораздатчика и формы кормового монолита в системе координат XUZ

Объем кормовой смеси, заложенный между двумя сечениями y_i и y_{i+1} и сечениями $x_0=0$ и $x_K=1680$ мм

$$V_{i,i+1} = \int_{y_i}^{y_{i+1}} \int_{x_0=0}^{x_K=1680} z dx dy. \quad (2.165)$$

С использованием зависимости (2.163), выражение (2.165) принимает вид

$$\begin{aligned} V_{i,i+1} &= \int_{y_i}^{y_{i+1}} \int_{x_0=0}^{x_K=1680} (\dot{a}_{11}x^2 + \dot{a}_{22}y^2 + \dot{a}_{12}xy + \dot{a}_1x + \dot{a}_2y + \dot{a}_0) z dx dy = \\ &= \frac{\dot{a}_{11}}{3} x_K^3 (y_{i+1}y_i) + \frac{\dot{a}_{22}}{3} x_K (y_{i+1}^3 - y_i^3) + \frac{\dot{a}_{12}}{4} x_K (y_{i+1}^2 - y_i^2) + \\ &+ \frac{\dot{a}_1}{2} x_K^2 (y_{i+1} - y_i) + \frac{\dot{a}_2}{2} x_K (y_{i+1}^2 - y_i^2) + \dot{a}_0 (y_{i+1} - y_i). \end{aligned} \quad (2.166)$$

Исследуем уравнения поверхности (2.163) и (2.164) 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 [102]

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{13}xz + 2a_{23}yz + 2a_{14}x + 2a_{24}y + 2a_{34}z + a_{44} = 0. \quad (2.167)$$

Сначала исследуем поверхность, описываемую уравнением (2.163), 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

$$\begin{aligned} a_{11} &= \dot{a}_{11}; \quad a_{22} = \dot{a}_{22}; \quad a_{33} = 0; \quad a_{12} = \frac{\dot{a}_{12}}{2}; \quad a_{13} = 0; \\ a_{23} &= 0; \quad a_{14} = \frac{\dot{a}_1}{2}; \quad a_{24} = \frac{\dot{a}_2}{2}; \quad a_{34} = -0,5; \quad a_{44} = \dot{a}_0. \end{aligned} \quad (2.168)$$

В связи с этим уравнение (2.167) принимает вид

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + 2a_{12}xy + 2a_{14}x + 2a_{24}y + 2(-0,5)z + a_{44} = 0. \quad (2.169)$$

Для установления вида поверхности, описываемой уравнением (2.167) необходимо вычислить четыре инварианты:

$$I = a_{11} + a_{22} + a_{33} + a_{44}. \quad (2.170)$$

$$Y = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{33} & a_{34} \\ a_{13} & a_{11} \end{vmatrix}. \quad (2.171)$$

$$D = A_{44} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}. \quad (2.172)$$

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix}. \quad (2.173)$$

В уравнениях (2.167), (2.171), (2.172), (2.173) $a_{ik} = a_{ki}$; $i, k = 1, 2, 3, 4$.

Эти инварианты определяют свойства поверхности не зависящие от ее положения в пространстве.

Детерминант A называется дискриминантом уравнения (2.167).

Кроме инвариантов I, Y, D, A необходимо вычислить величину

$$A' = A_{11} + A_{22} + A_{33} + A_{44}, \quad (2.174)$$

где A_{ik} означает алгебраическое дополнение элемента a_{ik} в определителе $A = \det|a_{ik}|$

Дискриминант A с учетом (2.168) принимает вид

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & 0 & a_{24} \\ 0 & 0 & 0 & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix}. \quad (2.175)$$

Для вычисления (2.175) произведем его разложение по третьему столбцу. В результате будем иметь

$$\begin{aligned} A = -a_{43} &= \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{24} \\ 0 & 0 & a_{34} \end{vmatrix} = -a_{43}a_{44} \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = -a_{43}a_{34}(a_{11}a_{22} - a_{12}^2) = \\ &= -a_{34}^2(a_{11}a_{22} - a_{12}^2). \end{aligned} \quad (2.176)$$

Согласно уравнению (2.168) для всех опытов должно соблюдаться условие

$$a_{11}a_{22} - a_{12}^2 > 0.$$

Поэтому для всех опытов

$$A = -a_{34}^2(a_{11}a_{22} - a_{12}^2) < 0. \quad (2.177)$$

Инвариант

$$D = A_{44} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0. \quad (2.178)$$

Алгебраическое дополнение

$$A_{11} = a_{11} = \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} = a_{11} \begin{vmatrix} a_{22} & 0 & a_{24} \\ 0 & 0 & -0,5 \\ a_{42} & -0,5 & a_{44} \end{vmatrix} = 0,5 \begin{vmatrix} a_{22} & a_{24} \\ 0 & -0,5 \end{vmatrix} = -0,5^2 a_{11} a_{22}. \quad (2.179)$$

Алгебраическое дополнение

$$\begin{aligned} A_{22} = a_{22} &= \begin{vmatrix} a_{11} & a_{13} & a_{14} \\ a_{31} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} = a_{22} \begin{vmatrix} a_{11} & 0 & a_{14} \\ 0 & 0 & a_{34} \\ a_{41} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} = \\ &= -a_{22} a_{43} \begin{vmatrix} a_{11} & a_{14} \\ 0 & a_{34} \end{vmatrix} = -a_{22} a_{43} a_{11} a_{34} = -a_{22} a_{11} a_{34}^2. \end{aligned} \quad (2.180)$$

Согласно уравнению (2.168) также для всех опытов должно соблюдаться условие

$$A_{11} < 0; A_{22} < 0. \quad (2.181)$$

Алгебраическое дополнение

$$A_{33} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{24} \\ a_{41} & a_{42} & a_{44} \end{vmatrix} = 0, \quad (2.182)$$

так как $a_{33} = 0$, следовательно

$$A_{33} = 0. \quad (2.183)$$

Алгебраическое дополнение

$$A_{44} = D = 0 \quad (2.184)$$

Так как $A_{11} < 0; A_{22} < 0; A_{33} = A_{44} = 0$,

$$A' = A_{11} + A_{22} + A_{33} + A_{44} < 0 \quad (2.185)$$

Инвариант

$$\begin{aligned} Y &= \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{33} & a_{34} \\ a_{13} & a_{11} \end{vmatrix} = (a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}) + \\ &+ (a_{22} a_{33} - a_{23} a_{32}) + (a_{33} a_{11} - a_{34} a_{13}). \end{aligned} \quad (2.186)$$

На основании уравнения (2.168) можно заключить, что в нашем случае для всех опытов

$$(a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}) = (a_{11} a_{22} - a_{12}^2) > 0. \quad (2.187)$$

$$(a_{22} a_{33} - a_{23} a_{32}) = (a_{22} a_{33} - a_{23}^2) > 0. \quad (2.188)$$

$$(a_{33} a_{11} - a_{34} a_{13}) > 0. \quad (2.189)$$

На основании уравнения (2.186) с учетом уравнений (2.187), (2.188) и (2.189) заключаем, что

$$Y > 0 \quad (2.190)$$

Из уравнений (2.177), (2.178) и (2.190) следует, что для всех опытов

$$D = 0; A < 0; Y > 0.$$

В соответствии с классификацией поверхностей второго порядка [189] при $D = 0; A < 0; Y > 0$ имеет место эллиптический параболоид. Итак, во всех предположениях поверхности описываемые уравнениями (2.163) представляют эллиптические параболоиды.

Исследуем поверхность описываемую уравнением (2.164).

Для поверхности, по уравнению (2.164), значения коэффициентов равны

$$a_{11} = a_{11}; a_{22} = a_{22}; a_{33} = -1; a_{13} = 0; a_{23} = 0; a_{34} = 0; a_{44} = 0. \quad (2.191)$$

Для этой же поверхности

$$\begin{aligned} D = A_{44} &= \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = \\ &= -(a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}) = -(a_{11}a_{22} - a_{12}^2). \end{aligned}$$

Согласно данным (2.191) для всех опытов выполняется условие

$$D = -(a_{11}a_{22} - a_{12}^2) < 0. \quad (2.192)$$

Для поверхности, представленной уравнением (2.164)

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & 0 & a_{24} \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{44} \end{vmatrix} \quad (2.193)$$

являются положительными величинами, поэтому

$$Y > 0. \quad (2.194)$$

Тогда, для поверхности, описываемой уравнением (2.164)

$$I = a_{11} + a_{22} + a_{33} < 0. \quad (2.195)$$

Произведение DI , как это следует из уравнений (2.192) и (2.195) является положительной величиной, то есть

$$DI > 0. \quad (2.196)$$

Итак, для поверхности, описываемой уравнением (2.164), в соответствии с условиями (2.194), (2.195) и (2.196)

$$A < 0; DI > 0; Y > 0.$$

Из классификации поверхностей второго порядка, при этом условии имеет место действительный эллипсоид.

Таким образом, для всех опытов, обеспечивающих выполнение данного условия, поверхность, описываемая уравнениями (2.163) и (2.164), представляет эллиптический параболоид, действительный эллипсоид соответственно.

С использованием зависимости (2.164), выражение (2.163) принимает вид

$$V_{i,i+1} = \int_{y_i}^{y_{i+1}} \int_{x_0=0}^{x_g} \sqrt{a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{12}xy + a_1x + a_2y + a_0} dx dy. \quad (2.197)$$

Радикал, входящий в подинтегральную функцию (2.197), представлен в виде

$$\begin{aligned} & \sqrt{a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{12}xy + a_1x + a_2y + a_0} = \\ & = \sqrt{a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + (a_{12}y + a_1)x + a_2y + a_0}. \end{aligned} \quad (2.198)$$

Введем обозначения

$$a = a_{11}; \quad (2.199)$$

$$b = a_{12}y + a_1; \quad (2.200)$$

$$c = a_{22}y^2 + a_2y + a_0. \quad (2.201)$$

С учетом (2.199), (2.200) и (2.201) выражение (2.197) примет вид

$$V_{i,i+1} = \int_{y_i}^{y_{i+1}} \left(\int_{x_0=0}^{x_g} \sqrt{ax^2 + bx + c} dx \right) dy. \quad (2.202)$$

В интеграле

$$\int_{x_0=0}^{x_g} \sqrt{ax^2 + bx + c} dx. \quad (2.203)$$

коэффициенты a , b , c в соответствии с выражениями (2.199), (2.200) и (2.201) являются функциями y .

Интеграл (2.203) является интегралом от иррациональной функции вида

$$\int R(x, \sqrt{ax^2 + bx + c}) dx, \quad (2.204)$$

где $a \neq 0$.

Так как в нашем случае $a < 0$, то для вычисления (2.203) 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

$$\sqrt{a(x - \alpha)(x - \beta)} = (x - \alpha)t. \quad (2.205)$$

Возводя (2.205) в квадрат, получим

$$a(x-\alpha)(x-\beta)=(x-\alpha)^2 t^2. \quad (2.206)$$

Из (2.206) имеем

$$a(x-\beta)=(x-\alpha)t^2.$$

Отсюда находим x как рациональную функцию от t

$$x = \frac{a\beta - \alpha t^2}{a - t^2}. \quad (2.207)$$

Так как dx и $\sqrt{ax^2 + bx + c}$ тоже рационально зависит от t , то данный интеграл преобразуется в интеграл от рациональной функции пот.

Преобразуем интеграл (2.203) в рациональную функцию от t .

На основании выражения (2.207) имеем

$$dx = \frac{2a(\beta - \alpha)t}{(a - t^2)^2} dt. \quad (2.208)$$

С учетом выражений (2.207) и (2.208), интеграл (2.203) принимает вид

$$\int \sqrt{ax^2 + bx + c} dx = 2a^2(\beta - \alpha)^2 \int \frac{t^2}{(a - t^2)^3} dt. \quad (2.209)$$

Интеграл

$$I_0 = \int \frac{t^2}{(a - t^2)^3} dt, \quad (2.210)$$

входящий в равенство (2.209), представим следующим образом

$$I_0 = -\int \frac{t^2}{(a - t^2)^3} dt. \quad (2.211)$$

Так как $a \leq 0$, то можно ввести обозначение

$$m^2 = a \quad (2.212)$$

Тогда выражение (2.210) принимает вид

$$I_0 = \int \frac{t^2}{(t^2 + m^2)^3} dt. \quad (2.213)$$

Интеграл (2.213) представляет интеграл от подынтегральной функции в виде рациональной дроби. Интегрирование выражения (2.213) дает [47].

$$I = -\frac{1}{4} \left[\frac{t}{(t^2 + m^2)^2} - \frac{t}{2m^2(t^2 + m^2)} - \frac{1}{2m^3} \operatorname{actg} \frac{t}{m} \right]. \quad (2.214)$$

С учетом выражений (2.214), (2.3212), (2.211) интеграл (2.209) представляется в виде

$$\int \sqrt{ax^2 + bx + c} dx = \frac{a^2(\beta - \alpha)^2}{2} \left[\frac{t}{(t^2 + m^2)^2} - \frac{t}{2m^2(t^2 + m^2)} - \frac{1}{2m^3} \operatorname{actg} \frac{t}{m} \right]. \quad (2.215)$$

На основании выражения (2.207) имеем

$$t = \sqrt{\frac{a(x - \beta)}{(x - \alpha)}} \quad (2.216)$$

и тогда равенство (2.215) принимает вид

$$\int \sqrt{ax^2 + bx + c} dx = \frac{a^2(\beta - \alpha)^2}{2} \cdot \left\{ \frac{\sqrt{\frac{a(x - \beta)}{(x - \alpha)}}}{\frac{a(x - \beta)}{(x - \alpha)} - a} - \frac{\sqrt{\frac{a(x - \beta)}{(x - \alpha)}}}{-2a \left(\frac{a(x - \beta)}{(x - \alpha)} - a \right)} - \frac{1}{2(-a)\sqrt{-a}} \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{\frac{a(x - \beta)}{(x - \alpha)}}}{\sqrt{-a}} \right\}. \quad (2.217)$$

Возвращаясь к выражению (2.202) с учетом равенства (2.217) имеем

$$V_{i,i+1} = \int_{y_i}^{y_{i+1}} \left(\frac{a^2(\beta - \alpha)^2}{2} \left(\frac{\sqrt{\frac{a(x_{\hat{e}} - \beta)}{(x_{\hat{e}} - \alpha)}}}{\frac{a(x_{\hat{e}} - \beta)}{(x_{\hat{e}} - \alpha)} - a} - \frac{\sqrt{a \frac{\beta}{\alpha}}}{\left(a \frac{\beta}{\alpha} - a \right)} + \frac{\sqrt{\frac{a(x_{\hat{e}} - \beta)}{(x_{\hat{e}} - \alpha)}}}{2a \left(\frac{a(x_{\hat{e}} - \beta)}{(x_{\hat{e}} - \alpha)} - a \right)} - \frac{\sqrt{a \frac{\beta}{\alpha}}}{2a \left(a \frac{\beta}{\alpha} - a \right)} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{2a\sqrt{-a}} \operatorname{arctg} \sqrt{-\frac{(x_{\hat{e}} - \beta)}{(x_{\hat{e}} - a)}} - \frac{1}{2a\sqrt{-a}} \operatorname{arctg} \sqrt{-\frac{\beta}{\alpha}} \right) \right), \quad (2.218)$$

где

$$\beta = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}; \quad (2.219)$$

$$\beta = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}. \quad (2.220)$$

Вполне очевидно, что подинтегральная функция в выражении (2.218)

$$f(y) = \frac{a^2(\beta - \alpha)^2}{2} \left(\frac{\sqrt{a \frac{(x_{\hat{e}} - \beta)}{(x_{\hat{e}} - \alpha)}}}{\left(\frac{a(x_{\hat{e}} - \beta)}{(x_{\hat{e}} - \alpha)} - a \right)^2} - \frac{\sqrt{a \frac{\beta}{\alpha}}}{\left(a \frac{\beta}{\alpha} - a \right)^2} + \frac{\sqrt{\frac{a(x_{\hat{e}} - \beta)}{(x_{\hat{e}} - \alpha)}}}{2a \left(\frac{a(x_{\hat{e}} - \beta)}{(x_{\hat{e}} - \alpha)} - a \right)} - \frac{\sqrt{a \frac{\beta}{\alpha}}}{2a} + \right. \\ \left. + \frac{1}{2a\sqrt{-a}} \operatorname{arctg} \sqrt{-\frac{(x_{\hat{e}} - \beta)}{(x_{\hat{e}} - a)}} - \frac{1}{2a\sqrt{-a}} \operatorname{arctg} \sqrt{-\frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad (2.221)$$

имеет довольно сложный вид.

Поэтому интеграл

$$I_y = \int f(y) dy \quad (2.222)$$

выразить в элементарных функциях не представляется возможным.

В этой связи, для вычисления значений элементарных объемов сформированного в бункере монолита

$$V_{i,i+1} = \int_{y_i}^{y_{i+1}} f(y)dy. \quad (2.223)$$

Воспользуемся теоремой о среднем для определенных интегралов, в соответствии с которой

$$V_{i,i+1} = \int_{y_i}^{y_{i+1}} f(y)dy \approx f\left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2}\right)(y_i - y_{i+1}). \quad (2.224)$$

Тогда, выражение для определения коэффициента вариации, с помощью которого оценивается равномерность заполнения бункера кормораздатчика, примет вид

$$\delta_{\zeta} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i - m_v)^2}}{n-1} / m_v, \quad (2.225)$$

где m_v – среднее значение V_i . При $\delta_{\delta} \approx 0$, $\delta_{\rho} \approx 0$, $\delta_{\text{птр}} \approx 0$, значение $\delta_{\rho} = \delta_{\text{з}}$, где δ_{ρ} – неравномерность раздачи кормов бункерным раздатчиком.

2.4.2 Теоретические предпосылки к оценке влияния способа и параметров формирования кормового монолита в бункере мобильного раздатчика-смесителя на его смешивающую способность

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 $\|\rho_{ij}\|$ [138].

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 [139]. Точнее, если $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ случайный вектор (таким вектором является век-

тор 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:

$$\alpha_{ij} = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \cdots \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \cdots \alpha_{2n} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \cdots \alpha_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \cdots \cdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \alpha_{n3} \cdots \alpha_{nn} \end{vmatrix}, \quad (2.226)$$

которая характеризуется следующим выражением:

$$\alpha_{1(2, 3, \dots, n)} = \sqrt{1 - \frac{\det \alpha_{ij}}{R_{11}}}, \quad (2.227)$$

где $\det \|\alpha_{ij}\|$ - определитель матрицы.

Данный определитель можно представить как

$$\det \alpha_{ij} = \begin{vmatrix} 1 & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & 1 & \alpha_{23} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & 1 & \cdots & \alpha_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & \cdots & 1 \end{vmatrix}. \quad (2.228)$$

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

$$R_{11} = (-1)^{1+1} \begin{vmatrix} \alpha_{22} & \alpha_{23} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \alpha_{32} & \alpha_{33} & \cdots & \alpha_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & \cdots & \alpha_{nn} \end{vmatrix}. \quad (2.229)$$

Подставляя в формулу (2.227) значение $\det||\alpha_{ij}||$ из (2.228) и значение R_{11} из (2.229), получим выражение для определения множественного коэффициента корреляции $\alpha_{1(2,3,\dots,n)}$ в развернутом виде

$$\alpha_{1(2,3,\dots,n)} = \frac{\begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & \cdots & \alpha_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & \cdots & \alpha_{nn} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \alpha_{22} & \alpha_{23} & \alpha_{24} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \alpha_{32} & \alpha_{33} & \alpha_{34} & \cdots & \alpha_{3n} \\ \alpha_{42} & \alpha_{43} & \alpha_{44} & \cdots & \alpha_{4n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & \alpha_{n4} & \cdots & \alpha_{nn} \end{vmatrix}}. \quad (2.230)$$

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 [139].

$$\alpha_{1(2,3,\dots,n)} = \sqrt{1 - \frac{\sigma_{1(2,3,\dots,n)}^2}{\sigma_1^2}}, \quad (2.231)$$

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

$$x_1^1 = m_{x_1} + \sum \beta_{1k} (x_k - m_{x_k}), \quad (2.232)$$

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 $\det||\alpha_{ij}||$.

описываемого уравнением (4), то есть

$$D=R_{11}. \quad (2.239)$$

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 (2.236)

$$\begin{vmatrix} \alpha_{21} \\ \alpha_{31} \\ \dots \\ \alpha_{n1} \end{vmatrix}.$$

Таким образом, необходимо составить определитель

$$D_{\beta_i} = R_{11(\beta_i)} = \begin{vmatrix} \alpha_{22}\alpha_{23} & \dots & \alpha_{2(i-1)}\alpha_{21}\alpha_{2(i+1)} & \dots & \alpha_{2n} \\ \alpha_{32}\alpha_{33} & \dots & \alpha_{3(i-1)}\alpha_{31}\alpha_{3(i+1)} & \dots & \alpha_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n2}\alpha_{n3} & \dots & \alpha_{n(i-1)}\alpha_{n1}\alpha_{n(i+1)} & \dots & \alpha_{nn} \end{vmatrix}. \quad (2.240)$$

По правилу Крамера корень β_i равен

$$\beta_i = \frac{D_{\beta_i}}{D} = \frac{R_{11(\beta_i)}}{R_{11}} \quad (i=2, 3, \dots, n). \quad (2.241)$$

Представляя значения β_i из (2.241) в (2.235), получим

$$\alpha_{1(2,3,\dots,n)} = \sqrt{\alpha_{12} \frac{R_{11(\beta_2)}}{R_{11}} + \alpha_{13} \frac{R_{11(\beta_3)}}{R_{11}} + \dots + \alpha_{1n} \frac{R_{11(\beta_n)}}{R_{11}}} = \sqrt{\sum_{i=2}^n \frac{\alpha_{1i}}{R_{11}}}. \quad (2.240)$$

Множественный коэффициент корреляции $\alpha_{1,(2,3,\dots,n)}$ называют сводным коэффициентом корреляции [139]. При этом, сводный коэффициент корреляции вычисляют по следующей зависимости.

Алгоритм вычисления сводного коэффициента корреляции сводится к тому, что в начале определяются центральные моменты второго порядка

$$\lambda_{jk} = \lambda_{ji} = \frac{\sum_{i=1}^m (X_j^{(i)} - m_{xj})(X_k^{(i)} - m_{xk})}{m}. \quad (2.241)$$

$D_{xi} = \sigma_i^2$ при $i=k$ (дисперсия); $\text{cov}x_i x_k$ при $i \neq k$ (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

$$x_1^1 = m_{x1} + \sum_{k \neq 1} \beta_{1k} (x_k - m_{xk}), \quad (2.242)$$

где β_{ik} - коэффициенты линейной регрессии, определяемые по зависимости

$$\beta_{1k} = -\frac{A_{1k}}{A_{11}}, \quad (2.243)$$

где $\|A_{ik}\| = \|\lambda_{ik}\|^{-1}$ есть матрица, обратная матрице моментов $\|\lambda_{ik}\|$.

Тогда сводный коэффициент корреляции определяется по зависимости

$$\alpha(x_1, x_1^1) = \sqrt{1 - \frac{1}{\lambda_{11} A_{11}}} \quad (2.244)$$

Матрица $\|\lambda_{ik}\|^{-1} = \|A_{ik}\|$ - представляет собой обратную матрицу моментов [45] то есть матрица, для которой

$$\|A_{ik}\| \|A_{jk}\|^{-1} = E. \quad (2.245)$$

Здесь E - единичная матрица, имеющая вид

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix}. \quad (2.246)$$

Для матрицы $\|\lambda_{ik}\|$ обратной является матрица $\|\lambda_{ik}\|^{-1}$, элементы которой определяются по зависимости

$$\|\lambda_{ik}\| = \frac{A_{ik}}{\det \|\lambda_{ik}\|}, \quad (2.247)$$

где A_{ik} - алгебраическое дополнение элемента λ_{ik} определителя $\det \|\lambda_{ik}\|$ [129].

В частности, для элемента A_{11} , входящего в формулу (2.244) по определению сводного коэффициента корреляции выражение (2.247) принимает вид

$$\lambda_{11} = \frac{A_{11}}{\det \|\lambda_{ik}\|}, \quad (2.248)$$

В выражении A_{11} определяется по зависимости

$$A_{11} = \begin{vmatrix} \sigma_{x_2}^2 & \text{cov } x_2 x_3 & \text{cov } x_2 x_4 & \dots & \text{cov } x_2 x_n \\ \text{cov } x_2 x_3 & \sigma_{x_3}^2 & \text{cov } x_3 x_4 & \dots & \text{cov } x_3 x_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{cov } x_n x_2 & \text{cov } x_n x_3 & \text{cov } x_n x_4 & \dots & \sigma_{x_n}^2 \end{vmatrix}. \quad (2.249)$$

При этом, величина λ_{11} , входящая в равенство (2.244), определяется по зависимости

$$\lambda_{11} = \sigma_{\hat{\alpha}_1}^2 = \sigma_1^2 \quad (2.250)$$

С учетом выражений (2.248) и (2.250) формула (2.244) прини-

мает вид

$$\alpha(x_1, x_1^1) = \sqrt{1 - \frac{1}{\lambda_{11} A_{11}}} = \sqrt{1 - \frac{\det \|\lambda_{ik}\|}{\sigma_1^2 A_{11}}}. \quad (2.251)$$

Квадрат множественного коэффициента корреляции принято называть коэффициентом детерминации. Исходя из вышеизложенного, коэффициент детерминации можно определить по любой из следующих зависимостей:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{1(2,3,\dots,n)}^2 &= 1 - \frac{|R|}{R_{11}} \\ \alpha_{1(2,3,\dots,n)}^2 &= 1 - \frac{\sigma_{1(2,3,\dots,n)}^2}{\sigma_1^2} \\ \alpha_{1(2,3,\dots,n)}^2 &= \beta_2 \alpha_{12} + \beta_3 \alpha_{13} + \dots + \beta_n \alpha_{1n} \end{aligned} \right\}. \quad (2.252)$$

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

$$\theta = \left[1 - \frac{\sigma_{1(2,3,\dots,n)}^2}{\sigma_1^2} \right]^{1/2} 100\%. \quad (2.253)$$

Анализ выражения (2.253) показывает, что при $\alpha \rightarrow 1$ $\theta \rightarrow 100\%$. При таких условиях параметр $\Delta \mathcal{E}_T$ согласно принятой модели в системе уравнений (2.1) стремится к минимуму.

Выравнивание колебаний количественного состава кормового продукта согласно данному способу (рис. 2.18) осуществляется за счет сдвига входного потока и его характеристик

$$l' = H_6 / \sin \varepsilon', \quad (2.254)$$

где H_6 — высота формируемого кормового монолита; ε' — угол естественного откоса корма в движении.

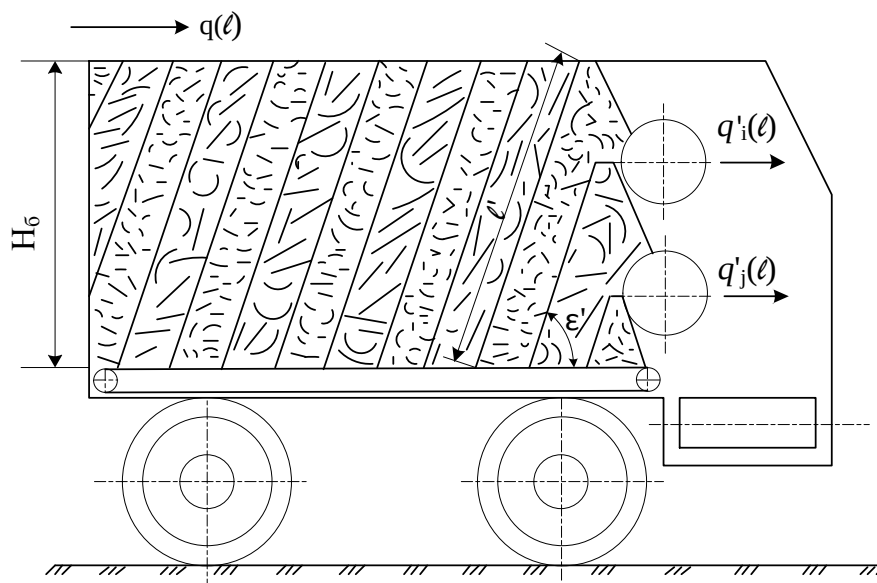


Рис. 2.18. Схема к определению выравнивающей способности и оценки качественных характеристик процесса заполнения бункера

Для данной схемы взаимная корреляционная функция $R_{qi}(\ell_1, \ell_2)$ может быть представлена как

$$R_{q,q_j}(\ell_1, \ell_2) = K_q[\Delta\ell + (j-k)\ell']. \quad (2.255)$$

Для выходного потока из бункера, корреляционная функция имеет вид

$$K'_q(\ell_1, \ell_2) = K_q(\Delta\ell) = \frac{1}{n^2} \left\{ nK_q(\Delta\ell) + \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n K_q[\Delta\ell + (j+k)\ell'] \right\}. \quad (2.256)$$

Это выражение можно преобразовать к следующему виду:

$$K'_q(\Delta\ell) = \frac{1}{n^2} \left\{ nK_q(\Delta\ell) + \sum_{k=1}^n (n-k) [K_q(\Delta\ell + k\ell') + K_q(\Delta\ell - k\ell')] \right\}. \quad (2.257)$$

Данное выражение дает возможность определить коэффициент вариации для потока на выходе из бункера раздатчика

$$\begin{aligned} \theta_{\tilde{m}} &= \left\{ \frac{1}{n^2} \left[nK_q(0) + \sum_{k=1}^n (n-k) K_q(k\ell') \right] \right\}^{1/2} q^{-1} = \\ &= \left\{ \frac{1}{n^2} \left[2 \sum_{k=0}^n (n-k) K_q(k\ell') - nK_q(0) \right] \right\}^{1/2} q^{-1}, \end{aligned} \quad (2.258)$$

где q — количество контрольного компонента в смеси.

Анализ выражения (2.258) показывает, что коэффициент вариации для потока на выходе из бункера раздатчика в первую очередь зависит от числа формируемых слоев.

Из данного выражения можно найти предельное значение корреляционной функции

$$\begin{aligned} K_q^0(\Delta\ell) &= \lim_{n \rightarrow \infty} K'_q(\Delta\ell) = \frac{1}{\Delta Ln} \int_0^{\Delta Ln} \left(1 - \frac{\ell}{\Delta Ln} \right) \times \\ &\times [K_q(\Delta\ell + \ell) + K_q(\Delta\ell - \ell)] d\ell. \end{aligned} \quad (2.259)$$

При $n \rightarrow \infty$ коэффициент вариации случайного процесса определится как

$$\theta_{\tilde{m}} = \left\{ \frac{1}{\Delta Ln} \int_0^{\Delta Ln} K_q(\Delta\ell) \left(1 - \frac{\ell}{\Delta Ln} \right) d\ell \right\}^{1/2} q^{-1}, \quad (2.260)$$

где q — содержание контрольного компонента в полученной смеси.

Аппроксимируя корреляционную функцию $K_q(\Delta\ell)$ выражением вида

$$K_q(\Delta\ell) = D(q) e^{-\alpha|\Delta\ell|} \cos \beta \Delta\ell \quad (2.261)$$

и, принимая $\Delta\ell=0$, получим

$$\theta_{cm} = \left\{ \frac{2}{\Delta L n_c} \int_{i=1}^{n_c} D(q)_q b x_i \right\}^{1/2} q^{-1} = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^{n_c} D(q) b x_i}{\Delta L n_c q^2}} \quad (2.262)$$

Приравнивая правые части выражений (2.253) и (2.262) и решая полученное равенство относительно дисперсии σ_1^2 получим

$$D(q) b x_{ij} = \sigma_1^2 = \frac{\sigma_{1(2,3,\dots,n)}^2}{\left[\frac{2 \sum_{i=1}^{n_c} D(q) b x_{ij}}{\Delta L n_c q^2} \right]^{0,5}}. \quad (2.263)$$

Анализ выражения (2.263) показывает, что дисперсия колебаний качественного состава в потоке кормовой смеси на выходе из раздатчика - смесителя зависит от колебаний качественного состава во входном потоке, длины бункера раздатчика-смесителя – $L = \Delta L$, а также числа сформированных слоев n_c в его бункере. При этом выражение (2.263) учитывает парную (корреляционную) связь между смешиваемыми компонентами.

Приняв q -равный количеству корма на 1 метр кормушки на основании выражения (2.262) можно записать для процесса раздачи кормов

$$\delta_p = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^{n_c} D(q) b x_{ij}}{\Delta L \cdot n_c \cdot q^2}} \leq [\delta_p]. \quad (2.263)^*$$

2.5 Теоретические аспекты по обоснованию параметров процесса отделяюще-смешивающего органа раздатчика

С целью оценки интенсификации процесса смешивания кормовых компонентов, входящих в состав кормового монолита, с помощью активного рабочего органа необходимо провести теоретическое обоснование технологического подхода к решению данной задачи.

Как установлено предыдущим анализом, на качественные показатели работы раздатчика оказывают влияние и схема выполнения рабочих органов и его конструктивно-режимные параметры.

Анализ работы отделяюще-смешивающего битера выполнен со следующими допущениями:

- масса однородна по составу;

- подача на каждый ряд пальцев отделяюще-смешивающего бitera одинакова;
- отделение материала происходит только под действием пальцев;
- скорость падающего транспортера раздатчика-смесителя постоянна.

Рассмотрим движение активной части отделяюще-смешивающего рабочего органа, в дальнейшем называемого бiterом во вращательном и возвратно-поступательном продольном направлениях. Высоту пальца, выполненного в виде рамки треугольного профиля, пока не рассматриваем, так как закономерности движения бitera аналогичны закономерностям движения пальца.

Движение наиболее удаленной точки бitera (точка, где высота пальца равна нулю) в поперечном сечении определяется угловой скоростью вращения ω вала. Угол поворота вала равен углу поворота активной части бitera и определяется по зависимости $\varphi = \omega t$, где t - время вращения.

При вращении вала бiter одновременно совершает два движения:

- вращательное переносное с угловой скоростью ω ;
- возвратно-поступательное относительно вдоль оси вала со скоростью v и ходом от одного крайнего положения по другому S .

Установим закон движения наиболее удаленной точки бitera в относительном движении вдоль оси вала.

За окончательное положение примем такое, когда активная часть бitera контактирует с неподвижной частью максимальной плоскостью контакта, в дальнейшем - положение разреза. Плоскость контакта занимает положение перпендикулярное плоскости чертежа. Тогда разрез изображается на чертеже в виде следа АВ, наклоненного под углом α к оси вала (рис. 2.19).

Введем прямоугольную систему координат $OX_1Y_1Z_1$ следующим образом. За начало координат принимаем точку пересечения оси вала со следом АВ (рис. 2.19).

Ось X_1 направим вдоль АВ; ось Y_1 - перпендикулярно АВ.

Разрез представляет эллипс с полуосью

$$a = r / \sin \alpha$$

на оси x и с полуосью $b = r$ на оси y .

Уравнение эллипса в системе координат $OX_1Y_1Z_1$ имеет вид

$$\left. \begin{aligned} \frac{X_1^2}{a^2} + \frac{Y_1^2}{b^2} &= 1 \\ Z_1 &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (2.264)$$

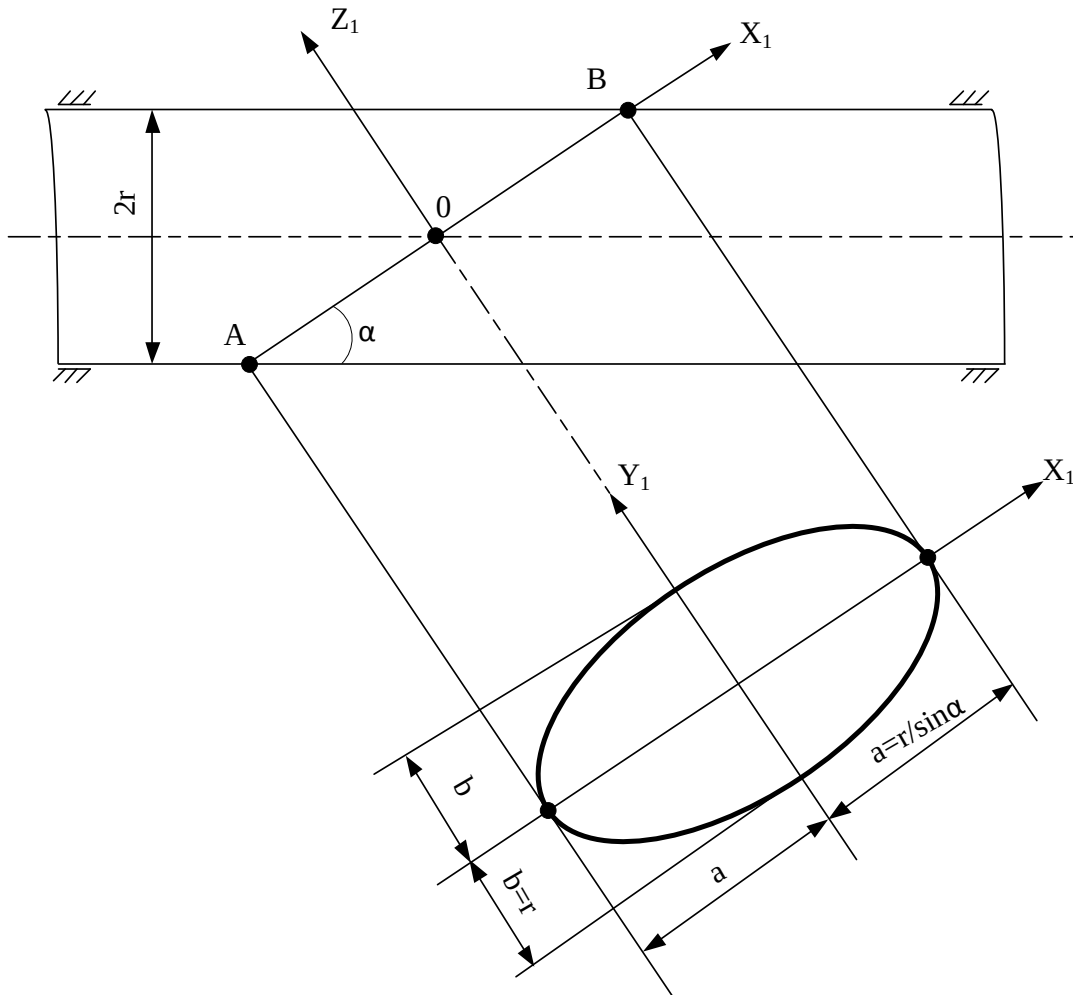


Рис. 2.19. Схема к определению начального положения битера

После поворота битера на некоторый угол φ вокруг оси вала проекция эллипса на плоскость чертежа представляет некоторый эллипс Э. При этом происходит следующее.

Пусть битер повернулся на угол $\varphi = \omega t$ (рис. 2.20). Поступательное движение вдоль оси вала пока не рассматриваем. При повороте битера на угол φ точки А и В перемещаются по соответствующим окружностям поперечных сечений (1-1) или (2-2) (рис. 2.20). Точка А опишет дугу $A'A'_1$, точка В опишет дугу $B'B'_1$. Очевидно, что $A'A'_1 = B'B'_1$.

После поворота битера на угол φ точка В эллипса, находящаяся в сечении 2-2 переместится вниз и займет положение A_1 , а точка

А переместится вверх и займет положение A_1B_1 . Тем самым после поворота на угол φ ось АВ эллипса займет новое положение, проекция которого на плоскость чертежа представляется в виде отрезка A_1B_1 . Проекция повернутого на угол φ исходного эллипса на плоскость представится в виде эллипса Э (рис. 2.20).

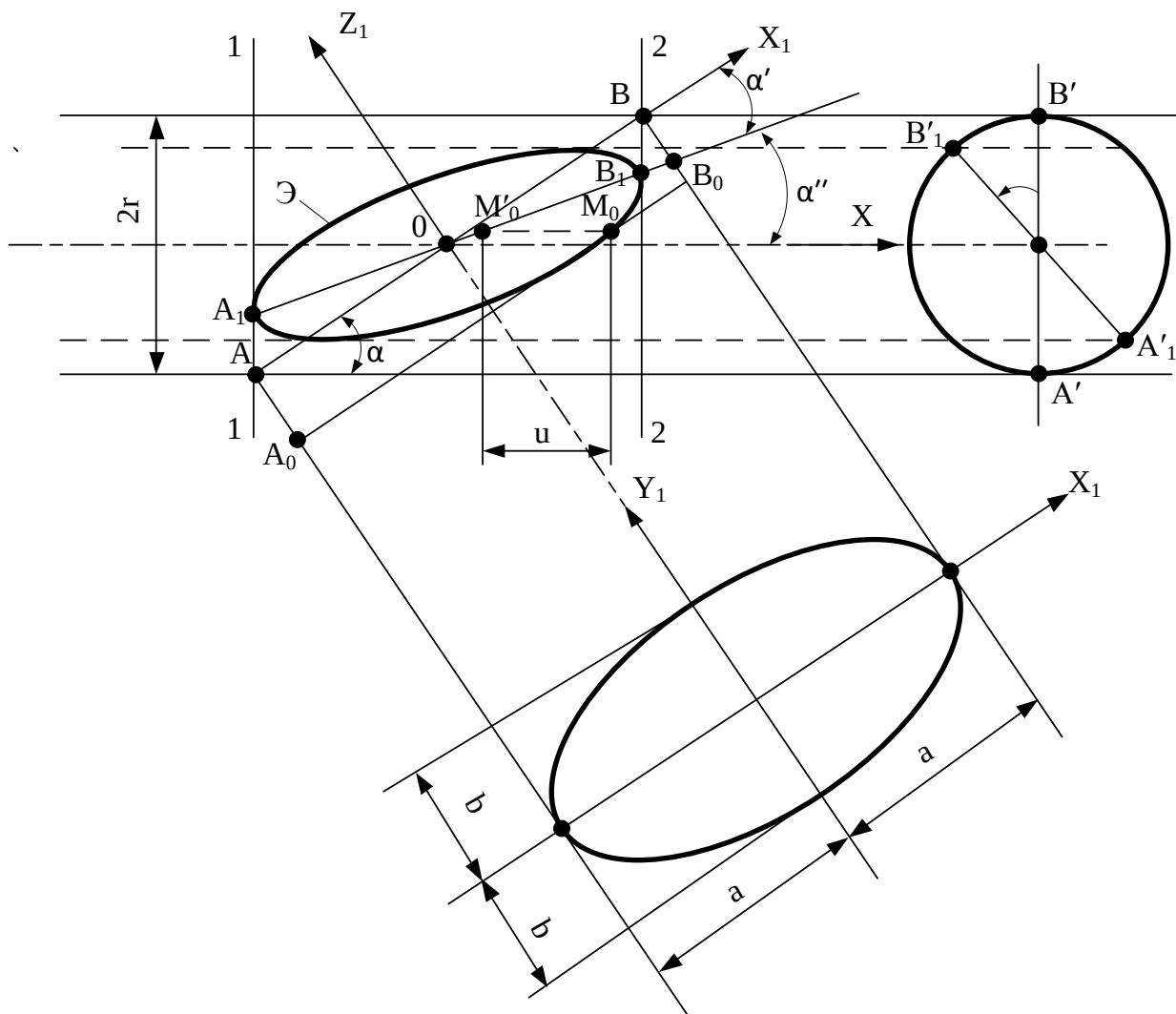


Рис. 2.20. Схема к определению угла φ поворота битера

Отрезок A_1B_1 будет находиться под углом α_φ к оси вала и отклонен от АВ на угол $\alpha_\varphi' = \alpha'$.

После изложенного, можно наметить следующий план решения задачи по нахождению перемещения битера вдоль оси вала:

- находим уравнение эллипса Э в системе координат ОХУ (ось Х совпадает с осью вала, ось У перпендикулярна оси Х);
- определяем координаты точки M_0 касания эллипса линией $A_0M_0B_0$ параллельной линии АВ;

- через точку M_0 проводим линию параллельно оси X (оси вала) до пересечения с линией AB в точке M_0 ;
- отрезок $M_0'M_0$ и будет определяться поступательное перемещение битера вдоль оси вала за время t , при котором разрез повернулся на угол $\varphi = \omega t$.

Поставленную задачу будем решать в соответствии с вышеизложенным планом. Будем различать систему координат $OX_1Y_1Z_1$, образованную следующим образом. Ось X направим вдоль оси вала (рис. 2.20). Ось Y направим вертикально вверх, ось Z направим перпендикулярно осям X и Y по направлению, перпендикулярному плоскости чертежа.

Покажем уравнение (2.264) в системе координат $OXYZ$.

Для этой цели найдем зависимость между координатами в системе $OX_1Y_1Z_1$ от координат в системе $OXYZ$. Изобразим системы $OX_1Y_1Z_1$ и $OXYZ$, имеющие общее начало в точке O (рис. 2.21). Нанесем орты $\bar{i}; \bar{j}; \bar{k}$ на осях $X; Y; Z$ и $\bar{i}_1; \bar{j}_1; \bar{k}_1$, на осях $X_1; Y_1; Z_1$ [87].

Будем рассматривать произвольный радиус-вектор $\bar{\rho} = \bar{r} \bar{r}$.

В системе координат XYZ радиус - вектор можно выразить так

$$\bar{\rho} = \rho_x \bar{i} + \rho_y \bar{j} + \rho_z \bar{k}. \quad (2.265)$$

где $\rho_x = X; \rho_y = Y; \rho_z = Z$ являются координатами точки M в системе $OXYZ$.

Тогда (2.265) можно представить в виде

$$\bar{\rho} = x \bar{i} + y \bar{j} + z \bar{k}. \quad (2.266)$$

Умножая скалярно (2.266) на $\bar{i}_1$, получим

$$x_i = x(\bar{i} \cdot \bar{i}_1) + y(\bar{j} \cdot \bar{i}_1) + z(\bar{k} \cdot \bar{i}_1), \quad (2.267)$$

но

$$(\bar{i} \cdot \bar{i}_1) = \cos(X; X_1); (\bar{j} \cdot \bar{i}_1) = \cos(Y; X_1); (\bar{k} \cdot \bar{i}_1) = \cos(Z; X_1).$$

Тогда (2.267) принимает вид

$$X_1 = X \cos(X; X_1) + Y \cos(Y; X_1) + Z \cos(Z; X_1). \quad (2.268)$$

Аналогично, умножая скалярно (2.181) на $\bar{j}_1$, и на $\bar{k}_1$, получим уравнения соответственно

$$Y_1 = X \cos(X; Y_1) + Y \cos(Y; Y_1) + Z \cos(Z; Y_1) \quad (2.269)$$

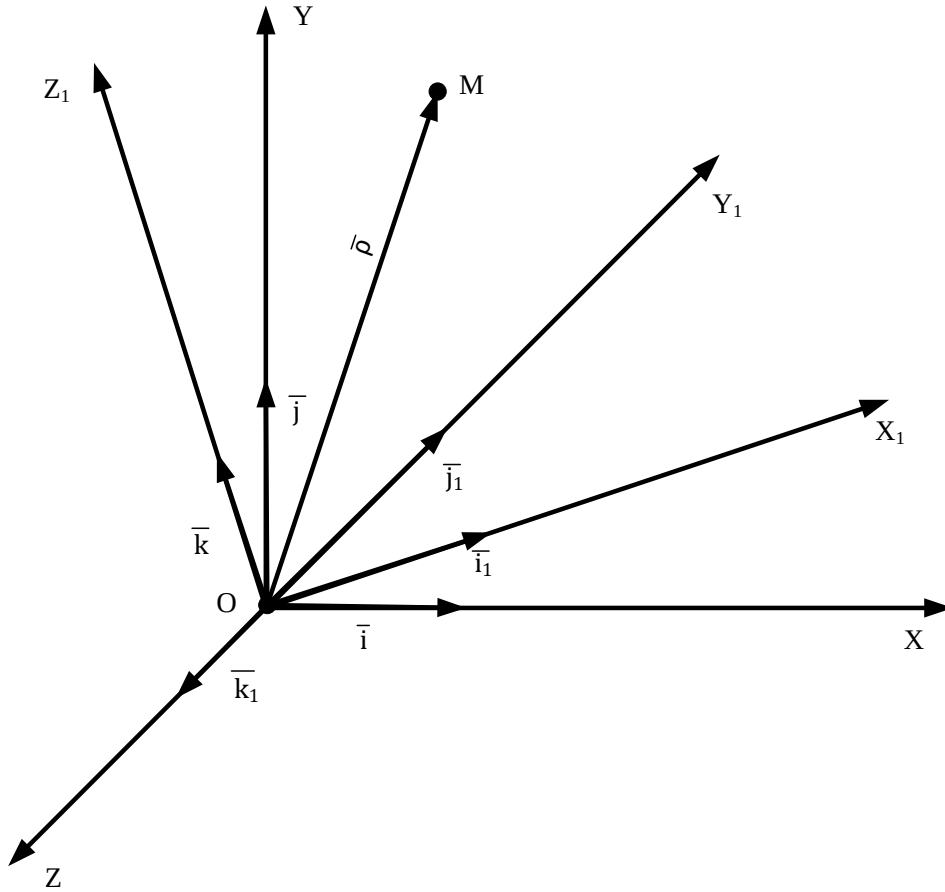


Рис. 2.21. Схема к определению зависимости между координатами в системе XYZ от координат в системе $\bar{i}; \bar{j}; \bar{k}$

$$Z_1 = X \cos(X; Z_1) + Y \cos(Y; Z_1) + Z \cos(Z; Z_1) \quad (2.270)$$

Из рисунка 2.18 можно установить следующую зависимость:

$$\left. \begin{aligned} \cos(X; X_1) &= (\bar{i} \cdot \bar{i}_1) = \cos \alpha \\ \cos(X; Y_1) &= (\bar{i} \cdot \bar{j}_1) = \cos 90^\circ = 0 \\ \cos(X; Z_1) &= (\bar{i} \cdot \bar{k}_1) = \cos(180^\circ - (90^\circ + \alpha)) = -\sin \alpha \\ \cos(Y; X_1) &= \cos(90^\circ - \alpha) = \sin \alpha \\ \cos(Y; Y_1) &= (\bar{j} \cdot \bar{j}_1) = \cos 90^\circ = 0 \\ \cos(Y; Z_1) &= (\bar{j} \cdot \bar{k}_1) = \cos \alpha \\ \cos(Z; X_1) &= (\bar{k} \cdot \bar{i}_1) = \cos 90^\circ = 0 \\ \cos(Z; Y_1) &= (\bar{k} \cdot \bar{j}_1) = \cos 90^\circ = 0 \\ \cos(Z; Z_1) &= (\bar{k} \cdot \bar{k}_1) = \cos 90^\circ = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (2.271)$$

Подставляя значения косинусов из (2.271) в (2.266), (2.268), (2.270), соответственно получим

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= X \cos \alpha + Y \sin \alpha \\ Y_1 &= -Z \\ Z_1 &= -X \sin \alpha + Y \cos \alpha \end{aligned} \right\}. \quad (2.272)$$

Подставляя значения X_1, Y_1, Z_1 из (2.272) в (2.264), получим

$$\left. \begin{aligned} \frac{(X \cos \alpha + Y \sin \alpha)^2}{a^2} + \frac{(-Z)^2}{b^2} &= 1 \\ -X \sin \alpha + Y \cos \alpha &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (2.273)$$

Уравнение (2.273) - уравнение эллипса в системе координат OXYZ.

Повернем эллипс (2.273) на угол $\varphi = \omega t$ против часовой стрелки.

Произвольная точка M с координатами $X; Y; Z$ до поворота займет положение точки (рис. 2.22) с координатами $X_\varphi; Y_\varphi; Z_\varphi$ соответственно.

Для нахождения координат $X_\varphi; Y_\varphi; Z_\varphi$ поступим следующим образом. Пусть точка M имеет координату X, Y . После поворота она будет иметь координату

$$X_\varphi = X. \quad (2.274)$$

Точка M имеет координату Y , равную (рис. 2.22)

$$Y = X \operatorname{tg} \alpha \quad (2.275)$$

и координату Z , равную

$$Z = r \cos(90^\circ - \beta_x) = r \sin \beta_x, \quad (2.276)$$

где β - угол, определяемый зависимостью $\sin(90^\circ - \beta_x) = Y/r$ или $\cos \beta_x = Y/r$.

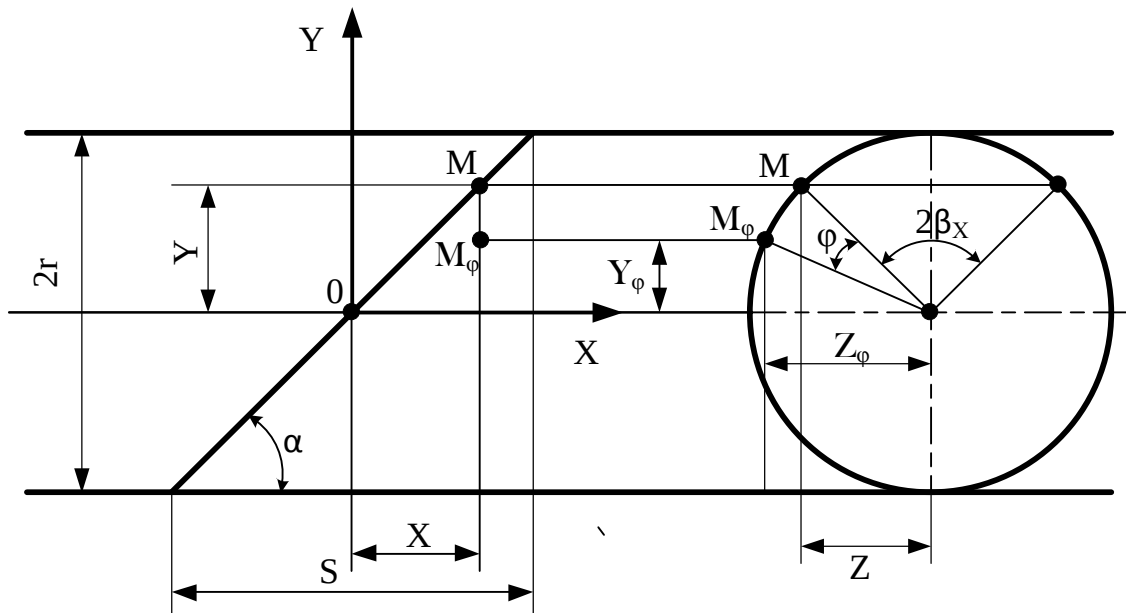


Рис. 2.22. Схема к определению значений координат точки M и ее перемещения при повороте на угол φ

С учетом (2.275)

$$\cos \beta_x = Y/r = X \operatorname{tg} \alpha / r. \quad (2.277)$$

Выражение (2.276) с учетом (2.277) принимает вид

$$Z = r \sin \beta_x = r \sqrt{1 - \cos^2 \beta_x} = \sqrt{r^2 - Y^2}. \quad (2.278)$$

Точка М имеет координату Y_φ (рис. 2.22), равную

$$Y_\varphi = r \cos(90^\circ - (\beta_x + \varphi)) = r \sin(\beta_x + \varphi). \quad (2.279)$$

Точка М имеет координату Z_φ , равную

$$Z_\varphi = r \sin(90^\circ - (\beta_x + \varphi)) = r \cos(\beta_x + \varphi). \quad (2.280)$$

Итак, координаты точки М в системе координат X_φ ; Y_φ ; Z_φ равны

$$X_\varphi = X \quad (2.274)$$

$$Y_\varphi = r \sin(\beta_x + \varphi) \quad (2.279)$$

$$Z_\varphi = r \cos(\beta_x + \varphi). \quad (2.280)$$

Координаты точки M_φ в системе координат OXYZ будут

$$\left. \begin{aligned} X_\varphi &= X \\ Y_\varphi &= r \sin(\beta_x + \varphi) \end{aligned} \right\}. \quad (2.281)$$

Уравнение (2.281) - уравнение эллипса Э в параметрической форме (параметром является угол φ).

Рассмотрим второе уравнение (2.281), то есть

$$Y_\varphi = r \sin(\beta_x + \varphi) \quad (2.282)$$

С учетом (2.277) и первого уравнения (2.281), выражение (2.282) запишется в виде

$$Y_\varphi = r \sin \left(\arccos \frac{X_\varphi \operatorname{tg} \alpha}{r} + \varphi \right) \quad (2.283)$$

Пользуясь зависимостью вида

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \sin \beta \cos \alpha$$

выражение (2.283) приведем к виду

$$\begin{aligned} Y_\varphi &= r \left(\sin \left(\arccos \frac{X_\varphi \operatorname{tg} \alpha}{r} \right) \cos \varphi + \cos \left(\arccos \frac{X_\varphi \operatorname{tg} \alpha}{r} \right) \sin \varphi \right) = \\ &= r \left(\sqrt{1 - \frac{(X_\varphi \operatorname{tg} \alpha)^2}{r^2}} \cos \varphi + \frac{X_\varphi \operatorname{tg} \alpha}{r} \sin \varphi \right). \end{aligned} \quad (2.284)$$

Угловой коэффициент касательной эллипса Э в точке М в соответствии с (2.284) равен

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi = \frac{dY_{\varphi}}{dX_{\varphi}} &= r \left[\frac{1}{2\sqrt{1-\left(\frac{X_{\varphi} \operatorname{tg} \alpha}{r}\right)^2}} \left(-2 \frac{X_{\varphi} \operatorname{tg} \alpha}{r} \right) \left(-\frac{\operatorname{tg} \alpha}{r} \right) \cos \varphi + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{r} \sin \varphi \right] = \\ &= \left(\frac{X_{\varphi} \operatorname{tg} \alpha \cos \varphi}{2\sqrt{1-\left(\frac{X_{\varphi} \operatorname{tg} \alpha}{r}\right)^2}} + \sin \varphi \right) \operatorname{tg} \alpha . \end{aligned} \quad (2.285)$$

Находим точку M_0 эллипса, в которой касательная наклонена под углом α к оси X . Поэтому, подставляя в левую часть (2.285) $\operatorname{tg} \alpha_{\varphi} = \operatorname{tg} \alpha$, получим

$$\operatorname{tg} \alpha = \left(\frac{X_{\varphi} \operatorname{tg} \alpha \cos \varphi}{2\sqrt{1-\left(\frac{X_{\varphi} \operatorname{tg} \alpha}{r}\right)^2}} - \sin \varphi \right) \operatorname{tg} \alpha . \quad (2.286)$$

Отсюда имеем

$$\frac{X_{\varphi} \operatorname{tg} \alpha \cos \varphi}{2\sqrt{1-\left(\frac{X_{\varphi} \operatorname{tg} \alpha}{r}\right)^2}} - \sin \varphi = 1$$

или

$$\frac{X_{\varphi} \operatorname{tg} \alpha \cos \varphi}{2\sqrt{1-\left(\frac{X_{\varphi} \operatorname{tg} \alpha}{r}\right)^2}} - \sin \varphi = 1 + \sin \varphi . \quad (2.287)$$

Возводя (2.287) в квадрат, получим

$$\frac{X_{\varphi}^2 \operatorname{tg}^2 \alpha \cos^2 \varphi}{4 \left(1 - \left(\frac{X_{\varphi} \operatorname{tg} \alpha}{r} \right)^2 \right)} = (1 + \sin \varphi)^2 . \quad (2.288)$$

Решив (2.288) относительно X_{φ} , получим

$$X_{\varphi} = \frac{2\sqrt{1+\sin \varphi}}{\operatorname{tg} \alpha} . \quad (2.289)$$

Подставляя в (2.284) $X_0 = X_{\varphi}$ из (2.289), получим выражение для второй координаты $Y_0 = Y_{\varphi}$

$$Y_0 = \frac{2}{\operatorname{tg} \alpha} \left(\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha (1 + \sin \varphi)} + \operatorname{tg} \alpha \sqrt{1 + \sin \varphi} \right) . \quad (2.290)$$

Ось X в системе координат OXY описывается уравнением

$$Y = X \operatorname{tg} \alpha$$

или

$$Y - X \operatorname{tg} \alpha = 0. \quad (2.291)$$

Определим расстояние d от точки $M(X_0; Y_0)$ до линии (2.291). Из аналитической геометрии известно, что точка $M(X_0; Y_0)$ находится на прямой вида

$$A_x + B_x + C = 0 \quad (2.292)$$

на расстоянии, определяемом выражением

$$\delta = \frac{AX_0 + BY_0 + C}{\sqrt{A^2 + B^2}}. \quad (2.293)$$

В нашем случае $B=1$; $A=-\operatorname{tg} \alpha$; $C=0$

Тогда

$$\delta = (Y_0 - X_0 \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha. \quad (2.294)$$

Расстояние $u = MM'_0$ (рис. 2.20), на которое нужно переместить касательную, проходящую через точку $M(X_0; Y_0)$ параллельную оси X_1 при совмещении с осью X_1 , как это следует из рисунка 2.20, равно

$$u = \delta / \sin \alpha \quad (2.295)$$

Выражение (2.295) с учетом (2.293) запишется в виде

$$u = Y_0 \operatorname{ctg} \alpha - X_0, \quad (2.296)$$

где X_0 - определяется по зависимости (2.289); Y_0 - по зависимости (2.290).

Движение любой точки N , принадлежащей рабочему органу, определяется следующим образом (рис. 2.23).

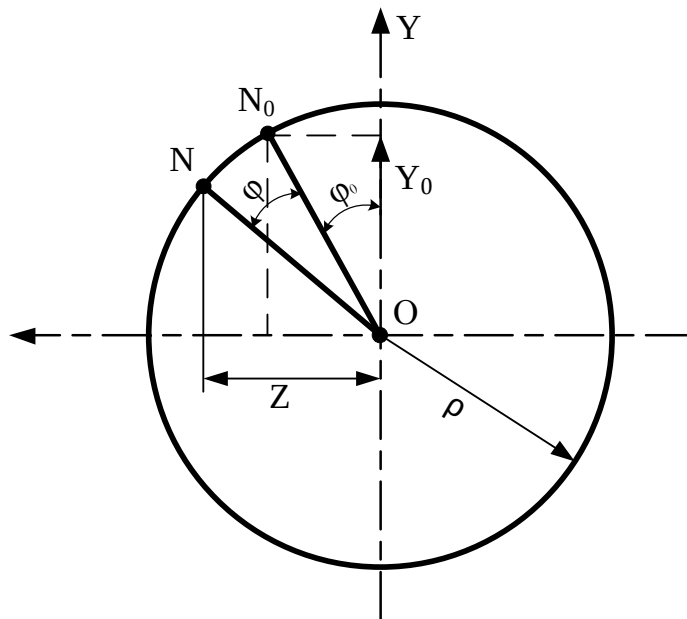


Рис. 2.23. Схема к определению перемещения битера в поперечной плоскости (вращательное движение)

Пусть при $t=0$ точка N_0 находится под углом φ_0 к вертикальной оси и находится на расстоянии ρ от оси вала, то есть координаты точки N_0 в поперечном сечении

$$\left. \begin{aligned} Z &= \rho \sin \varphi_0 \\ Y_0 &= \rho \cos \varphi_0 \end{aligned} \right\}. \quad (2.297)$$

При этом координата точки N_0 вдоль оси вала также считается известной (заданной) и равной $X_0^{(1)}$ (ось направлена в сторону, противоположную оси ОХ).

Пусть вал повернулся на угол φ . Тогда координаты точки N будут (рис. 2.23)

$$Z = \rho \sin(\varphi_0 + \omega t) \quad (2.298)$$

$$Y = \rho \cos(\varphi_0 + \omega t) \quad (2.299)$$

$$X^{(1)} = X_0^{(1)} + u. \quad (2.300)$$

Таким образом, перемещение точки N равно

$$d = \sqrt{u^2 + 2\rho^2(1 - \cos \omega t)} = \sqrt{(X^{(1)} - X_0^{(1)})^2 + (Y - Y_0)^2 + (Z - Z_0)^2}, \quad (2.301)$$

где u определяется формулой (2.296).

Направляющими косинусами перемещения u являются

$$\cos \alpha_X^{(1)} = \frac{X_0^{(1)} + u}{\sqrt{u^2 + 2\rho^2(1 - \cos \omega t)}}; \quad (2.302)$$

$$\cos \alpha_Y = \frac{\rho \cos(\varphi_0 + \omega t)}{\sqrt{u^2 + 2\rho^2(1 - \cos \omega t)}}; \quad (2.303)$$

$$\cos \alpha_Z = \frac{\rho \sin(\varphi_0 + \omega t)}{\sqrt{u^2 + 2\rho^2(1 - \cos \omega t)}}. \quad (2.304)$$

Проекциями скорости точки N на оси $X^{(1)}$; Y; Z являются

$$v_{X^{(1)}} = \frac{du}{dt}; \quad (2.305)$$

$$v_Y = -\omega \rho \sin(\varphi_0 + \omega t); \quad (2.306)$$

$$v_Z = \omega \rho \cos(\varphi_0 + \omega t). \quad (2.307)$$

Скорость точки N равна

$$v = \sqrt{(du/dt)^2 + \omega^2 \rho^2}. \quad (2.308)$$

Направляющие косинусы скорости v определяются

$$\cos \alpha_{X_1} = \frac{du/dt}{\sqrt{(du/dt)^2 + \omega^2 \rho^2}}; \quad (2.309)$$

$$\cos \alpha_y = \frac{-\omega \rho \sin(\varphi_0 + \omega t)}{\sqrt{\left(\frac{du}{dt}\right)^2 + \omega^2 \rho^2}}; \quad (2.310)$$

$$\cos \alpha_z = \frac{-\omega \rho \cos(\varphi_0 + \omega t)}{\sqrt{\left(\frac{du}{dt}\right)^2 + \omega^2 \rho^2}}. \quad (2.311)$$

Аналогично можно найти и ускорение.

Полный ход битера S (рис. 2.22) определится

$$S = 2r/\operatorname{tg} \alpha. \quad (2.312)$$

Преобразуя (2.308) с учетом, что $\rho=r$, получим выражение для определения перемещения битера в продольной плоскости при повороте вала на угол φ

$$S = \frac{\left(2 \operatorname{tg} \alpha \sqrt{v^2 - \left(\frac{du}{dt}\right)^2}\right)}{\omega}. \quad (2.313)$$

Подача Q раздатчика-смесителя выражается формулой

$$Q = H_0 B v_{mp} \rho k_o. \quad (2.314)$$

где H_0 - высота кормовой массы в бункере, м; B - ширина бункера, м; v_{mp} - скорость подающего транспортера, м/с; ρ - плотность кормового материала, кг/м³; k_o - коэффициент отставания корма в бункере от подающего транспортера ($k_o = 0,94 \dots 0,96$).

Битер один оборот сделает за время T , называемое периодом вращения. Он определяется по формуле

$$T = 2\pi/\omega \quad (2.315)$$

За это время масса корма в бункере переместится на расстояние L

$$L = v_{mp} T k_o \quad (2.316)$$

Подставляя из (2.315) время T в (2.316) имеем

$$L = \frac{2\pi R_n k_o}{\lambda_{kp}}, \quad (2.317)$$

где $\lambda_{kp} = v/v_{mp}$ - показатель кинематического режима работы раздатчика смесителя, машина работоспособна при условии $\lambda_{kp} > 1$; R_n - расстояние от оси вала до вершины пальца (рис. 2.24).

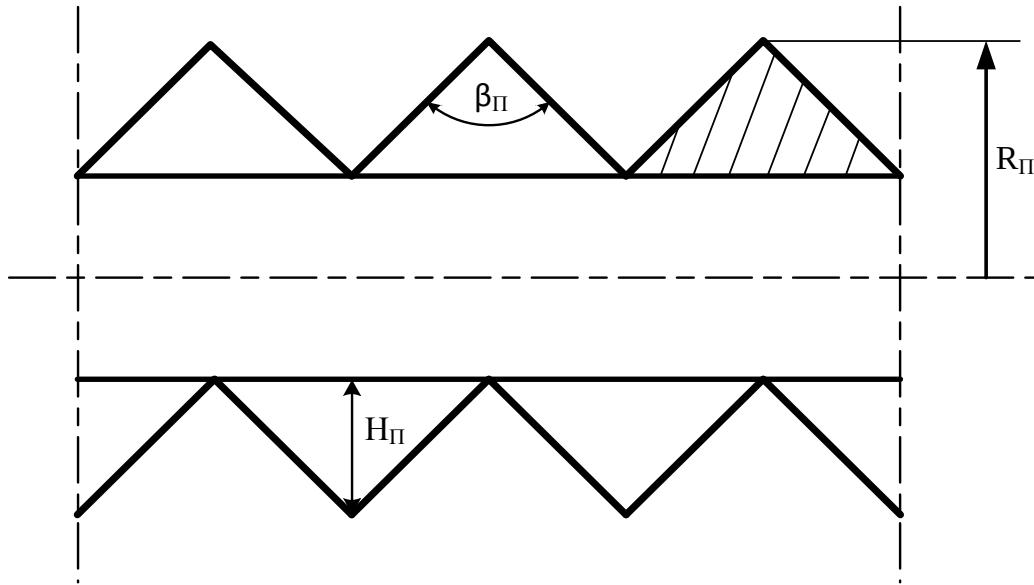


Рис. 2.24. Схема к определению подачи раздатчика-смесителя

Масса корма, поступившая на битеры и перегруженная ими на выгрузной транспортер раздатчика-смесителя за время T , определится

$$Q' = LH_0 B \rho.$$

Или, с учетом (2.317)

$$Q' = \frac{2\pi R_{\Pi} k_o}{\lambda_{KP}} H_0 B \rho. \quad (2.318)$$

С другой стороны, массу выгруженного корма на выгрузной транспортер за один оборот битера Q' можно выразить

$$Q' = S_3 k_3 \pi R n_{\Pi} Z_{p.n.} \rho, \quad (2.319)$$

где S_3 - площадь захвата корма пальцем треугольной формы, м^2 ; k_3 - коэффициент заполнения; n_{Π} - число пальцев в ряду, шт.; $Z_{p.n.}$ - число рядов пальцев на битере, шт.

Из рисунка 2.24 S_3 определится

$$S_3 = H_{\Pi}^2 \operatorname{tg} \frac{\beta_{\Pi}}{2},$$

где H_{Π} - высота пальца, м; β_{Π} - угол пальца треугольной формы. Тогда (2.319) запишется

$$Q' = H_{\Pi}^2 \operatorname{tg} \frac{\beta_{\Pi}}{2} \pi R n_{\Pi} Z_{p.n.} \rho. \quad (2.320)$$

Приравнявая (2.318) и (2.320) после преобразований получаем

$$\lambda_{KP} = \frac{2H_0 B k_o}{H_{\Pi}^2 \operatorname{tg} \frac{\beta_{\Pi}}{2} n_{\Pi} Z_{p.n.} k_3}. \quad (2.321)$$

Из формулы (2.321) можно определить ряд параметров битера: высоту его пальца H_n , количество пальцев в ряду n_n и число рядов пальцев на битере $Z_{p.n.}$, угол пальца треугольной формы β_n .

2.5.1 Обоснование затрат мощности на осуществление процессов отделения и смешивания кормов битером

Для обоснования данного процесса с позиций затрат мощности, затрачиваемой на технологический процесс работы битера, используем следующий подход.

Будем считать, что сила сопротивления отделения части материала рабочим органом F_c от остальной массы определяется выражением

$$F_c = A \cdot K_c, \quad (2.322)$$

где A - площадь поверхности отделяемой части материала; K_c - коэффициент сопротивления отделению материала.

Эту площадь можно определить как часть цилиндрической поверхности, на которой происходит отделение, из выражения

$$A = \left(\frac{\alpha}{2\pi} \right) \pi R_l^2, \quad (2.323)$$

где α - угол отделения массы.

Угол α определяется опытным путем (можно принять в первом приближении равным 2π и тогда $A = \pi R_l^2$).

Тогда мощность, затрачиваемая на отделение материала

$$N_c = F_c v = K_c \pi R_l^3 \omega. \quad (2.324)$$

Кроме силы F_c следует отметить силу F_{II} сопротивления материала продольному перемещению рабочего органа вдоль оси вала. Эту силу можно установить опытным путем, полагая, что

$$F_{II} = K_{II} L (R_{II} - r), \quad (2.325)$$

где L - длина рабочего органа (активной части битера); K_{II} - коэффициент пропорциональности.

Мощность, затрачиваемая на перемещение рабочего органа вдоль оси вала, определяется из выражения

$$N_{II} = K_{II} L H_{II} v_{II}, \quad (2.326)$$

где v_{II} - средняя скорость перемещения битера вдоль оси вала; H_{II} - высота пальца.

Средняя скорость перемещения v_{II} определяется из выражения

$$v_i = \frac{2r/\operatorname{tg} \alpha}{T} = \frac{2r}{\operatorname{tg} \alpha T}, \quad (2.327)$$

где $2r$ - диаметр внешнего вала бitera.

Тогда

$$N_{\Pi} = (K_{\Pi} r L H_{\Pi} \omega) / \pi. \quad (2.328)$$

Общая мощность, затрачиваемая на технологический процесс

$$N = (K_c \pi^2 R_{\Pi}^3 \omega + K_{\Pi} r L H_{\Pi} \omega) / \pi. \quad (2.329)$$

Анализ данной зависимости показывает, что на мощность процесса отделения и смешивания кормов оказывают влияние длина рабочего органа L , радиус внешнего вала r , высота пальцев H_{Π} , средняя скорость перемещения рабочего органа вдоль оси вала v_n , и его угловая скорость ω , а также угол «среза» (угол установки копира).

Таким образом, на основании анализа традиционных схем процесса механизированного кормления жвачных животных полнорационными кормовыми смесями определены технологические подходы к обоснованию и оценке эффективности работы ПТЛ приготовления таких смесей. Проведено обоснование и разработана экономико-математическая модель оценки эффективности функционирования ПТЛ приготовления и выдачи ПРКС с использованием в их составе измельченных плодов тыквы.

На основании полученной модели обоснованы перспективные направления по совершенствованию ПТЛ приготовления и раздачи полнорационных кормовых смесей крупному рогатому скоту;

Обоснованы технологические и технические подходы к разработке рациональных схем питателей плодов тыквы с дискретным характером подачи плодов на приемный транспортер.

Путем разработки циклограммы работы для данного типа питателей обоснованы условия согласованной работы питателя с измельчителем плодов тыквы с учетом вероятностных характеристик процесса подачи, обусловленных физической формой плодов и разбросам их по размерам.

Обоснованы параметры питателя предложенного типа с целью их расчета и выбора в составе ПТЛ приготовления и раздачи ПРКС при проектировании таких линий;

Обоснованы технологический и технический подходы к разработке рациональных схем измельчителей плодов тыквы, а также их конструктивно-режимных параметров. Получены аналитические выражения для расчета производительности и мощности измельчителя плодов тыквы, рабочий процесс в котором осуществляется пу-

тем снятия стружки с вращающегося вокруг своей оси шарообразного плода тыквы.

Рассмотрены условия сглаживания неравномерности потока измельченных частиц плодов тыквы при взаимоувязанной по параметрам работе измельчителя и сборного транспортера линии приготовления и раздачи полнорационных кормовых смесей крупному рогатому скоту;

Разработан способ заполнения бункера мобильного раздатчика кормов путем формирования монолита в бункере наклонными слоями, за счет сил принудительного и гравитационного действия по принципу «сжатия» потока подачи.

Получено аналитическое выражение для определения неравномерности заполнения бункера с учетом неравномерности высоты сформированной поверхности кормового монолита, характеризующей качество процесса заполнения и точность дозирования корма раздатчиком;

Обоснованы технологические подходы к оценке влияния способа и параметров послойного формирования кормового монолита в бункере раздатчика на его смешивающую способность.

Получена аналитическая модель оценки дисперсии колебаний в выходном потоке корма в зависимости от характеристик «сжатого на входе в структурный элемент системы» потока.

Обоснованы условия и конструктивно-режимные параметры работы отделяющих органов раздатчика, позволяющих при выгрузке кормовой массы из бункера повысить качество смеси за счет более интенсивного перераспределения отделяемых частиц корма.

Глава 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

3.1 Определение физико-механических свойств кормовых компонентов

Для определения физико-механических свойств стебельных кормов и плодов тыквы проведены исследования по замерам соответствующих показателей, в результате которых установлены их характеристики. Известно, что качество смеси во многом зависит от начальных физико-механических свойств исходных материалов. В таблице 3.1 приведены некоторые физико-механические свойства стебельных кормов, использованных при исследованиях.

Таблица 3.1

Физико-механические свойства стебельных кормов

Вид корма	Плотность ρ , кг/м ³	Влажность W, %	Средняя дли- на частиц l_{cp} , мм	Угол естественного откоса корма ϵ , град.
Солома	45 - 49	15	20 - 100	63
Силос	210 - 250	75	40 - 80	60

Объектом исследования являлся местный, широко распространенный в Амурской области сорт тыквы «Стофунтовая». Это крупноплодная кормовая тыква, имеющая шаровидные и коротко-овальные плоды, среди которых встречаются неправильно-шаровидные и сплюснутые. Поверхность плода гладкая или слабо-бугристая. 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 [91].

Обработка результатов измерений производилась методами математической статистики [176, 192, 230]. 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 4.2-4.4.

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, $\bar{h}=272,75$ мм, $S=56,81$, $S_k=0,14$, $E_k=-0,092$ и $v=20,7\%$.

Эмпирическое распределение диаметра, высоты, коэффициента формы плодов тыквы представлены в виде гистограмм (рис. 3.1-3.3).

Таблица 3.2

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	2	3	4	5	6	7	8
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 3.3

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	2	3	4	5	6	7	8
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 3.4

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	2	3	4	5	6	7	8
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: $\bar{\sigma}=1,283$ мм, $S=0,153$, $S_k=0,14$, $E_k=-0,341$ и $\nu=18,7\%$.

Полученные значения характеристик асимметрий и эксцессов указывает на несущественное отличие распределений, приведенных в таблицах 4.2-4.4, 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 4.2-4.4, а на рисунках 4.1-4.3 построены графики нормальных плотностей вероятностей диаметра, высоты и коэффициента формы плодов тыквы.

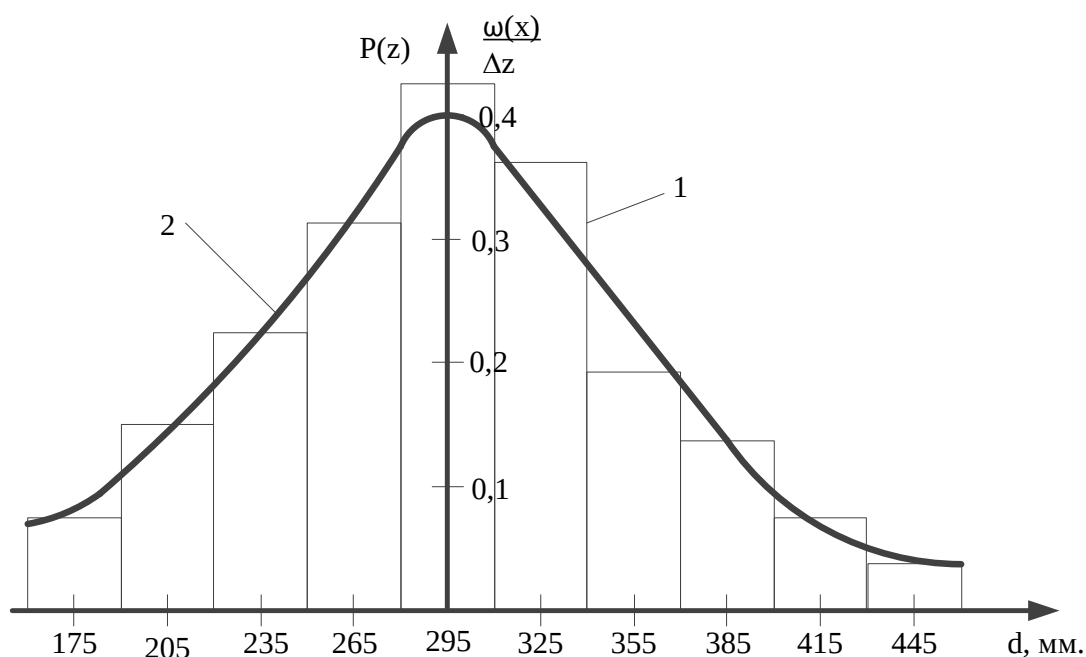


Рис. 3.1. Гистограмма 1 распределения диаметров плодов тыквы, совмещенная с графиком 2 нормальной плотности вероятности $n(z; 0; 1)$ при $a \approx \bar{\sigma} = 294,4$ мм. и $\sigma \approx S = 55,15$ мм.

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 $P(160 < d < 400) = 96,5\%$; $P(140 < h < 400) = 97,7\%$; $P(0,91 < k_{cp} < 1,63) = 97,8\%$.

Остальные характеристики плодов тыквы сорта «Стофунтовая» определялись по известным методикам [65, 91, 176] и приведены в таблице 3.5.

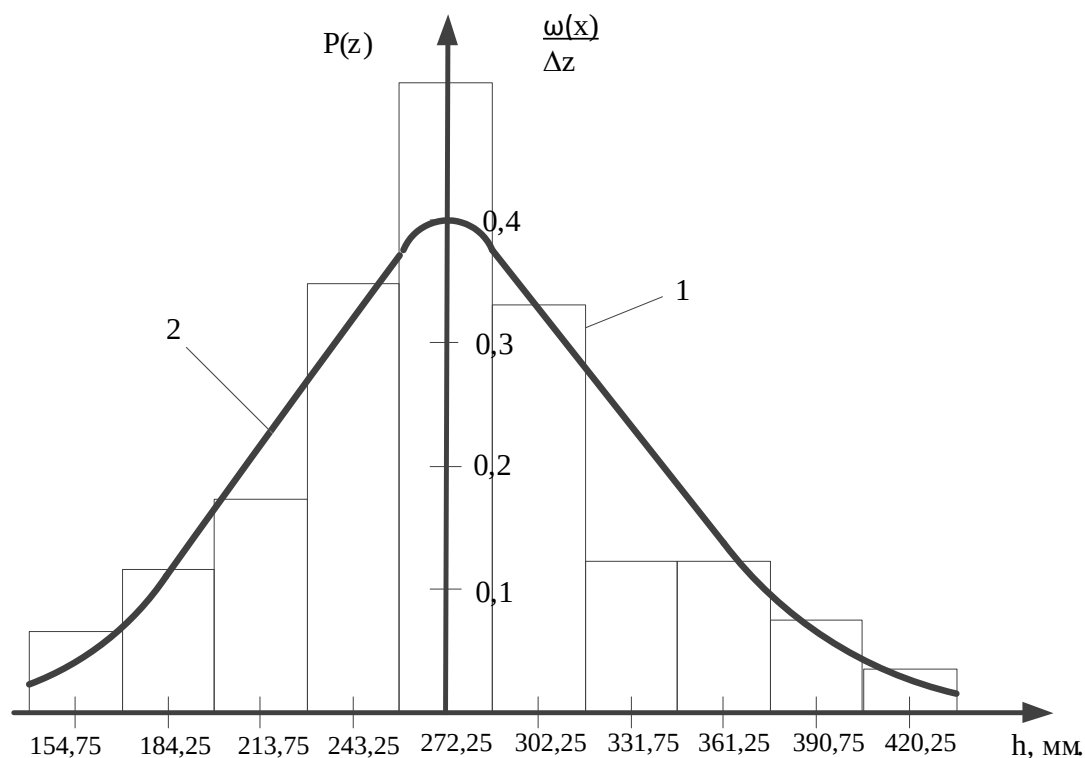


Рис. 3.2. Гистограмма 1 распределения высот плодов тыквы, совмещенная с графиком 2 нормальной плотности вероятности $n(z; 0; 1)$ при $a \approx \bar{d} = 273,6$ мм. и $\sigma \approx S = 56,81$ мм.

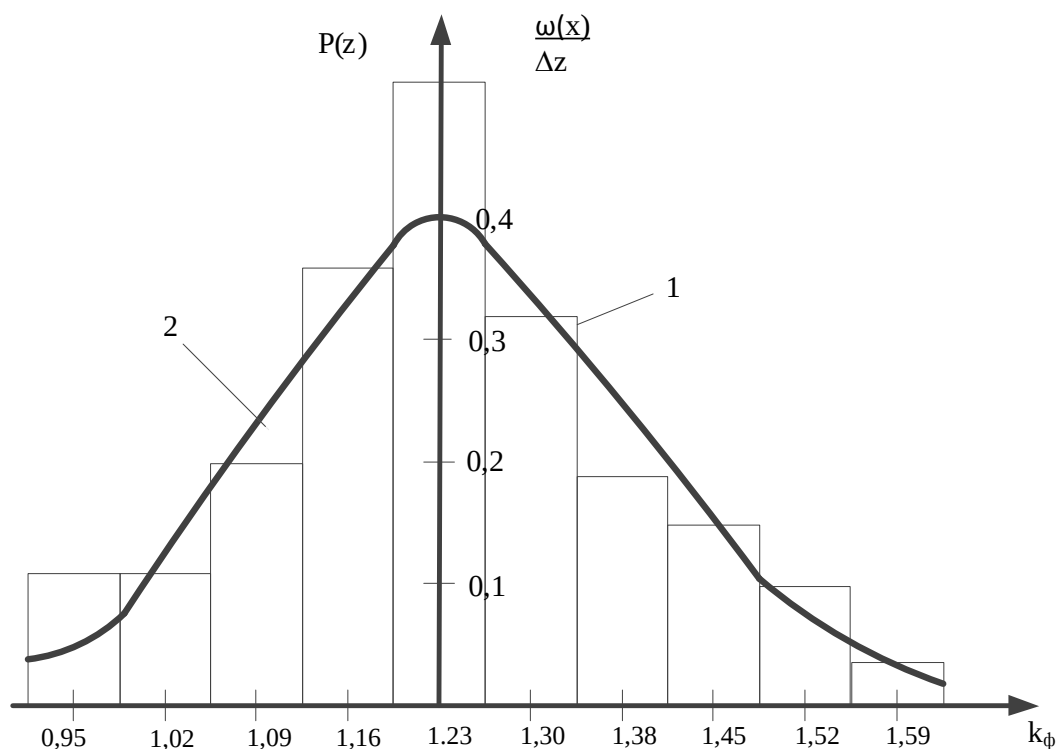


Рис.3.3. Гистограмма 1 распределения коэффициента формы плодов тыквы, совмещенная с графиком 2 нормальной плотности вероятности $n(z; 0; 1)$ при $\bar{x}=1,238$ и $\sigma=S=0,153$

Таблица 3.5

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
Среднее удельное сопротивление резанию, кН/м	2,3 - 35

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 попарно над подающим транспортером питателя, а также установить зависимость скорости

подающего транспортера $v_{\text{трп}}$ питателя от характеристик размеров плодов.

Результаты исследований позволяют заключить, что высота H_1 между полотном подающего транспортера и первым ограничителем (см. рис. 3.4) должна быть не менее 435 мм.

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.

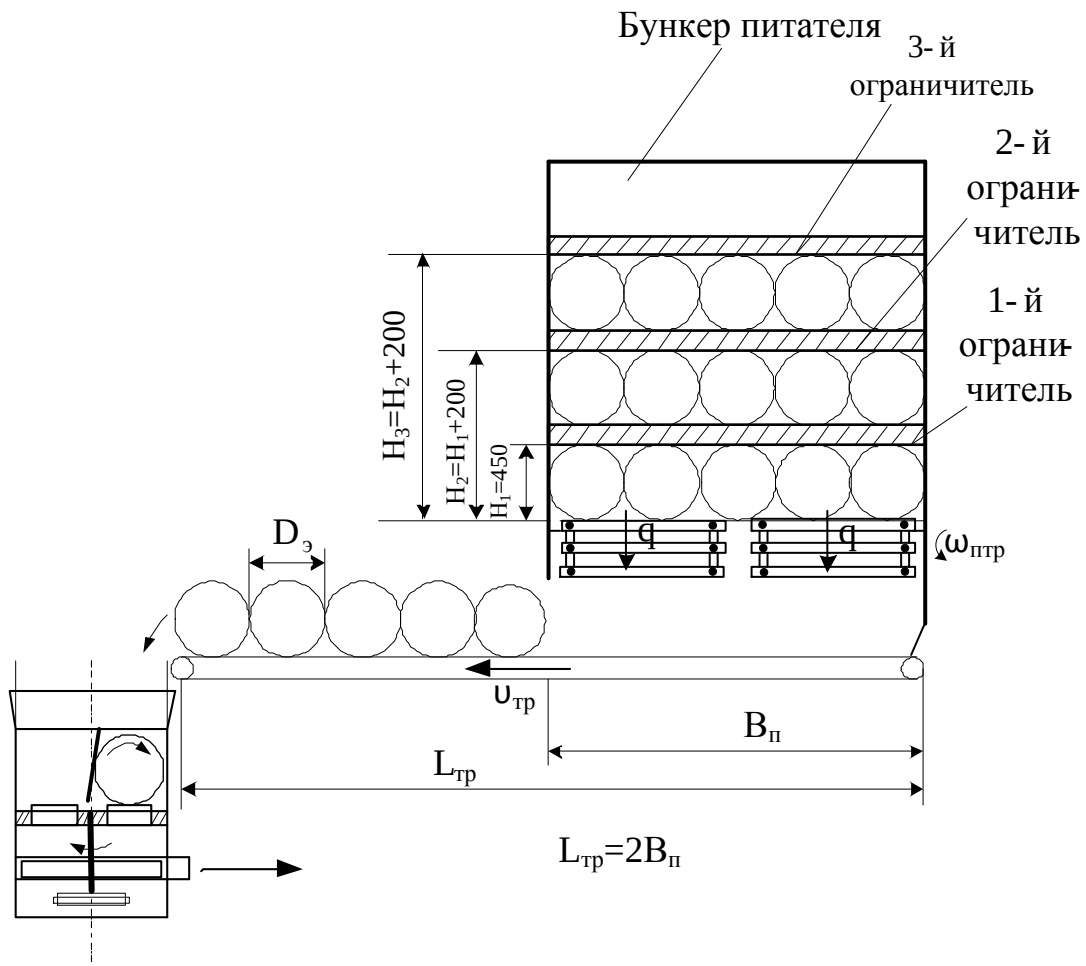


Рис.3.4. Схема к обоснованию конструктивно-режимных параметров питателя и тыквы

3.3 Обоснование параметров процесса измельчения плодов тыквы дисковым измельчителем

Для оценки исследуемого объекта выбрано два критерия оптимизации: в качестве критерия оценки эффективности процессов измельчения и смешивания была принята: Y_1 - однородность получаемой композиции силос + тыква θ_k , % и Y_2 - энергоемкость процесса измельчения плодов тыквы и получения бинарной композиции силос + тыква $N_{y\partial}$, кВт·с/кг [30].

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 смешивания с силосом. Априорным ранжированием выявлено, что на процессы измельчения плодов тыквы и получение бинарной композиции силос + тыква 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. 3.6).

Для описания процесса полиномом выбран ортогональный план полного факторного эксперимента (табл. 3.6).

Таблица 3.6

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 [65, 107, 224, 225]. Расчетные значения коэффициентов регрессии приведены ниже.

Для однородности получаемой композиции силос + тыква:

$$\begin{aligned} b_0 &= 96,16; & b_1 &= 9,95; & b_3 &= -4,82; & b_{23} &= -3,2; \\ b_{34} &= -3,05; & b_{11} &= -5,39; & b_{22} &= -21,18; & b_{33} &= 4,02; \\ b_{44} &= -2,81. \end{aligned}$$

Для энергоемкости процесса измельчения плодов тыквы и получения бинарной композиции силос + тыква:

$$\begin{aligned} b_0 &= 8,87; & b_1 &= 0,698; & b_3 &= 0,221; & b_4 &= 0,321; \\ b_{14} &= -0,164; & b_{11} &= -0,407; & b_{22} &= 0,299; & b_{33} &= 0,173; \\ b_{44} &= -0,433. \end{aligned}$$

Таблица 3.7

План полного факторного эксперимента и результаты опытов по его реализации

№	x_1	x_2	x_3	x_4	$\theta_k, \%$	$N_{y\partial},$ 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 кри-

териями 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:

$$N_{y\partial} = -19288,35 + 22,41n - 16,24s - 81,7h + 1600,5k - 0,27nk - 0,0045n^2 + 0,14s^2 + 1,73h^2 - 108,25k^2 \rightarrow \min; \quad (3.2)$$

Решение компромиссной задачи позволило определить оптимальные значения параметров предложенного измельчителя – смесителя: $x_1 = -0,197$ ($n = 2041 \text{ мин}^{-1}$); $x_2 = 0,065$ ($s = 57,9 \text{ мм}$); $x_3 = -1$ ($h = 20 \text{ мм}$), $x_4 = -1$ ($k = 2$). При данном сочетании факторов, энергоемкость процесса составляет $N_{y\partial} = 7,88 \text{ кВтс/кг}$, а однородность смеси - $\theta_k = 93,1\%$.

Для анализа влияния факторов на процесс смешивания и выгрузки были построены двумерные сечения поверхностей откликов, описываемых уравнениями 4.1 и 4.2 при $n = 2040,9 \text{ об/мин}$. (рис. 3.5); при $s = 57,925 \text{ мм}$ (рис. 3.6); при $h = 20 \text{ мм}$ (рис. 3.7); при $k = 2$ (рис. 3.8).

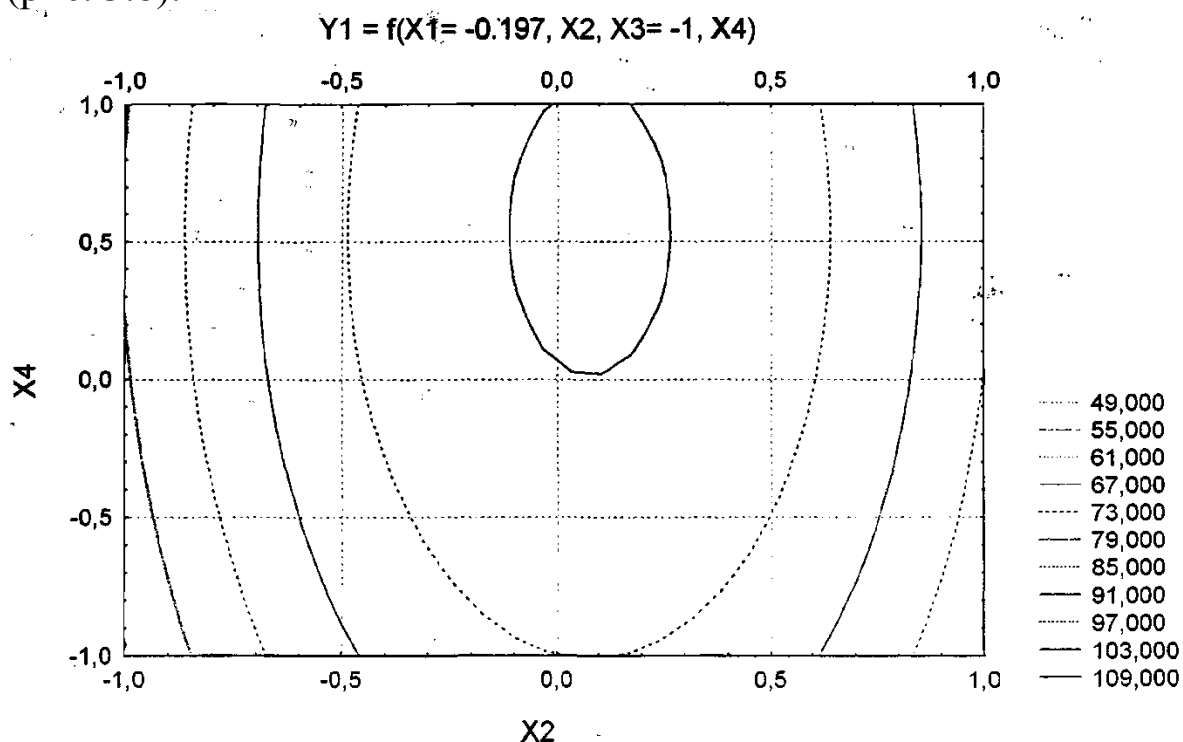


Рис.3.5. Проекция поверхностей однородности смеси θ_k на плоскость sk при $n = \text{const}$ и $h = \text{const}$

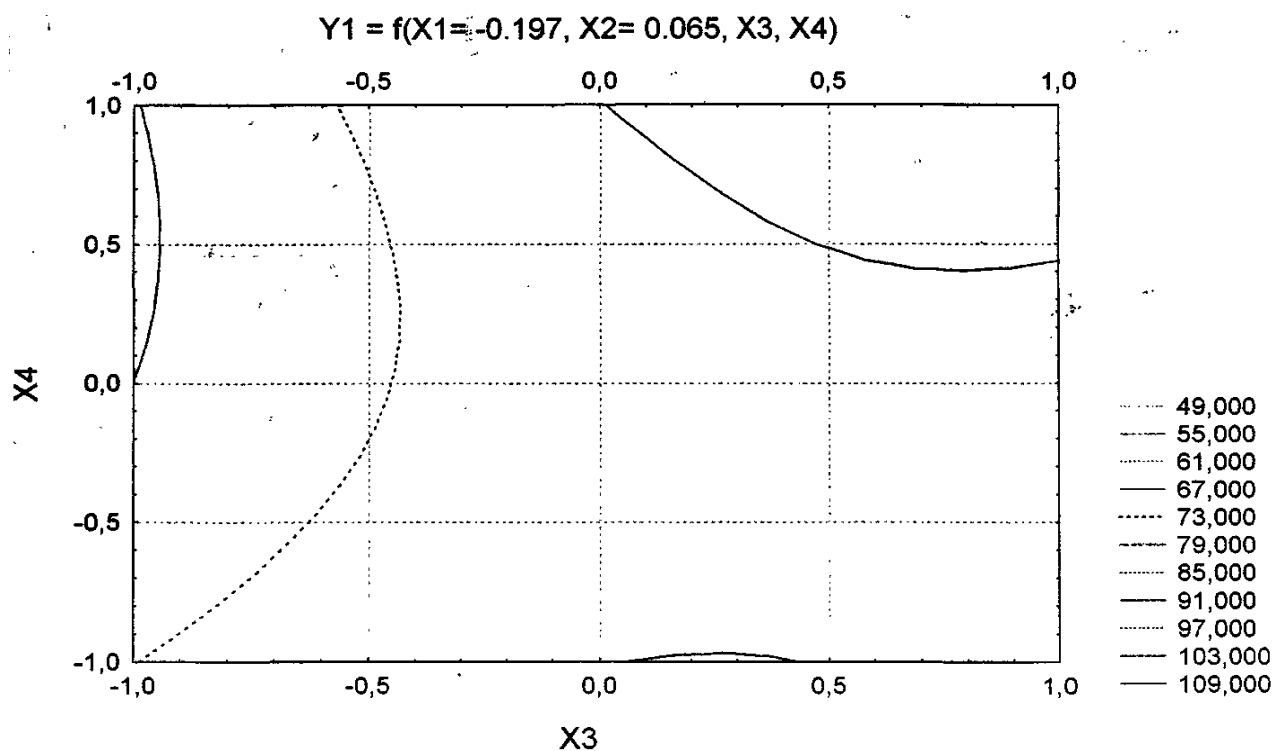


Рис.3.6. Проекция поверхностей однородности смеси θ_k на плоскость hk при $n=\text{const}$ и $s=\text{const}$

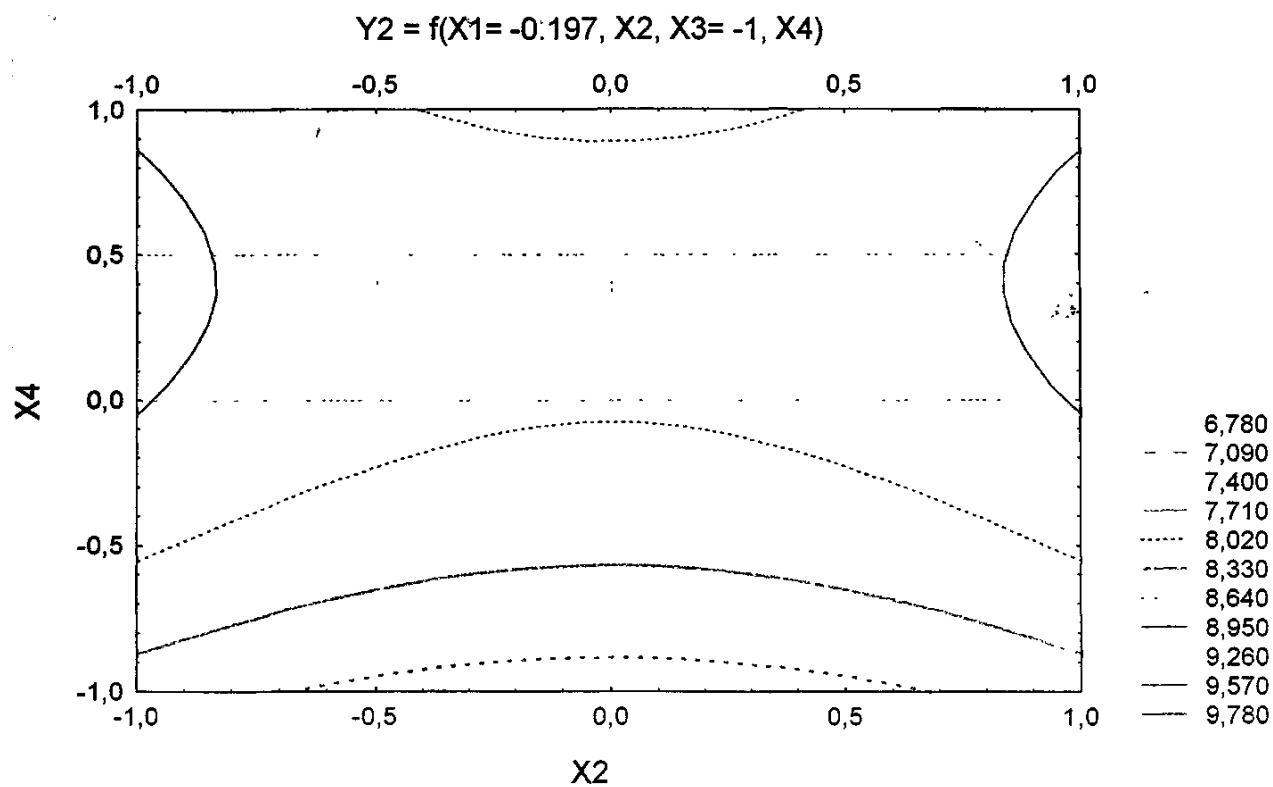


Рис.3.7. Проекция поверхностей энергоемкости $N_{y\partial}$ на плоскость sk при $n=\text{const}$ и $h=\text{const}$

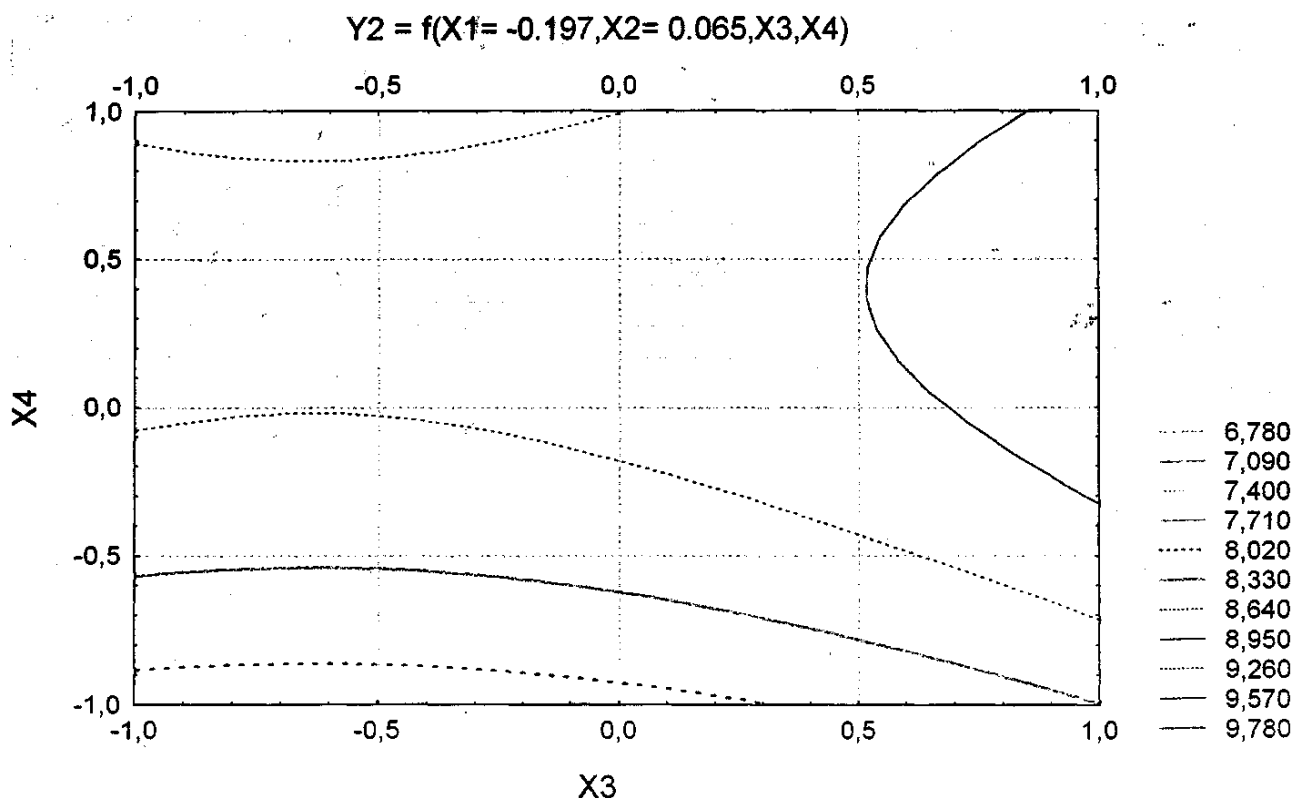


Рис. 3.8. Проекция поверхностей удельной мощности N_{y0} на плоскость hk при $n=\text{const}$ и $s=\text{const}$

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 об/мин удельный расход энергии на смешивание составит 7,88-8,815 кВт с/кг.

Изменение величины зазора между диском и стенкой бункера также оказывает большое влияние на энергоемкость и однородность смеси.

Результаты исследований физико-механических свойств стельных кормов представлены на рисунках 3.9 и 3.10.

Можно заключить, что величина плотности ρ в большей степени зависит от фактора влажности, чем от средней длины частиц l_{cp} .

Угол естественного откоса корма ε зависит от влажности кормов W и средней длины частиц l_{cp} . Чем больше влажность корма, тем меньше подвижность частиц и, следовательно, меньше способность частиц при смешивании (рис. 3.11).

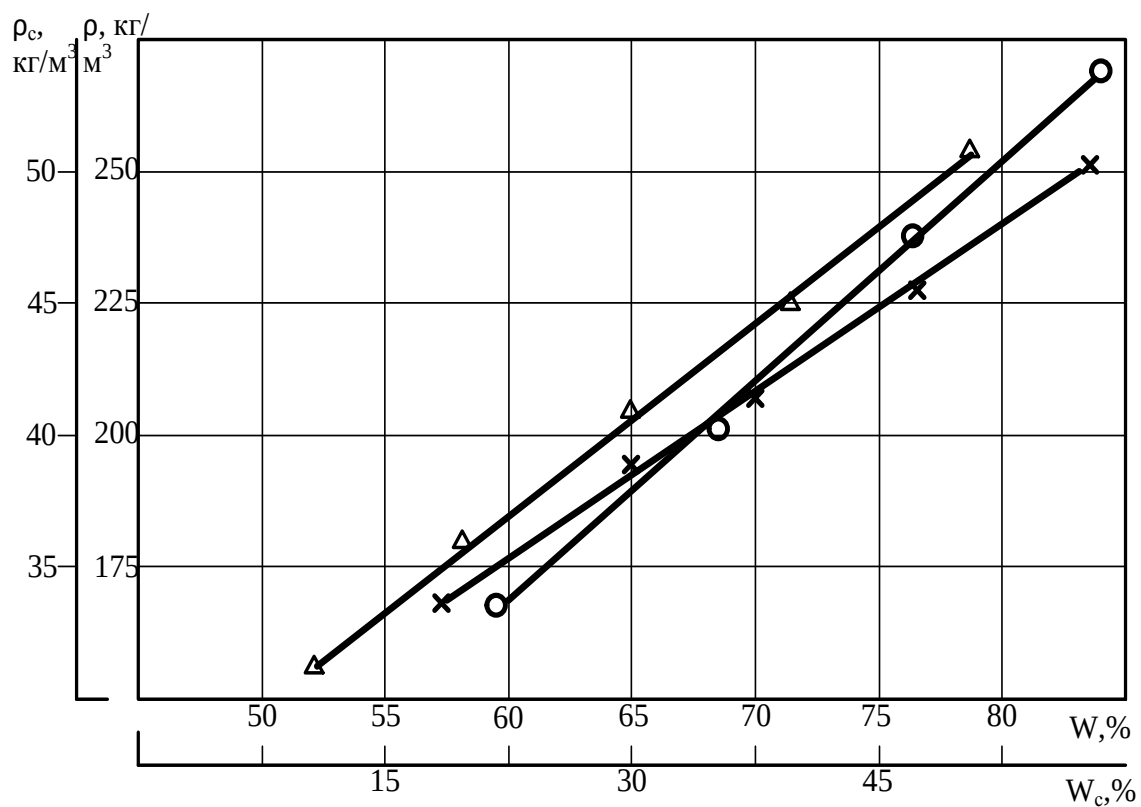


Рис. 3.9. Зависимости плотности кормов от их влажности
 о – о – о – силос; Δ – Δ – Δ – солома; х – х – х – кормосмесь

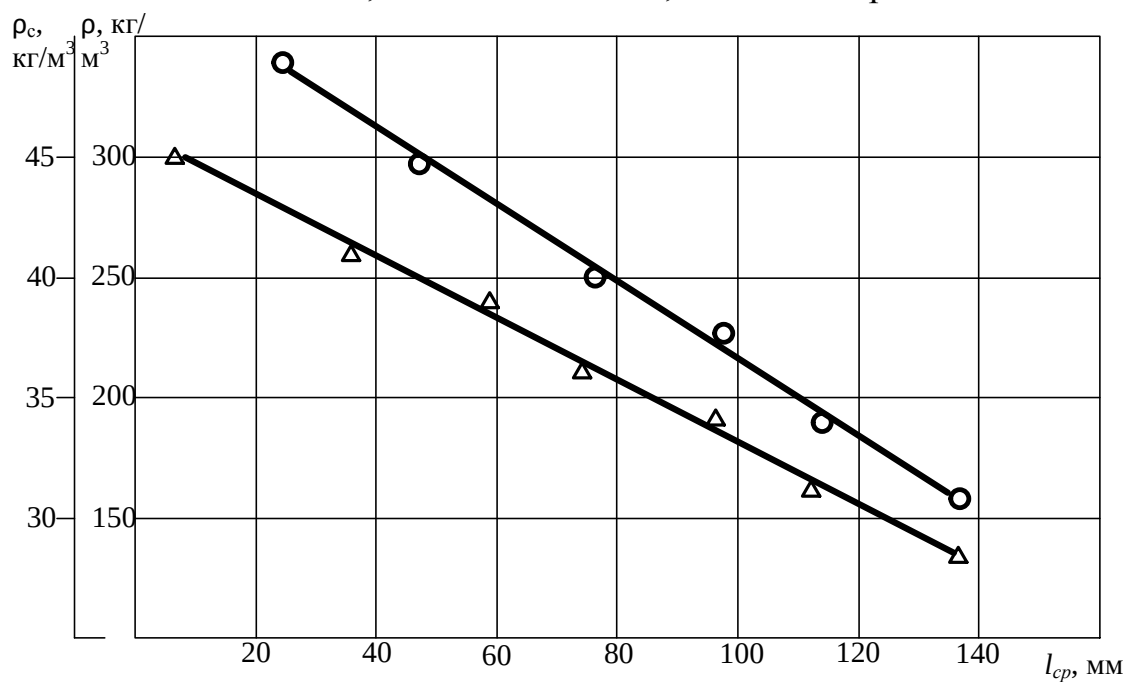


Рис. 3.10. Зависимости плотности кормов от их средней длины частиц
 о – о – о – силос (W=75%); Δ – Δ – Δ – солома (W=16%)

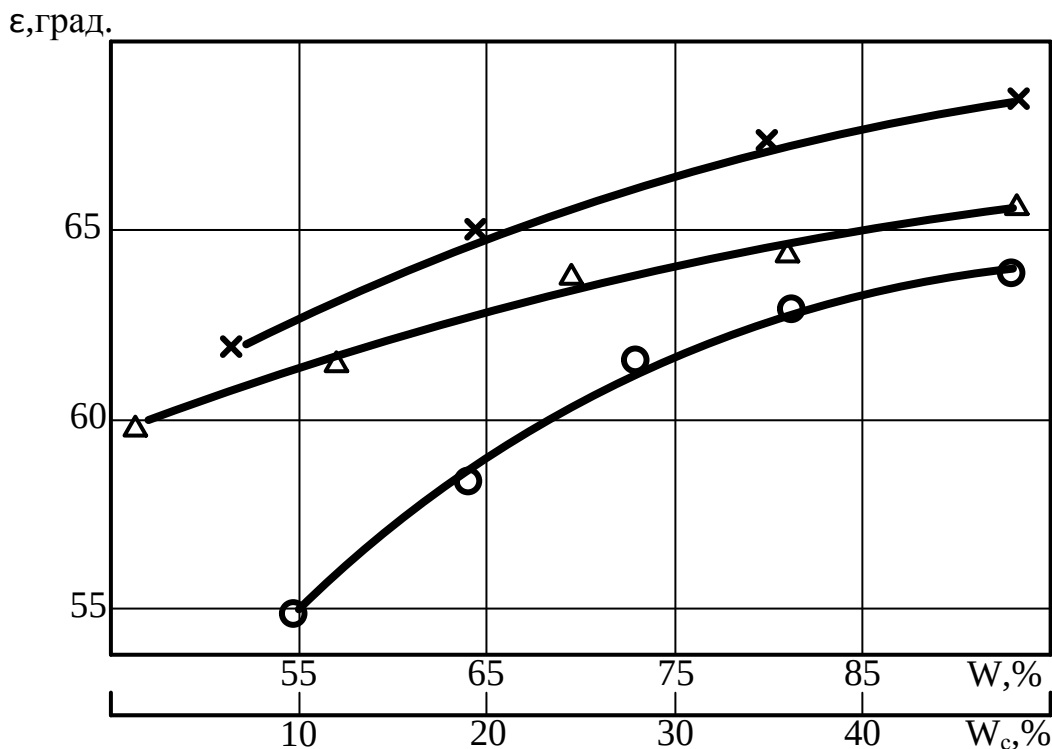


Рис. 3.11. Зависимости угла естественного откоса от влажности кормов
 о – о – о – силос; Δ – Δ – Δ – солома; x – x – x – кормосмесь

3.4 Обоснование параметров процесса заполнения бункера мобильного раздатчика-смесителя

Для установления характеристики поверхности и равномерности распределения корма по объему кормового монолита в бункере был проведен семикратный опыт по заполнению бункера. Ширина бункера размером

1680 мм была разбита на шесть равных частей длиной $1680:6=280$ мм каждая. Длина бункера размером 2900 мм была разбита на десять равных частей длиной $2900:10=290$ мм каждая (рис. 2.17). В точках пересечения семи линий параллельных оси у (одинаково удаленных на расстоянии 280 мм) и десяти параллельных оси х (одинаково удаленных на расстоянии 290 мм) отмечались координаты ху. Причем координата х имела значения

$x_0=0$; $x_1=280$ мм; $x_2=560$ мм; ...; $x_6=1680$ мм.

Координата у имела значения

$y_1=145$; $y_2=435$ мм; $y_3=725$ мм; ...; $y_{10}=2755$ мм.

В вышеуказанных точках пересечения координат х и у производился замер высоты поверхности заполнения бункера кормовой смесью.

Были предложены два вида поверхности:

$$x = \dot{a}_{11}x^2 + \dot{a}_{22}y^2 + \dot{a}_{12}xy + \dot{a}_1x + \dot{a}_0, \quad (3.3)$$

$$z^2 = a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{12}xy + a_1x + a_0. \quad (3.4)$$

Или
$$z = \sqrt{a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{12}xy + a_1x + a_0}$$

Поверхности (3.5) и (3.6) были получены с использованием ПЭВМ, на основании множественной регрессии зависимости с использованием опытных данных. Причем эти зависимости были получены как для каждого опыта в отдельности, так и для совокупности семи опытов (семикратного опыта).

В нашем случае (семикратный опыт)

$$a'_{11} = -0,00001028; \quad a'_{22} = -0,0000630; \quad a'_{12} = -0,000000204; \\ a'_1 = 0,01225; \quad a'_2 = 0,1915; \quad a'_0 = 681,68$$

Для семикратного опыта зависимости примут вид (размеры в мм):

$$z = 0,00001028x^2 - 0,000063y^2 - 0,000000204xy + 0,01225 + 0,1915 + 81,68$$

и

$$z = \sqrt{-0,0143x^2 - 0,953y^2 - 0,0006xy + 17,59x + 294,84y + 46851,625}.$$

Объем кормовой смеси, заложенной между двумя сечениями Y_i и Y_{i+1} и сечениями $x_0=0$ и $x_k=1680$ мм

$$V_{i,i+1} = \int_{y_i}^{y_{i+1}} \int_{x_0=0}^{x_k=1680} z \cdot dx \cdot dy.$$

Значения $V_{i,i+1}$, вычисленные по формуле (2.165) (раздел 2.4.1) с использованием значений величин, приведенных выше, сведены в таблицу 3.8.

Таблица 3.8

Объем кормовой смеси

$y_0=0$ $y_1=290\text{мм}$	$y_1=290\text{мм}$ $y_2=580\text{мм}$	$y_2=580\text{мм}$ $y_3=870\text{мм}$	$y_3=870\text{мм}$ $y_4=1160\text{мм}$	$y_4=1160\text{мм}$ $y_5=1450\text{мм}$	$y_5=1450\text{мм}$ $y_6=1740\text{мм}$	$y_6=1740\text{мм}$ $y_7=2030\text{мм}$	$y_7=2030\text{мм}$ $y_8=2320\text{мм}$	$y_8=2320\text{мм}$ $y_9=2610\text{мм}$ $y_{10}=2900\text{мм}$
$V_{0,1}=V_1$ м^3	$V_{1,2}=V_2$ м^3	$V_{2,3}=V_3$ м^3	$V_{3,4}=V_4$ м^3	$V_{4,5}=V_5$ м^3	$V_{5,6}=V_6$ м^3	$V_{6,7}=V_7$ м^3	$V_{7,8}=V_8$ м^3	$V_{9,10}=V_{10}$ м^3
0,345	0,368	0,387	0,391	0,401	0,402	0,397	0,395	0,356

Среднее арифметическое значение величин $V_{i,i+1}$ ($i=0 - 10$) равно

$$m_v = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 + V_9 + V_{10}}{10} = \\ = \frac{0,345 + 0,368 + 0,387 + 0,391 + 0,401 + 0,401 + 0,397 + 0,395 + 0,392 + 0,356}{10} = 0,382 \text{ м}^3.$$

Среднее квадратическое отклонение величины

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (V_{i,i+1} - m_v)^2}{10-1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(0,345-0,382)^2 + (0,368-0,382)^2 + (0,387-0,382)^2 + (0,391-0,382)^2 + (0,401-0,382)^2 +}{9} + \frac{(0,402-0,382)^2 + (0,397-0,382)^2 + (0,395-0,382)^2 + (0,356-0,382)^2}{9}} = 0,0197 \text{ м}^3.$$

Коэффициент вариации (неравномерность раздачи корма)

$$\delta = \frac{\sigma_v}{m_v} 100\% = \frac{0,0197}{0,382} 100\% = 5,15\%$$

В нашем случае $y_{i+1} - y_i = 290$ мм. и y_i принимает значения 0, 1, 2, 3, ..., 10.

Тогда

$$V_1 = V_{0,1} = f \left(\frac{y_0 + y_1}{2} \right) (y_1 - y_0) = f(145) \cdot 290 \text{ мм}^3$$

$$V_2 = V_{1,2} = f \left(\frac{y_1 + y_2}{2} \right) (y_2 - y_1) = f(435) \cdot 290 \text{ мм}^3$$

$$V_3 = V_{2,3} = f \left(\frac{y_2 + y_3}{2} \right) (y_3 - y_2) = f(605) \cdot 290 \text{ мм}^3$$

и т.д. согласно таблице.

Приведенные нами вычисления объемов сведены в таблицу 3.9.

Таблица 3.9

Значения величин элементарных объемов $V_{i,i+1}$, м^3 , составляющих кормовой монолит

V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}
0,334	0,374	0,386	0,391	0,394	0,400	0,392	0,386	0,370	0,362

Среднее арифметическое значение объемов

$$m_v = \frac{0,334 + 0,374 + 0,386 + 0,391 + 0,394 + 0,400 + 0,392 + 0,386 + 0,370 + 0,362}{10} = 0,379 \text{ м}^3$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (V_i - m_v)^2}{9}} = 0,0188 \text{ м}^3.$$

Коэффициент вариации

$$\delta = \frac{\sigma}{m_v} 100\% = \frac{0,0188}{0,379} 100\% = 4,96\%$$

Таким образом, в результате экспериментального исследования процесса заполнения бункера раздатчика кормом и полученного коэффициента вариации δ (удовлетворяющему условию $\leq 5\%$), обоснован способ послойного заполнения бункера с помощью подающего транспортера раздатчика-смесителя.

Величины коэффициентов a , для каждого из уравнений определенных опытов для уравнений видов (3.3) приведены в табл. 3.10. В этой же таблице приведены и коэффициенты уравнения (3.3) для опыта $n=7$. Там же приведены и множественные коэффициенты корреляции K регрессионной зависимости z по $x_1^2 \cdot y_1^2$; $x \cdot y_1$; $x_1 \cdot y$.

Таблица 3.10

Коэффициенты a уравнения (4.3) для каждого из опытов и совокупности семи опытов

N опыта	a'_{11}	a'_{22}	a'_{12}	a'_1	a'_2	a'_0	K
1	$-1,17 \cdot 10^{-4}$	$9,81 \cdot 10^{-5}$	$1,59 \cdot 10^{-7}$	0,200	0,243	663	0,913
2	$-1,09 \cdot 10^{-4}$	$-6,59 \cdot 10^{-5}$	$6,31 \cdot 10^{-6}$	0,168	0,224	594	0,892
3	$-1,24 \cdot 10^{-4}$	$-5,08 \cdot 10^{-5}$	$-1,39 \cdot 10^{-6}$	0,211	0,117	609	0,956
4	$-1,3 \cdot 10^{-4}$	$-5 \cdot 10^{-5}$	$9,23 \cdot 10^{-7}$	0,215	0,265	620	0,993
5	$-9,1 \cdot 10^{-5}$	$-1,93 \cdot 10^{-5}$	$-7,86 \cdot 10^{-6}$	0,165	0,0369	734	0,779
6	$-1,09 \cdot 10^{-4}$	$-8,21 \cdot 10^{-5}$	$1,29 \cdot 10^{-5}$	0,164	0,236	615	0,892
7	$-1,19 \cdot 10^{-4}$	$-7,36 \cdot 10^{-5}$	$-1,04 \cdot 10^{-5}$	0,200	0,212	650	0,810
1...7	$-1,028 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$-2,04 \cdot 10^{-7}$	0,012	0,191	682	0,414

Величины коэффициентов как для каждого из уравнений отдельных опытов, так и для семикратного опыта для уравнений вида (3.4) приведены в таблице 3.11. Там же приведены и множественные коэффициенты корреляции K регрессионной зависимости z^2 по x^2 ; y^2 ; $x y_1$; $x_1 y$.

Таблица 3.11

Коэффициенты a для уравнения (3.4) для каждого из опытов и совокупности семи опытов

N опыта	a'_{11}	a'_{22}	a'_{12}	a'_1	a'_2	a'_0	K
1	-0,190	-0,152	-,000451	324,0	377,0	430000	0,893
2	-0,175	-0,100	0,00880	272,0	341,0	327000	0,878
3	-0,167	-0,691	0,00169	285,0	160,0	369000	0,950
4	-0,234	-0,0740	0,000869	389,0	427,0	345000	0,994
5	-0,143	-0,0288	-0,00119	259,0	53,8	539000	0,775
6	-0,174	-0,124	0,0179	265,0	358,0	359000	0,884
7	-0,197	-0,117	-0,0152	354,0	336,0	401000	0,798
1...7	-0,0143	0,0953	-0,0006	17,6	295,0	462000	0,384

Из таблиц 3.10 и 3.11 следует, что поверхность кормового монолита в бункере точнее описывается уравнениями вида (3.4), чем уравнениями вида (3.3). Это вытекает из того, что множественные коэффициенты корреляции в первом случае больше, чем во втором.

Из таблиц 3.10 и 3.11 следует также, что множественные коэффициенты корреляции K для уравнений (3.3) и (3.4) полученные для каждого опыта в отдельности больше, чем множественный коэффициент корреляции полученный для совокупности семи вместе взятых опытов. Это вполне объясняется тем, что объединение семи опытов в один совокупный опыт влечет за собой большой разброс исходных данных и коэффициент детерминации понижается.

Исследуем вопрос о том, в какой степени влияет каждое из слагаемых правых частей формул (3.3) и (3.4) на величину левой части этих формул.

Формулы (3.3) и (3.4) получены методом пошаговой множественной регрессии. В соответствии с этим методом шаг за шагом устанавливается сначала наиболее значимый член правой части, затем устанавливается второй по значимости член и так далее, то есть происходит ранжирование значимости членов правой части. В соответствии с вычислениями на ЭВМ с использованием программы пошаговой множественной корреляционной регрессионной зависимости установлено, что для зависимости (3.3) на величину z в семикратном опыте в первую очередь влияет член, содержащий величину u .

Далее по степени влияния следует величина u^2 . Затем величины x^2 ; x ; xu .

Следует отметить, что пошаговая корреляция устанавливает ранжирование переменных x^2 ; u^2 ; xu ; x ; u по сумме квадратов, влияющих на величину зависимой переменной.

Ранжирование влияния переменных x^2 ; u^2 ; xu ; x ; u можно произвести еще и по степени влияния абсолютных величин слагаемых правой части (3.3) на величину зависимой переменной z следующим образом.

При подстановке в (3.3) вместо z ; x^2 ; u^2 ; xu ; x ; u их средних арифметических значений равенство правой и левых частей сохраняется. В результате подставки в (3.3) средних арифметических переменные получим регрессионное равенство

$$\begin{aligned}
z \\
786 = & -0,0000103 \cdot 727000 - 0,000063 \cdot 2790000 - 0,000000204 \cdot 122000 + \\
& + 0,01225 \cdot 834 + 0,1915 \cdot 1415 + 628 = -0,749 - 176 - 0,245 + 10,2 + 278 + 682. \quad (3.5) \\
& \quad \quad \quad (3) \quad (2) \quad \quad \quad (4) \quad (1)
\end{aligned}$$

Не считая пересечения равного 682, самое большое по абсолютной величине слагаемое в вышеприведенном равенстве является слагаемое равное +278, полученное от влияния переменной y . Вторым по абсолютной величине является слагаемое, равное -176, полученное от влияния переменной y^2 . Третьим по абсолютной величине является слагаемое, равное +10,2, полученное от влияния переменной x . Четвертым по абсолютной величине является слагаемое, равное -7,49, полученное от влияния переменной x^2 . И, наконец, пятым по абсолютной величине является слагаемое, равное -0,245, полученное от влияния переменной xy .

Полученные слагаемые -7,49; -176; -0,245; +10,2; +278 назовем долями влияния переменных x^2 ; y^2 ; xy ; x ; y собственно на среднюю величину высоты z . В нашем случае наибольшая доля влияния на величину z имеет место от переменной y . Далее в порядке уменьшения следуют доли переменных y^2 ; x ; x^2 ; xy .

Следует обратить внимание на тот факт, что ранжирование переменных по степени влияния переменных x^2 ; y^2 ; xy ; x ; y определяемое по шаговой регрессии как правило совпадает с ранжированием переменных по степени влияния их долей. Исключением являются переменные x и x^2 . По шаговой регрессии сначала идет переменная x^2 , а затем переменная x . В то время как по влиянию долей сначала идет переменная x и затем переменная x^2 , то есть в двух ранжированиях переменные x^2 и x меняются местами. Однако следует обратить внимание, что доли x^2 и x мало отличаются друг от друга (7,49 и 10,2 соответственно), если учесть это обстоятельство, что средняя величина зависимой переменной z равна 786 и доли 7,49 и 10,2 малы по сравнению с 786.

Для лучшей наглядности в регрессионном равенстве (3.5) над слагаемыми (долями) проставлены переменные, от влияния которых получено это слагаемое (доли). Под слагаемыми проставлены места, занимаемые переменными x^2 ; y^2 ; xy ; x ; y при пошаговой множественной корреляции.

Подставляя в (3.4) значения коэффициентов регрессии a и средние арифметические значения z ; x^2 ; y^2 ; xy ; x ; y и произведя вычисления, получим регрессионное равенство

$$z^2x^2y^2xuyx$$

$$\begin{matrix} 626000 = & - & 12600 & - & 26600006 & - & 732 & + & 14800 & + & 428000 & + & 462000. \end{matrix} \quad (3.6)$$

$$\begin{matrix} (3) & & (2) & & (5) & & (4) & & (1) \end{matrix}$$

Из (3.6) следует, что ранжирование пошаговой регрессии следует в последовательности y ; y^2 ; x^2 ; x ; xu . В то время как при ранжировании по долям влияния идет в последовательности y ; y^2 ; x ; x^2 ; xu , то есть по зависимости (3.4) при ранжировании по двум признакам, как правило, совпадают. Исключением являются переменные x и x^2 , которые при ранжировании по двум признакам меняются местом. Однако следует обратить внимание, что доли x и x^2 мало отличаются друг от друга (14800 и 12600 соответственно), если учесть то обстоятельство, что средняя величина зависимой переменной равна 626000 и доли 14800 и 12600 малы по сравнению с 626000.

По величине множественного коэффициента можно судить о степени детерминации полученных множественных пошаговых корреляционных регрессионных зависимостей. Так для первого опыта, кроме зависимости, полученной после последнего пятого шага можно пользоваться зависимостью, полученной и после четвертого шага, так как множественные коэффициенты корреляции не отличаются. При этом вычисления будут упрощены. Для второго опыта также можно пользоваться зависимостью, полученной после четвертого шага, так как множественный коэффициент корреляции K после четвертого шага равный 0,891 очень мало отличается от множественного коэффициента K после пятого шага, равного 0,892. Такая картина наблюдается и для третьего, четвертого, пятого и седьмого опытов. Однако для шестого опыта следует пользоваться только зависимостью, полученной после пятого шага, так как множественный коэффициент корреляции после четвертого шага равный 0,566 значительно меньше коэффициента K , полученного после пятого шага, равного 0,892.

Следует обратить внимание на семикратный опыт. Для этого опыта множественные коэффициенты корреляции после 2-го, 3-го, 4-го и 5-го шагов мало отличаются. Однако пользоваться этой регрессионной зависимостью, полученной после второго шага, нельзя, так как эта зависимость включает влияние только координаты y , а координата x в эту зависимость не входит. Поэтому в дальнейшем для вычисления объема эта зависимость непригодна. В связи с этим, для семикратного опыта можно пользоваться зависимостями, полученными после 3-го, 4-го и 5-го шагов.

Для опытов 1, 2, 3, 4, 5 и 7 можно пользоваться зависимостями, полученными после 4-го и 5-го шагов. Однако для шестого опыта необходимо пользоваться только зависимостью, полученной после пятого шага, так как множественный коэффициент $K = 0,569$ после четвертого шага значительно меньше коэффициента $K = 0,884$ после пятого шага.

3.5 Влияние длины частиц на однородность получаемой смеси

Известно, что значительное влияние на качество смеси оказывает степень измельчения смешиваемых компонентов, а также их влажность.

На рисунке 3.12 приведена экспериментально полученная зависимость качества получаемой смеси при смешивании силоса и соломы от длины частиц соломы l_{cp} .

По полученным результатам сделан вывод, что качество смеси начинает заметно снижаться при увеличении длины частиц свыше 70-80 мм. Такая длина частиц является предельной для раздатчика смесителя. При длине частиц свыше 300 мм битерный механизм не работоспособен. Порции корма сходит без рыхления и отделения, наблюдается частичное наматывание стеблей.

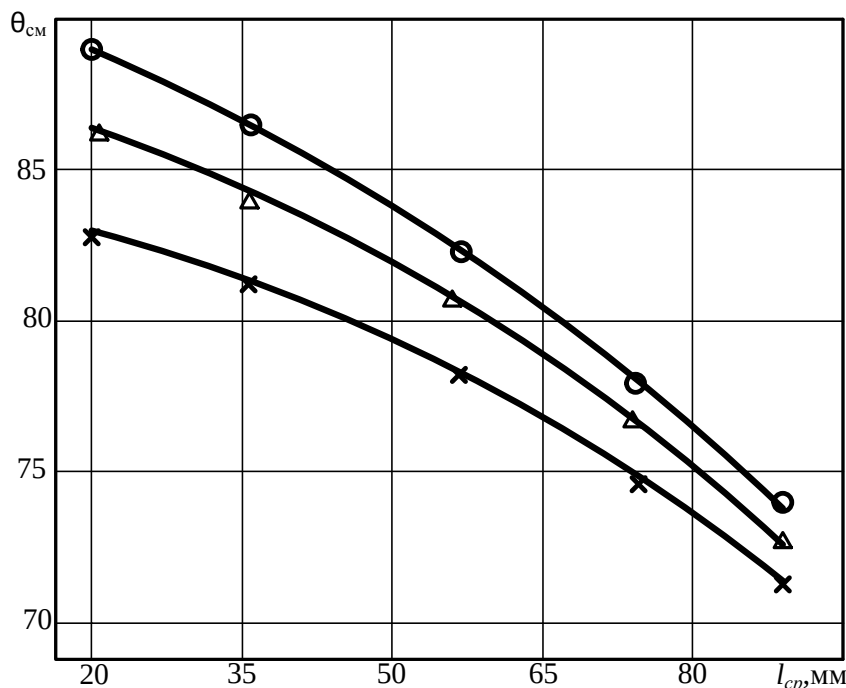


Рис. 3.12. Зависимости однородности смеси $\theta_{см}$, от длины частиц соломы l_{cp} :
 о – о – о – 10% соломы в смеси (по массе); Δ – Δ – Δ – 15% соломы в смеси; х – х – х – 25% соломы в смеси

3.6 Определение конструктивно - режимных параметров отделяюще-смешивающего органа раздатчика-смесителя

3.6.1 Результаты экспериментального отсеивания факторов

Изучение и анализ ранее проведенных исследований процессов отделения, смешивания и дозированной выдачи кормовых смесей позволил из всего многообразия факторов, влияющих на эти процессы, выделить восемь наиболее значимых и назначить уровни их варьирования (табл. 3.1).

Условию значимости удовлетворяют четыре фактора: x_3 - частота вращения битеров; x_5 - ход битера; x_6 - скорость подающего транспортера и x_8 - высота пальца. С ними проводились дальнейшие исследования (табл. 3.12).

Таблица 3.12

Значимые факторы и уровни их варьирования

Факторы	Размерность	Код		Интервал варьирования	Значение факторов		
		старый	новый		-1	0	+1
Высота пальцев, H_p	мм	x_8	x_1	15	70	85	100
Скорость подающего транспортера, $v_{тр}$	м/с	x_6	x_2	0,02	0,005	0,025	0,045
Ход битера, S	мм	x_5	x_3	30	70	100	130
Частота вращения битеров, ω	c^{-1}	x_3	x_4	4	6	10	14

3.6.2 Получение математических моделей, описывающих процессы смешивания компонентов и дозирования кормовой смеси

Для определения области оптимума отклика, использовали композиционный симметричный трехуровневый план Бокса (B_4) для четырех факторов. Отклик Y - степень однородности получен-

ной смеси $\theta_{\text{см}}$, отклик Z неравномерность выдачи δ_p для содержания соломы в общей массе смеси: 16%; 22%; 30%.

Расчет коэффициентов регрессии производился на ЭВМ с использованием стандартной программы обработки результатов эксперимента.

Получены следующие модели процесса:

- для 16% содержания соломы:

$$y_1 = 78,65 + 4,31x_1 + 2,52x_2 - 3,58x_3 + 1,31x_4 + 0,56x_1^2 + 4,00x_2^2 + 1,18x_3^2 - 0,09x_4^2 - 0,22x_1x_2 - 0,34x_1x_3 - 0,51x_1x_4 - 0,16x_2x_3 - 0,46x_2x_4 - 0,32x_3x_4 \rightarrow \max; \quad (3.7)$$

$$Z_1 = 18,69 - 2,30x_1 - 2,19x_2 - 2,42x_3 + 2,13x_4 + 1,02x_1^2 - 0,16x_2^2 + 0,21x_3^2 + 2,13x_4^2 + 0,01x_1x_2 - 0,56x_1x_3 - 0,15x_1x_4 - 0,8x_2x_3 - 0,29x_2x_4 + 1,35x_3x_4 \rightarrow \min. \quad (3.8)$$

- для 22% содержания соломы:

$$y_2 = 76,49 + 4,48x_1 + 2,80x_2 - 3,00x_3 - 1,38x_4 - 1,08x_1^2 + 4,06x_2^2 + 2,32x_3^2 + 0,12x_4^2 - 0,21x_1x_2 - 0,26x_1x_3 - 0,09x_1x_4 - 0,35x_2x_3 - 0,256x_2x_4 - 0,01x_3x_4 \rightarrow \max; \quad (3.9)$$

$$Z_2 = 20,18 - 2,30x_1 + 2,53x_2 - 2,61x_3 + 2,14x_4 + 0,32x_1^2 + 0,36x_2^2 - 0,59x_3^2 + 2,07x_4^2 + 0,38x_1x_2 - 1,01x_1x_3 - 0,27x_1x_4 - 0,26x_2x_3 - 0,30x_2x_4 + 0,46x_3x_4 \rightarrow \min. \quad (3.10)$$

- для 30% содержания соломы:

$$y_3 = 75,84 + 4,21x_1 + 3,29x_2 - 2,51x_3 + 1,94x_4 - 0,01x_1^2 + 5,13x_2^2 + 3,26x_3^2 - 1,47x_4^2 - 0,35x_1x_2 - 0,53x_1x_3 + 0,13x_1x_4 - 0,84x_2x_3 - 0,86x_2x_4 - 0,97x_3x_4 \rightarrow \max; \quad (3.11)$$

$$Z_3 = 21,60 - 2,02x_1 + 2,92x_2 - 2,89x_3 + 1,75x_4 + 0,38x_1^2 - 0,08x_2^2 + 0,23x_3^2 + 1,68x_4^2 + 0,28x_1x_2 - 1,45x_1x_3 - 0,49x_1x_4 - 0,24x_2x_3 - 0,11x_2x_4 + 0,14x_3x_4 \rightarrow \min. \quad (3.12)$$

Для определения оптимального сочетания исследуемых факторов, при которых неравномерность выдачи δ_p имеет минимальное значение, необходимо учитывать, что величина однородности смеси $\theta_{\text{см}}$ ограничена зоотехническими требованиями. Для кормосмесей КРС - $\theta_{\text{см}} = 85\%$. Поскольку на экстремум поверхности отклика (неравномерность выдачи) налагаются ограничения другой поверхности отклика (однородности смеси), то компромиссная задача по

отысканию условного экстремума решалась методом неопределенных множителей Лагранжа. Было просчитано три варианта использования раздатчика-смесителя с содержанием соломы в общей массе корма 16%, 22%, 30% с допустимым уровнем однородности смеси $\theta_{см}=85\%$, (табл. 3.13).

Перейдя от кодированных значений факторов ($x_1; x_2; x_3; x_4$) к натуральным ($H_{п}; v_{тр}; S; \omega$), получили зависимости показателей однородности смеси и неравномерности выдачи от основных конструктивных и режимных факторов раздатчика-смесителя (без незначимых коэффициентов):

- для 16% соломы в смеси:

$$\begin{aligned} \theta_{см1} = & 56,40 - 0,09H_{п} - 1271,07v_{тр} - \\ & 0,14S + 7,79\omega + 0,0014H_{п}^2 + 65,10v_{тр}^2 + 0,0013S^2 - \\ & - 0,048H_{п}\omega - 35,12v_{тр}\omega \rightarrow \max; \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} \delta_{р1} = & 67,81 - 0,48H_{п} + 20,4v_{тр} - 0,031S - 18,69\omega + 0,0025H_{п}^2 + 6,05\omega^2 - \\ & 0,0009H_{п}S - \\ & - 1,08U_{тр}S \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (3.14)$$

- для 22% содержания соломы в смеси:

$$\begin{aligned} \theta_{см2} = & 79,61 - 0,26H_{п} - 112,81v_{тр} - 0,056S + 3,11\omega + 64,96v_{тр}^2 + 0,0025S^2 - \\ & 0,0004H_{п}S - \\ & - 0,46v_{тр}S - 19,16v_{тр}\omega \rightarrow \max; \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} \delta_{р2} = & 40,9 - 0,102H_{п} + 32,8v_{тр} + 0,55S - 2,81\omega + 0,0007H_{п}^2 - 0,0006S^2 + \\ & + 0,13\omega^2 + 0,76H_{п}v_{тр} - 0,0017H_{п}S + 0,0038S\omega \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (3.16)$$

- для 30% содержания соломы в смеси:

$$\begin{aligned} \theta_{см3} = & 95,29 + 0,21H_{п} - 192,8v_{тр} - 0,076S + 3,32\omega + 82,08v_{тр}^2 + 0,0036S^2 - \\ & 0,092\omega^2 - \\ & - 8,6v_{тр}\omega - 0,008S\omega \rightarrow \max; \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned} \delta_{р3} = & 16,06 - 0,01H_{п} + 116,8v_{тр} + 0,26S - 1,12\omega + 0,105\omega^2 - \\ & - 0,024H_{п}S - 0,006H_{п}\omega \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (3.18)$$

После решения компромиссной задачи по отысканию условного экстремума при $\theta_{см} \rightarrow \max; \delta_{р} \rightarrow \min$, получены оптимальные параметры в виде их сочетания для различного содержания соломы в смеси (табл. 3.13)

Таблица 3.13

Оптимальное сочетание факторов при заданном уровне
однородности смеси

Массовая доля со- ломы, %	$\delta_p, \%$	$H_n, \text{ мм}$ (x_1)	$v_{tr}, \text{ м/с}$ (x_2)	$S, \text{ мм}$ (x_3)	$\omega, \text{ с}^{-1}$ (x_4)
16%	10,13	94,05 (0,27)	0,024 (0,41)	135,6 (1,16)	5,92 (-1,02)
22%	13,92	104,8 (0,92)	0,015 (-0,48)	120,8 (0,66)	7,12 (-0,72)
30%	15,29	117,9 (1,86)	0,0145 (-0,55)	85,6 (-0,418)	9,48 (-0,13)

3.7 Результаты исследования подачи и потребной мощности раздатчика-смесителя

Изучение влияния подачи корма раздатчиком-смесителем на затрачиваемую мощность на приготовлении и выдаче кормовой смеси проводилось при установке конструктивно-режимных параметров раздатчика-смесителя на оптимальные их значения.

Зависимости мощности, затрачиваемой на процесс смешивания компонентов и выдачи кормой смеси от скорости движения подающего транспортера, представлены на рисунке 3.13.

Из анализа данных, представленных на графике видно, что при увеличении скорости подающего транспортера, мощность, затрачиваемая на процессы отделения, смешивания и выдачи, возрастает. По графику можно определить расход мощности, затрачиваемой на перемещение смешивающего бitera в возвратно-поступательном движении как разницу этих мощностей. Она составляет 0,3 кВт при $v_{tr}=0,02 \text{ м/с}$.

Расчетная зависимость, полученная по формуле 2.329, хорошо согласуется с опытными данными. Расхождение составляет не более 10%.

На рисунке 3.14 представлены зависимости производительности раздатчика- смесителя Q от скорости подающего транспортера v_{tr} и показателя кинематического режима $\lambda_{кр}$.

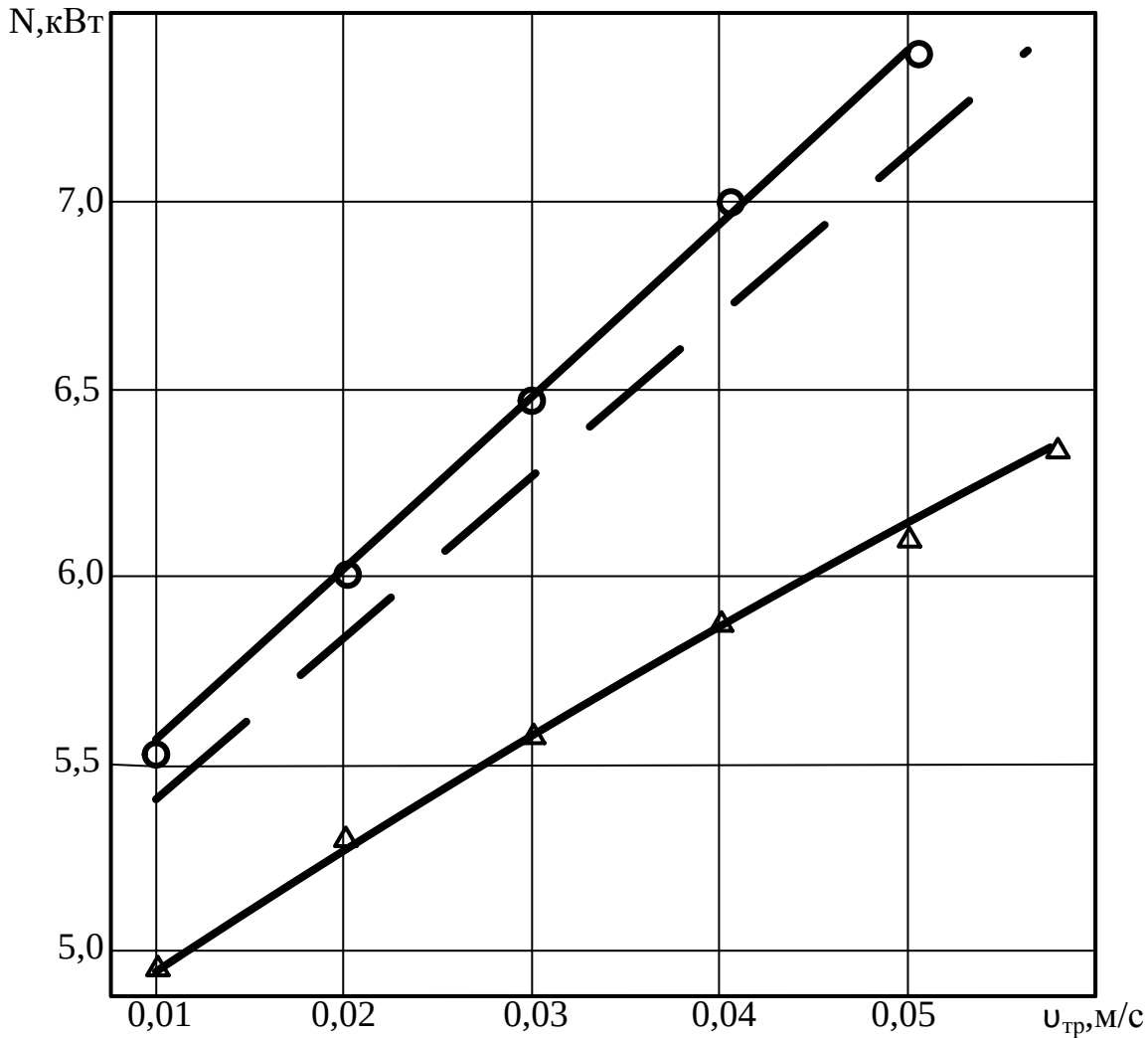


Рис. 3.13. Зависимости затрат мощности на работу раздатчика-смесителя от скорости подающего транспортера: о – о – о – $S=100$; $\Delta - \Delta - \Delta - S=0$; — — — — расчетная

Анализ зависимостей, представленных на рисунке 3.14, позволяет сделать вывод, что зависимость производительности раздатчика-смесителя от скорости подачи носит прямолинейный характер. Это свидетельствует, что эти показатели находятся в прямо пропорциональной зависимости. На графике $Q=f(\lambda_{кр})$ иначе, выделяется зону при $\lambda_{кр} = 100 - 125$, и при которой достигается наибольшая производительность. Это объясняется правильным подбором соотношения скоростей отделяюще - смешивающего органа и подающего транспортера раздатчика-смесителя.

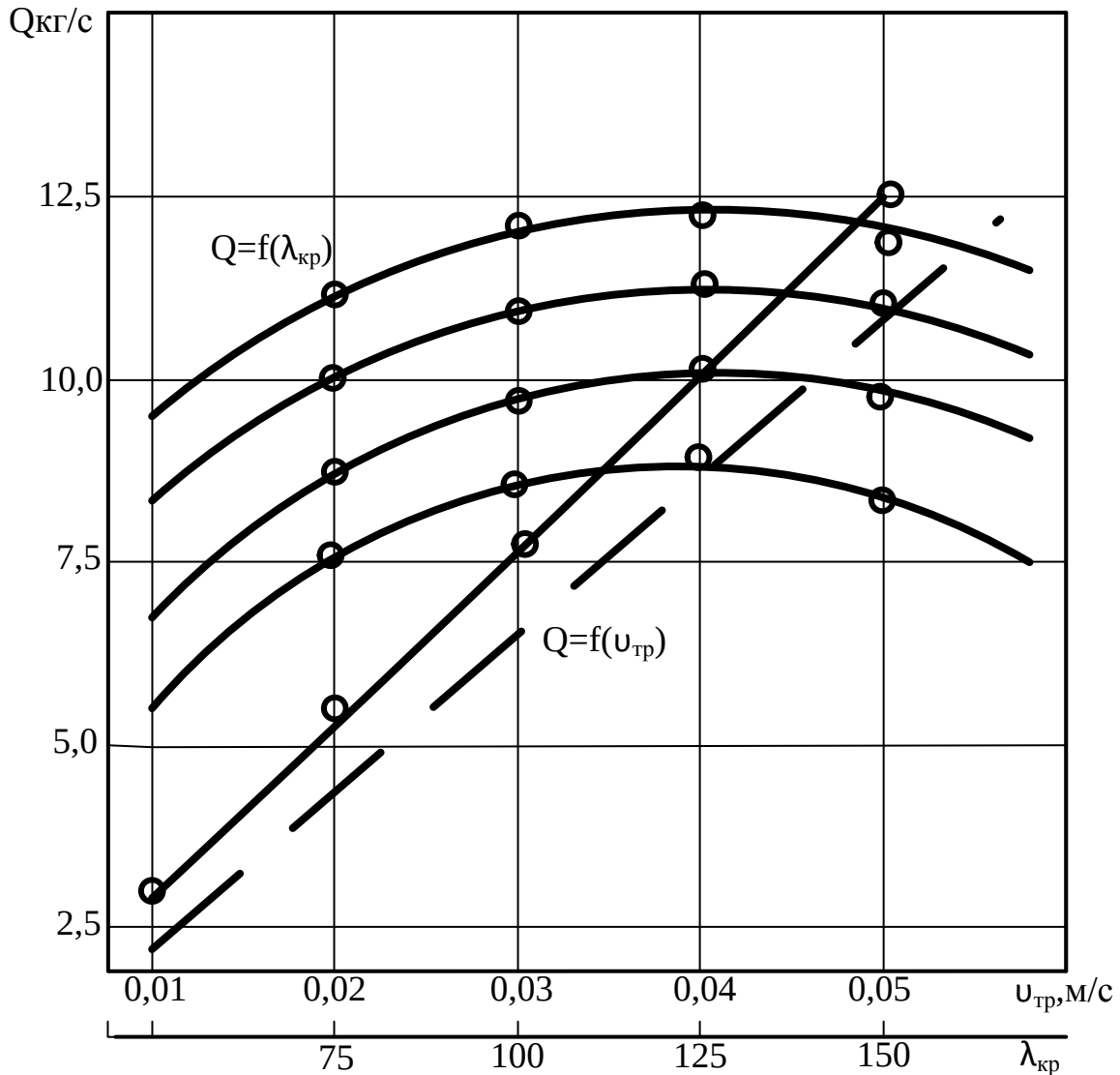


Рис. 3.14. Зависимости подачи Q от скорости подающего транспортера v_{tr} и показателя кинематического режима λ_{kr}
 --- - расчетная $Q=f(v_{tr})$ по формуле 2.314

3.8 Результаты исследований оценочных показателей работы раздатчика-смесителя от его параметров

После проведения многофакторного эксперимента и получения оптимальных конструктивно-режимных параметров раздатчика-смесителя и его отделяюще-смешивающего органа были проведены однофакторные эксперименты со стабилизацией остальных факторов на найденных оптимальных уровнях. Эти зависимости представлены на рисунках 3.15-3.17. На рисунке 3.15 представлены зависимости однородности смеси θ_{cm} от продольного хода активной части бitera S при различных скоростях подающего транспортера.

Можно сделать вывод о том, что как мы и предполагали до начала исследований, движение рабочего органа в возвратно-поступательном направлении существенно влияет на процесс качественного смесеобразования. Оптимальным необходимо считать интервал $S=80 - 120$ мм. Это хорошо согласуется с определенными значениями в результате решения компромиссной задачи. Снижение качества смешивания при дальнейшем увеличении продольного хода активной части бitera, вызвано тем, что дальнейшее его увеличение препятствует качественному образованию кормосмеси за счет уменьшения перекрытия пальцев и частичной сегрегации смеси.

На рисунке 3.16 предоставлены зависимости неравномерности дозирования δ_p от скорости подающего транспортера $v_{тр}$ при установленной длине продольного хода бitera. Анализ зависимости позволяет утверждать, что при увеличении скорости подающего транспортера неравномерность выдачи снижается и достигает 8-10%. На больших скоростях выгрузки сглаживается неравномерность плотности в бункере как по его длине, так и по ширине. Битер своим продольным ходом может снижать неравномерность дозирования за счет более активного воздействия на корм и сглаживать неравномерность плотности по ширине бункера на 5-8%.

На рисунке 3.17 представлены зависимости однородности смеси $\theta_{см}$ от угловой скорости отделяюще-смешивающего бitera. Анализ графических зависимостей позволяет заключить, что максимальная однородность смеси для всех пропорций содержания соломы находится примерно на одном уровне при $\omega=8,0 - 13 \text{ с}^{-1}$. Такая частота вращения (совместно с продольным ходом бitera) позволяет качественно готовить полнорационные кормовые смеси для крупного рогатого скота.

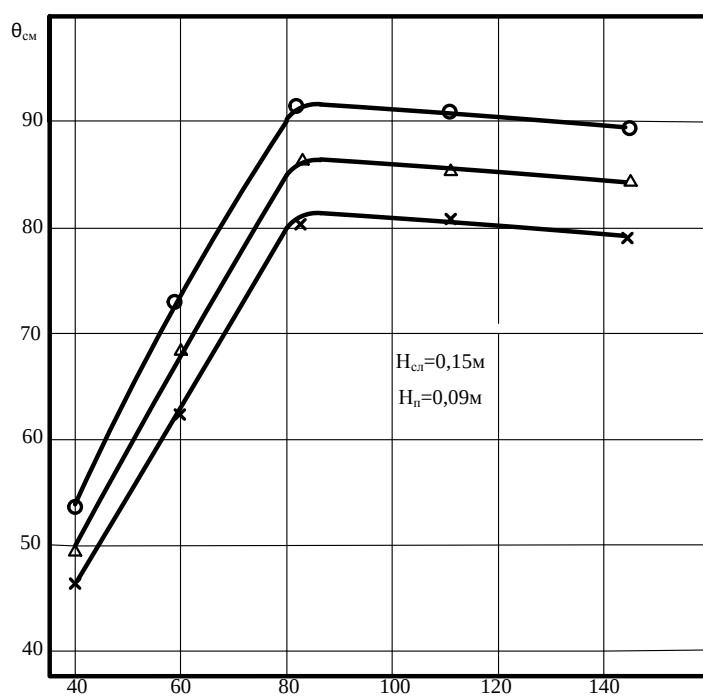


Рис. 3.15. Зависимости однородности смеси $\theta_{см}$ от продольного хода активной части бitera S :

о — о — о — $v_{тр}=0,01$ м/с; $\Delta - \Delta - \Delta - v_{тр}=0,03$ м/с; х — х — х — $v_{тр}=0,05$ м/с.

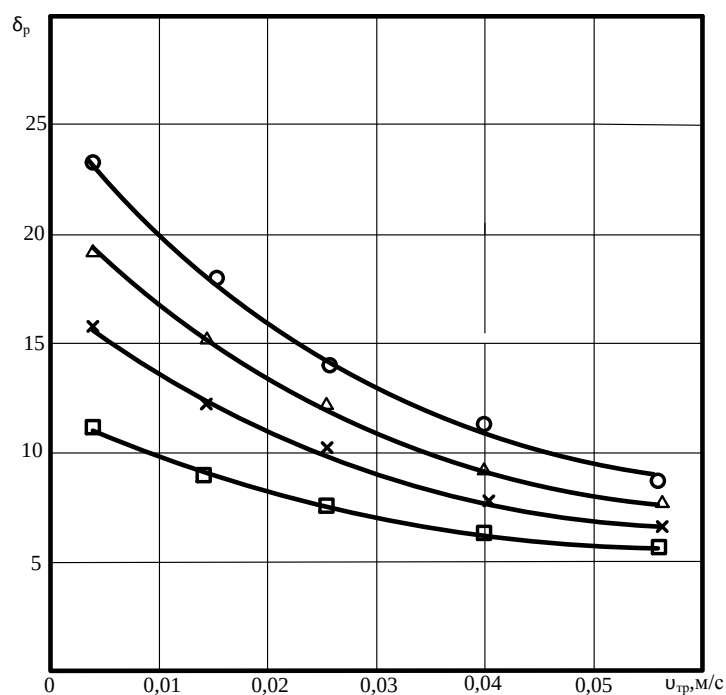


Рис. 3.16. Зависимости неравномерности дозирования δ_p от скорости подачи монолита $v_{тр}$:

о—о—о — $S=60$ мм; $\Delta - \Delta - \Delta - S=100$ мм;
х—х—х — $S=140$ мм; $\square - \square - \square - S=180$ мм.

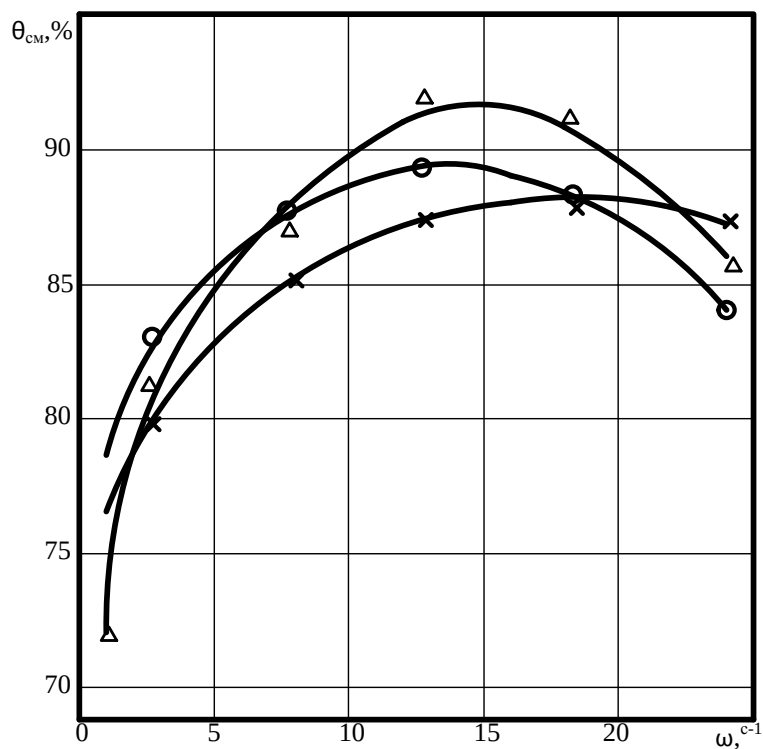


Рис. 3.17. Зависимость однородности смеси $\theta_{см}$ от угловой скорости вращения бitera ω_6 :
 о – о – о – 16% соломы в смеси (по массе); Δ – Δ – Δ – 22%;
 х – х – х – 30%.

В результате экспериментальных исследований определены физико – механические свойства и размерные характеристики кормовых компонентов, входящих в рацион кормления КРС при их механизированном кормлении ПРКС. Установлены размерные характеристики плодов тыквы, максимальный диаметр которых доходит до 445 мм.

На основании установленных экспериментальным путем размерных характеристик плодов тыквы, обоснованы параметры установки поярусных ограничителей плодов тыквы – для первого яруса высота установки составит $H_1=445-450$ мм. Аналогично $H_2=H_1+200$ мм и $H_3=H_2+200$ мм с расстоянием между ограничителями по горизонтали в плоскости поперечного сечения питателя плодов, равным: $L_1=D_{max}=450$ мм и $L_2=450$ мм.

При данных конструктивных регулируемых параметрах питателя плодов тыквы, обеспечивается эффективное выполнение условия сдвига плодов соответствующего яруса и их скатывания с бурта при работе подающего транспортера питателя.

Для установленных характеристик размеров плодов тыквы сорта «Стофунтовая» ширина приемного транспортера должна быть в пределах 500 мм, а длина $L_{тр}=6,0$ м, с учетом групповой и дискретной подачи плодов питателем, что позволяет разместить на его длине 12-14 плодов тыквы.

При этом установлено, что скорость подающего транспортера питателя плодов должна находиться в пределах $v_{птр}=0,001-0,005$ м/с, а приемного $v_{трп}=0,011-0,012$ м/с.

Установленная мощность привода:

- для подающего транспортера $N_{п}=12,0$ кВт;
- для приемного $N_{трп}=3,0$ кВт.

Экспериментальным путем обоснованы условия использования измельчителя плодов тыквы в системе питатель → измельчитель при дискретном характере подачи плодов тыквы «группой».

Установлена возможность и целесообразность выполнения камеры измельчителя в виде двух секций, диаметрально разделенных перегородкой:

- 1 секция – для измельчения плодов тыквы;
- 2 секция – для приема и доизмельчения силоса, что обеспечивает получение однородной бинарной композиции на основе указанных сочных кормов в поддисковом пространстве измельчителя, а также дает эффект усреднения температур компонентов при измельчении плодов тыквы в замороженной физической форме.

Посредством полученных математических моделей оценки качества измельчения и энергоемкости обоснованы оптимальные значения конструктивно-режимных параметров измельчителя плодов тыквы:

- частота вращения смешивающе-выгрузных лопастей $x_1=-0,197$ ($n=2041$ мин⁻¹);
- зазор между диском и стенкой бункера $x_2=0,065$ ($s=57,9$ мм);
- высота вылета ножа над диском $x_3=-1$ ($h=20$ мм);
- число лопастей $x_4=-1$ ($k=2$ шт.).

При данном сочетании факторов, энергоемкость процесса составляет $N_{y0}=7,88$ кВт с/кг, а однородность смеси $-\theta_k=93,1\%$.

Экспериментально подтверждена зависимость (2.42) по сглаживанию неравномерности потока корма, выходящего из измельчителя на сборный транспортер.

Неравномерность распределения корма (кг/м) находится в пределах 4-5% при исходной неравномерности потока 20-25%.

Экспериментально обоснован способ и условия формирования кормового монолита в бункере мобильного раздатчика ПРКС, путем сжатия входного потока за счет правильного выбора соотношения скорости движения потока загрузки и формируемого монолита корма в бункере раздатчика. Установлено, что данное соотношение составляет $v_{згр}/v_{птр}=12-15$.

Полученные экспериментальным путем пошаговые регрессионные зависимости (3.5 и 3.6) позволили доказать, что поверхность сформированного кормового монолита представляет собой эллиптический параболлоид, в связи с чем методологический подход, к оценке качества сформированного кормового монолита в бункере раздатчика в виде зависимостей (2.163) и (2.164) является правомерным и корректным, а поэтому может быть рекомендован для использования на практике.

Обоснован методологический подход к оценке смешивающей способности раздатчика-смесителя и ПТЛ приготовления и выдачи ПРКС при использовании способа послойного формирования кормового монолита в бункере раздатчика.

Полученная аналитическая модель (2.263) адекватно характеризует дисперсию колебаний качественного и количественного состава случайного потока на выходе из раздатчика с учетом количества формируемых слоев и показателей входного потока.

В ходе экспериментальных исследований обоснованы условия использования в раздатчике-смесителе активных рабочих органов, обеспечивающих интенсификацию перераспределения смешиваемых частиц компонентов путем выполнения пальцев Δ -формы и придания им возможности одновременного продольного перемещения и вращательного движения.

Путем экспериментально полученных моделей процесса отделения и смешивания частиц корма обоснованы конструктивно-режимные параметры, которые находятся в следующих пределах:

- высота пальцев битера $H_n=0,094-0,118$ м;
- продольный ход битера $S=0,085-0,135$ м;
- угловая скорость вращения битеров $\omega=5,92-9,48$ с⁻¹;
- скорость подающего транспортера $v_{тр}=0,0145-0,024$ м/с.

При указанных значениях параметров неравномерность выдачи кормовой смеси раздатчиком-смесителем и ее однородность соответственно составляют $\delta_p=8-10\%$, $\theta_{см}=92-94\%$.

На основании полученных теоретических и экспериментальных данных был разработан ряд конструктивно-

технологических схем ПТЛ приготовления и раздачи ПРКС КРС.

Базовая конструктивно-технологическая схема ПТЛ приготовления и раздачи полнорационных кормосмесей представлена на рис. 3.18.

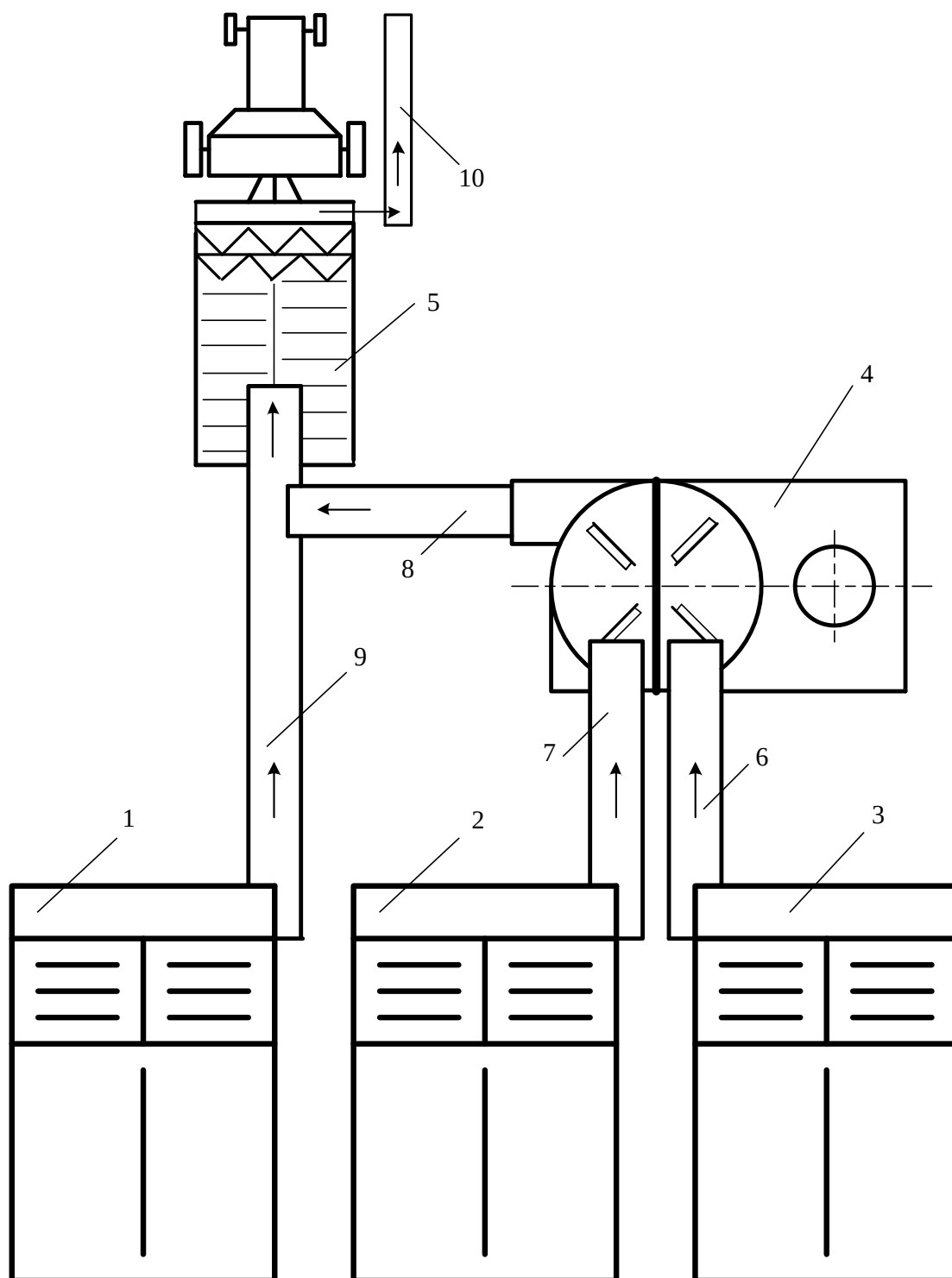


Рис. 3.18. Базовая конструктивно-технологическая схема линии приготовления и раздачи полнорационных кормосмесей: 1, 2, 3 - питатели-дозаторы соломы, силоса, плодов тыквы; 4 – измельчитель плодов тыквы; 5 - бункерный раздатчик-смеситель; 6,7,8,9 - транспортеры; 10-кормушка

Она включает: питатели силоса, соломы и плодов тыквы 3, измельчитель 4 и раздатчик-смеситель 5, оборудованный приспособлением для ввода в кормосмесь комбикормов или обогащенных добавок (премиксов). Питатели 1-3 подают кормовые компоненты в раздатчик-смеситель в бункере которого формируется кормовой монолит.

Конструктивные параметры и режимы работы ПТЛ следующие. Для питателя плодов тыквы скорость подающего транспортера питателя плодов $v_{птр}=0,001-0,005$ м/с, а приемного $v_{трп}=0,011-0,012$ м/с. Параметры установки поярусных ограничителей плодов тыквы – для первого яруса $H_1=445-450$ мм, $H_2=H_1+200$ мм и $H_3=H_2+200$ мм с расстоянием между ограничителями по горизонтали в плоскости поперечного сечения питателя плодов, равным: $L_1=D_{max}=450$ мм и $L_2=450$ мм.

Для измельчителя: частота вращения диска $n=2074$ мин⁻¹, ширина окна в диске пере ножом $b=24,17$ мм, высота вылета ножа $h=4,18$ мм; для раздатчика-смесителя: высота пальца $H_{п}=105$ мм; скорость подающего транспортера $U_{тр}=0,015$ м/с; частота вращения бitera $\omega=9,0$ с⁻¹; продольный ход бitera $S=120$ мм.

Данная ПТЛ является универсальной, так как она позволяет выполнять операции: подачи и измельчения плодов тыквы, подачи силоса и соломы, формирования кормового монолита путем полойной загрузки составляющих кормового рациона в бункере раздатчика с использованием подающего транспортера раздатчика-смесителя, транспортировки, смешивания компонентов в процессе дозированной выдачи кормосмеси в кормушки.

Экономическую эффективность от применения разработанной ПТЛ приготовления и выдачи ПРКС КРС с использованием плодов тыквы на базе мобильного раздатчика-смесителя, можно определить за счет сравнения ее с существующей ПТЛ приготовления таких же кормов, с использованием корнеклубнеплодов. В качестве существующей линии принята линия приготовления ПРКС на базе кормоцепа КОРК-15 (табл. 3.14).

Таблица 3.14

Показатели сравнительной технико-экономической оценки эффективности разработанных технологических и технических решений

Технико-экономические показатели	Обозначения	Значения технико-экономических показателей по вариантам решений	
		Базовый комплект КОРК-15 с использованием ККП	Предлагаемый комплект оборудования МК-КРС-5
1	2	3	4
1. Себестоимость производства 1 т ККП, руб/т	$G_{\text{ККП}}^{\text{П}}$	5000	-
2. Себестоимость производства 1 т ККП, руб/т	$G_T^{\text{П}}$	-	3000
Годовой экономический эффект от разницы в себестоимости производства ККП и тыквы, рубли	$\Delta \mathcal{E}_1$	-	1920000
Себестоимость хранения и обработки 1 т ККП, руб/т	$C_{\text{ККП}}^{\text{О}}$	200	
Себестоимость хранения и обработки 1 т. плодов тыквы, руб/т	$C_T^{\text{О}}$		100
Годовой экономический эффект от разницы затрат по хранению и обработке ККП и плодов тыквы, рубли	$\Delta \mathcal{E}_2$	-	96000
Годовой экономический эффект от кормления животных ПРКС (продукция-молоко), рубли	$\Delta \mathcal{E}_3$	790000	844000
Годовой экономический эффект от повышения однородности смешивания, рубли	$\Delta \mathcal{E}_4$	-	442000
Годовой экономический эффект от повышения точности дозирования, рубли	$\Delta \mathcal{E}_5$	-	220000
Годовой экономический эффект по предлагаемому варианту, рубли	$\mathcal{E}_T$	-	3502000
Капитальные затраты, рубли	K_3	4418000	2120000

Глава 4 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ПО ПРИГОТОВЛЕНИЮ И РАЗДАЧЕ ПОЛНОРАЦИОННЫХ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЫКВЫ

Расчет поточной линии приготовления и раздачи кормовых смесей необходимо ввести с учетом максимального допустимого времени кормления, обусловленного зоотехническими требованиями $t_{3т}$ в следующей последовательности.

Находят суточную выдачу кормового рациона

$$G_{\text{сут}} = \sum_{i=1}^n G_i, \quad (4.1)$$

где G_i - суточная выдача i -го вида корма на все поголовье, кг;
 n - количество компонентов.

Суточная выдача i -го компонента определится как

$$G_i = \sum_{j=1}^k a_{ij} \cdot m_j, \quad (4.2)$$

где a_{ij} - суточная выдача i -го вида корма на одно животное, кг; m_j - количество животных в группе; k - количество групп животных

Разовая выдача кормового рациона равна

$$G_{\text{раз}} = \frac{G_{\text{сут}}}{K_k}, \quad (4.3)$$

где K_k - кратность кормления.

Определяют производительность загрузки мобильных раздатчиков-смесителей кормов или бункерных раздатчиков по формуле, предложенной д-ром техн. наук, профессором С.М. Доценко

$$Q_{\text{л}} = \frac{N_p \cdot q}{\left[\eta_{\text{в}} \left(t_{3т} \cdot \frac{k'}{z} \right) - (t_{\text{мп}} + t_p) \right]} \cdot m, \quad (4.4)$$

где N_p - количество животных, обслуживаемых за один оборот раздатчика-смесителя; q - разовая норма выдачи кормовой смеси на одно животное, кг; $\eta_{\text{в}}$ - коэффициент, учитывающий время выполнения вспомогательных операций; $t_{3т}$ - допустимое по зоотехническим требованиям время кормления животных на ферме или комплексе; k' - число раздатчиков в линии, $k'=1, 2, 3$ и т.д.; z - число рейсов, которое необходимо совершить для выдачи разового кормового рациона; $t_{\text{мп}}$ - время транспортировки в прямом и обратном направлениях, ч; t_p - время раздачи; m - количество параллельно работающих линий.

По соотношению составляющих времени оборота раздатчика-смесителя определяют их потребное количество в линии. Если соотношение

$$\varepsilon = \frac{\eta \cdot t_{\text{зм}} \cdot k'}{z(t_{\text{мп}} + t_p)} \leq 1, \quad (4.5)$$

при $k'=1$, то в линии могут работать два раздатчика-смесителя, если $\varepsilon \leq 1$ при $k'=2$, то $k' \rightarrow 3$ и т.д.

При расчете питателей-дозаторов в технологических линиях приготовления и раздачи кормов возникает необходимость их настройки на заданный режим работы, которая для каждой из линий подачи кормовых компонентов осуществляется по номограмме 4.1. [76, 79]. Обозначения на номограмме следующие: q - количество кормовой смеси, приходящееся на одну голову животного; a - количество кормового компонента, приходящееся на одну голову животного; q/a - соотношение компонентов; $Q_{\text{см}}$ - производительность линии смешивания; $Q_{\text{п}}$ - производительность линии подачи кормового компонента; n - частота вращения дозирующего шнека (для линии подачи корнеклубнеплодов).

Для линий подачи других компонентов в зависимости от полученного по номограмме значения $Q_{\text{п}}$ производятся настройка питателей на заданную производительность (путем установки соответствующих регулировочных устройств).

Пользуясь номограммой, по известному значению $Q_{\text{п}}$ находят производительность Q_i питателей линии подачи соответствующих компонентов. Ключ пользования номограммой показан стрелками.

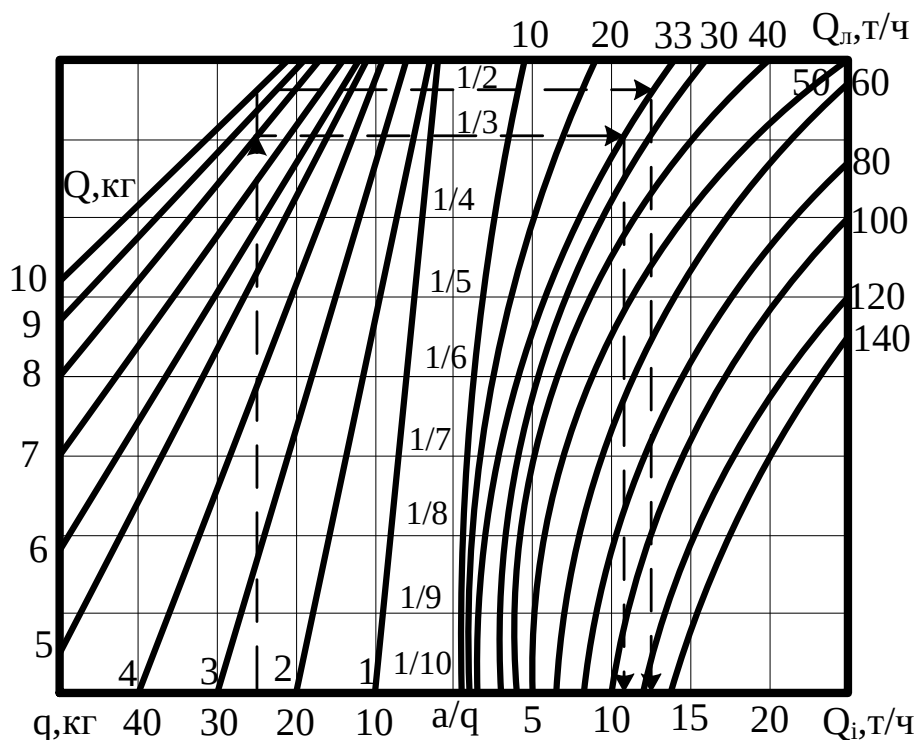


Рис. 4.1. Номограмма для определения производительности линии подачи кормовых компонентов

Далее определяют время загрузки i -го компонента в бункер-накопитель или бункер раздатчика-смесителя [164].

$$t_{zi} = \frac{G_i}{zQ_i}, \quad (4.6)$$

где G_i - количество i -го вида корма, необходимого для разовой выдачи на ферме или комплексе, кг.

В случае использования в линии раздатчика-смесителя производительность линии приготовления и раздачи кормовых смесей определяется по формуле [80]

$$Q_{\text{л}} = \frac{N_p \cdot q \cdot z}{\eta \cdot t_{\text{зм}} \cdot k} \leq Q_u, \quad (4.7)$$

где N_p - число животных, обслуживаемых за один оборот раздатчика; q - разовая норма выдачи кормовой смеси на одну голову; z - число циклов раздачи; η - коэффициент использования времени цикла; k - число раздатчиков в линии; Q_u - производительность измельчителя

Производительность линии послойной загрузки раздатчика-смесителя на i -ом виде корма Q_i определяется по формуле [174]

$$Q_i = \frac{G_i \cdot q \cdot k}{z a_i \left[\left(\eta \cdot t_{\text{зм}} \cdot k / z \right) - (t_{\text{мп}} + t_p) \right]}, \quad (4.8)$$

где G_i - количество i -го вида корма для всего поголовья животных.

4.1 Методика расчета питателя плодов тыквы

Результаты исследований позволяют заключить, что высота H_1 между полотном подающего транспортера и первым ограничителем (см. рис. 3.4) должна быть не менее 435 мм.

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.

4.2 Методика расчета параметров измельчителя плодов тыквы

С учетом того, что производительность измельчителя с одной стороны ограничивается производительностью питателей-дозаторов Q_i , $\sum_{i=1}^2 Q_i < Q_u$, а с другой - равна производительности z ножей ($Q_u = Q_z$), то расчет конструктивно-режимных параметров осуществляется:

- высота бункера ($H_b \geq H$) по формуле 2.76;
- число ножей z по формуле 2.99;
- вылет ножей над диском, длина ножей и частота вращения вала измельчителя по формуле 2.100.

4.3 Методика расчета параметров процесса заполнения бункера раздатчика-смесителя

Согласно принятой схеме послойное заполнение бункера осуществляется с помощью подающего транспортера раздатчика-смесителя.

Схема, согласно которой осуществляется заполнение, представлена на рисунке 4.2. Она состоит из загрузочного транспортера 1, оснащенного делителем потока 2, корм распределяется по ширине бункера. По бункеру корм распределяется с помощью подающего транспортера 4 и храпового механизма, осуществляющего его привод (на схеме не обозначено).

Процесс заполнения бункера мобильного раздатчика происходит следующим образом. Подача комового продукта осуществляется сборным транспортером в его заднюю часть.

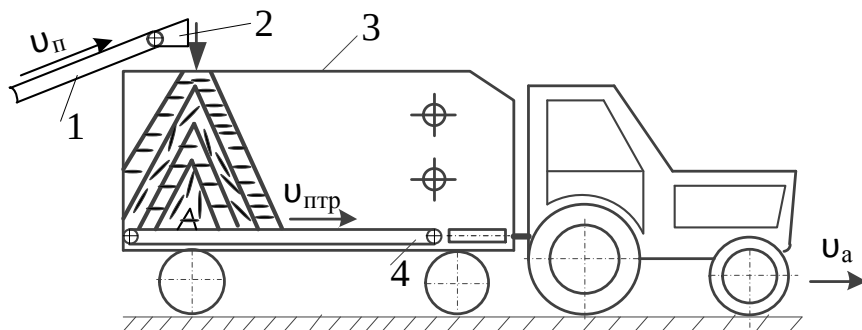


Рис. 4.2. Схема загрузки бункера раздатчика-смесителя наклонными слоями с помощью подающего транспортера: 1 - загрузочный транспортер; 2 - делитель потока; 3 - бункер; 4 - подающий транспортер

При достижении высоты первичного конуса, равной высоте бункера, в работу включается подающий транспортер и дальнейшее послойное заполнение происходит за счет движения подающего транспортера с формируемым монолитом. При достижении кормовым монолитом блока битеров привод подающего и загрузочного транспортеров выключаются. Для настройки раздатчика-смесителя на заданный режим работы (скорость движения подающего транспортера) в зависимости от количества поступающего в его бункер корма разработана номограмма (рис. 4. 3) [75].

В соответствии с номограммой необходимо знать высоту H кормового монолита, который следует сформировать в бункере раздатчика. Она зависит от разовой нормы выдачи кормовой смеси q , N - количества животных, которое необходимо обслужить за один цикл раздачи и плотности кормового продукта ρ . Высота кормового монолита определяется по номограмме, представленной на рис. 4. 3 а. Ключ пользования номограммой показан на рисунке стрелками. В зависимости от полученной высоты H , известной подачи загрузочно- го транспортера и плотности загружаемого продукта определяют номер деления Z (рис. 4.3 б) храпового колеса механизма настройки на необходимую скорость движения подающего транспортера раздатчика-смесителя. Ключ пользования номограммой также показан стрелками.

Погрешность определения скорости подающего транспортера по данной номограмме составляет $\pm 10\%$, что позволяет считать ее пригодной для настройки раздатчика-смесителя в производственных условиях.

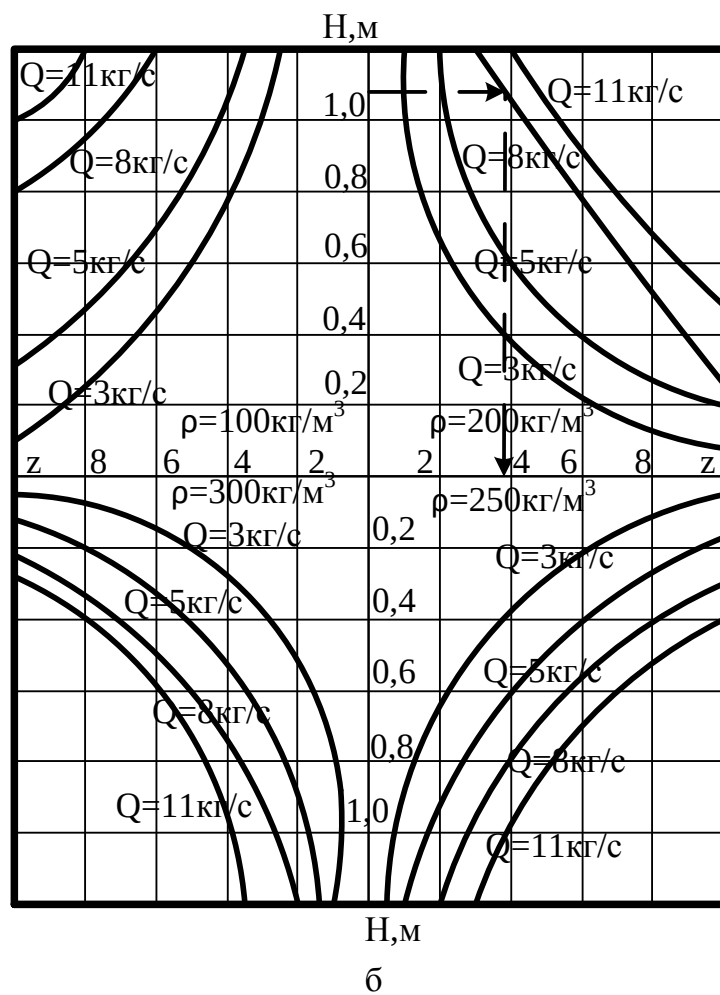
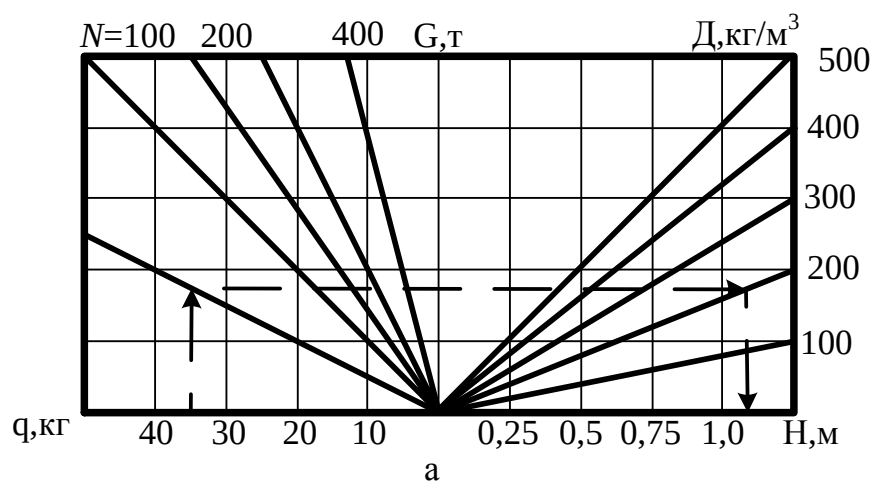


Рис. 4.3. Номограмма для определения режима работы раздатчика при его загрузке наклонными слоями: а - номограмма для определения высоты монолита; б - номограмма для определения номера деления на секторе храпового колеса механизма настройки

4.4 Методика расчета параметров раздатчика-смесителя

В основу методики проектирования и расчета раздатчика-смесителя для ферм КРС положена методика, предложенная д-ром техн. наук, профессором В.Г. Кобой. [129, 133]. Согласно этим методикам, вначале определяют суточный расход кормов на обслуживаемое поголовье, кратность кормления животных, способ содержания и другие исходные данные для технологического расчета.

С учетом того, что количество корма в бункере раздатчика-смесителя должно быть равно или кратно количеству корма, потребного для разового кормления поголовья скота, размещенного в одном ряду помещения, то величина объема бункера определится [129]

$$V=q \cdot n \cdot m \cdot k \cdot \rho \cdot K_3,$$

где V - объем бункера раздатчика-смесителя, м³; q - норма выдачи корма на одну голову, кг; n - количество скота в одном ряду животноводческого помещения; m - число рядов животных, обслуживаемых при одноразовой загрузке бункера раздатчика-смесителя; k - коэффициент запаса корма,

$k=1,05 - 1,1$; ρ - плотность корма в бункере раздатчика-смесителя, кг/м³;

K_3 - коэффициент заполнения бункера, равный 0,8 - 0,9.

Дальнейший расчет конструктивно-режимных параметров раздатчика-смесителя производится в следующем порядке:

- полный продольный ход бitera, то есть длина перемещения пальца из одного крайнего положения в другое, выражается формулой (2.313);

- подача раздатчика-смесителя выражается формулой (2.314);

- по формуле (2.321) определяются конструктивные параметры активной части отделяюще-смешивающего бitera - высоту пальца, число пальцев в ряду, число рядов пальцев на битере, угол пальца треугольной формы. Инженерный расчет остальных элементов конструкции проводится по общеизвестным методикам с учетом практического опыта проектирования подобных машин.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования по решению проблемы повышения эффективности механизированного кормления КРС полнорационными кормовыми смесями с использованием плодов тыквы позволяют сделать следующие выводы:

Анализ существующих технологических схем, принципов и условий работы поточных технологических линий приготовления и

выдачи крупному рогатому скоту полнорационных кормовых смесей с использованием корнеклубнеплодов показывает, что наряду с их низкой функциональной надежностью, обусловленной сложной структурой, высокой металлоемкостью и энергоемкостью имеет место невозможность получения с их помощью полнорационных кормовых смесей в зимне-стойловый период, путем использования в составе рационов углеводистых компонентов виде тыквы в соответствующей зоотехническим требованиям физической форме и композициях, обеспечивающих оптимальное сахаропротеиновое соотношение.

При этом, решение проблемы обеспечения качественного выполнения процессов подачи, измельчения, смешивания и выдачи данных компонентов в составе полнорационных кормосмесей с использованием плодов тыквы требует изыскания специальных технологических подходов и способов по их реализации в сложной системе механизированного кормления жвачных животных;

Полученная экономико-математическая модель оценки эффективности функционирования ПТЛ приготовления и выдачи полнорационных кормовых смесей с использованием плодов тыквы на стадии проектирования линий данного типа, позволяет учитывать как материальные и трудовые затраты, так и эффект от использования в рационах плодов тыквы, а также получения дополнительной животноводческой продукции за счет реализации рациональных технологических подходов, способов и схем подготовки и обработки исходного сырья с учетом качественных показателей во входных и выходных потоках, разрабатываемой механизированной системы кормления жвачных животных;

В результате теоретических исследований выявлены математические зависимости:

- по обоснованию потребляемой мощности и скорости дискретной подачи транспортера питателя, а также его конструктивных параметров с учетом характерных размеров сырья в виде плодов тыквы;
- по определению пропускной способности и мощности измельчителя плодов тыквы, с учетом принятой схемы измельчения и получения силосно-тыквенных композиций;
- по аналитической оценке равномерности формирования кормового монолита в бункере мобильного раздатчика с учетом послойной укладки компонентов, поступающих с загрузочного транспортера;

- по аналитической оценке смешивающей способности ПТЛ данного типа, с учетом послойного формирования кормового монолита, а также технологических и конструктивно-режимных параметров раздатчика-смесителя со сложным движением отделяюще-дозировочного рабочего органа;

Экспериментально получены математические модели, характеризующие процессы дискретной подачи плодов тыквы, их измельчения дисковым измельчителем, работающим по принципу снятия стружки с вращающегося вокруг своей оси плода тыквы, формирования в бункере раздатчика-смесителя кормового монолита с постоянными высотой и плотностью по его длине, отделения частиц компонентов от монолита и их взаимного перераспределения в процессе подачи на выгрузной транспортер мобильного раздатчика в виде адекватных уравнений регрессии и эмпирических зависимостей, позволили определить области оптимальных значений параметров, указанных технических средств и поточной линии в целом.

При этом, оптимальными значениями параметров, при которых обеспечивается получение полнорационной кормовой смеси с оптимальным сахарно-протеиновым соотношением, а также требуемыми показателями качества и минимальными энергетическими затратами являются:

- для питателя плодов тыквы:
- скорость подающего транспортера пределах $v_{\text{птр}}=0,001-0,005$ м/с;
- скорость приемного транспортера $v_{\text{трп}}=0,011-0,012$ м/с;
- высота установки поярусных ограничителей плодов тыквы – для первого яруса $H_1=445-450$ мм, $H_2=H_1+200$ мм и $H_3=H_2+200$ 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 дискового типа:
- частота вращения смешивающе-выгрузных лопастей $n=2041$ мин⁻¹;
- зазор между диском и стенкой бункера $s=57,9$ мм.;
- высота вылета ножа над диском $h=20$ мм.;
- число лопастей $k=2$ шт.
- для процесса заполнения бункера мобильного раздатчика:
- соотношение скорости движения потока загрузки и формируемого монолита корма в бункере раздатчика составляет $v_{\text{зтр}}/v_{\text{птр}}=12-15$;

- скорость подающего транспортера $v_{\text{птр}}^{\text{к}}=0,015\text{ м/с}$.
- для отделяюще-смешивающих рабочих органов раздатчика-смесителя:

- высота пальцев битера $H_{\text{п}}=0,094-0,118\text{ м}$;
- продольный ход битера $S=0,085-0,135\text{ м}$;
- частота вращения битеров $\omega=5,92-9,48\text{ с}^{-1}$;
- скорость подающего транспортера $v_{\text{тр}}=0,0145-0,024\text{ м/с}$.

На основе исследований разработана конструктивно-технологическая схема линии приготовления и раздачи полнорационных кормовых смесей КРС с использованием тыквы, основными техническими средствами которой являются питатели плодов тыквы, силоса и соломы, измельчитель дискового типа, а также раздатчик-смеситель с активным отделяюще-смешивающим рабочим органом и приспособлением для дозирования комбикорма. Разработана методики инженерного расчета оборудования линии данного типа.

Установлено, что питатель плодов тыквы обеспечивает их дискретную подачу в измельчитель дискового типа с учетом принятого времени измельчения плода тыквы, получение частиц углеводистых компонентов с высокой однородностью - $\theta_{\text{к}}=93,1\%$ и минимальными затратами энергии –

$N_{\text{уд}}=7,88\text{ кВтс/кг}$, формирования кормового монолита в бункере мобильного раздатчика кормов с $\delta_3=4,9\%$, обеспечивающего однородность смешивания и неравномерность выдачи полнорационных кормовых смесей соответственно в пределах $\theta_{\text{см}}=92-94\%$ и $\delta_p=8-10\%$.

На основании исследований разработан ряд технических решений, признанных ВНИИГПЭ изобретениями [328, 379-382].

В результате сравнительной оценки эффективности разработанных технологических решений и технических средств установлено, что они позволяют получить годовой экономический эффект в размере 3 502 000 рублей при объеме производства полнорационных кормовых смесей объемом 6 тыс. тонн для фермы КРС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраменко, П.С. Современные методы повышения кормовой ценности соломы/П.С. Авраменко, В.И. Передня, О.А. Вербич- Минск: Ураджай, 1981.-60 с.
2. Авров, О.Е. Использование соломы в сельском хозяйстве / О.Е.Авров, З.М. Мороз. - Л.: Колос, 1979. – 37 с.
3. Автомонов, И.Я. Обоснование разработки и параметры питателя-измельчителя грубых кормов /И.Я. Автомонов, В.П. Мулюкин, В.Е. Чирков.// Сб. науч. тр. Всесоюзного НИИ механизации животноводства. – Подольск: ВНИИМЖ, 1979. - С. 8-13.
4. Алейникова, Л.Д. Основы кормопроизводства / Л.Д. Алейникова, Ю.С. Козлов. - М.: Агропромиздат, 1988. - 191 с.
5. Алешкин, В.Р. Механизация животноводства / В.Р. Алешкин, П.М. Роцин. - М.: Агропромиздат, 1985. - 333 с.
6. Алешкин, В.Р. Механизация животноводства / В.Р. Алешкин, П.М. Роцин. - М.: Колос, 1993. - 284 с.
7. Алябьев, Е.В. Механизированные технологии содержания крупного рогатого скота: обзорная информация / Е.В. Алябьев, В.Е. Матусевич, Т.А. Кирьяшкина. - М., 1987. - 48 с.
8. Андреев П.А. На промышленную основу / П.А. Андреев //Техника в сельском хозяйстве. - 1981, №11. - С. 3 - 5.
9. Артюшин, А. А. Методика оценки качества работы смесителей кормов / Артюшин А. А.// Новое в методах испытаний тракторов и сельхозмашин. - М., 1976. - С. 32 - 38.
10. Астахов, А.С. Механизация раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота / А.С. Астахов, Н.И. Искандрян. - М.: ЦНИИТЭМ. 1971. - 57 с.
11. Балашов, А. В. Система раздачи кормов на молочном комплексе совхоза им. Тимирязева Тамбовской области / А. В. Балашов // Механизация животноводческих ферм. - Саратов, 1977. - Вып. 103. - С. 64-70.
12. Батищев, В.Д. Механизация приготовления силоса и сенажа / В.Д. Батищев. - М.: Россельхозиздат, 1983. - 63 с.
13. Беклемишев, Д.В. Курс аналитической алгебры / Д.В. Беклемишев. - М.: Наука, 1987. - 320 с.
14. Белехов, И.Н. Новое в механизации животноводства / И.Н. Белехов. - М.: Колос, 1983. - 144 с.

15. Белявский, Ю.И. Грубые корма в полнорационных смесях / Ю.И. Белявский, В. К. Сорокин // Вестник с.-х. науки. - 1973. - №3. - С. 66-71.
16. Босый, Н.А. Моделирование технологических поточных линий с помощью ориентированной сети / Н.А. Босый // науч. тр. ВИМ, 1979. - №97. - С. 9.
17. Бочарова, Е.Г. Разработка и обоснование параметров навесного смесителя к трактору-трамбовщику для приготовления силоса в траншеях: автореф. дис. канд. техн. наук / Е.Г. Бочарова. - Саратов, 1985. - 23 с.
18. Боярский, Л. Г. Производство и использование полнорационных кормовых смесей / Л. Г. Боярский. - М.: Колос, 1976. – 240 с.
19. Бровченко, М.И. Кормоприготовительный цех откормочной фермы / М.И. Бровченко, П.С. Стуз // Техника в сел.хоз-ве. - 1980. - №10. – С. 13-14.
20. Бугаева, Л.П. Сравнительная эффективность использования силосных рационов, рассыпных и гранулированных полнорационных кормосмесей при интенсивном выращивании молодняка КРС на мясо: автореф. дис. канд. с.-х. наук / Л.П. Бугаева. - Харьков, 1975. - 27 с.
21. Булавин, С.А. Эффективность применения мобильного кормоприготовительного агрегата / С.А. Булавин, И.И. Воронцов // Техника в сел.хоз-ве. - 1991. - №3. –С.8-9.
22. Бункер-накопитель-дозатор для ферм и комплексов КРС. Информационный листок №791-79 / Е.Е. Хазанов [и др.]. Ленинградский ЦНТИиП. – Л, 1979.
23. Бурмага А. В. и др. Технологическая линия приготовления комбикормов в условиях коллективных и фермерских хозяйств/ А.В. Бурмага [и др.]. - М.: БД НИИТЭИ агропрома, 1996, №95. – 4 с.
24. Бурмага А. В. и др. Энергосберегающая технология и линия подготовки концентрированных кормов к скармливанию/ А.В. Бурмага [и др.]. - М.: БД НИИТЭИ агропрома, 1996, №97. – 4 с.
25. Бурмага А.В., Доценко С.М. Рекомендации по разработке и использованию технологии приготовления полнорационных кормовых смесей с использованием плодов тыквы / А.В. Бурмага, С.М. Доценко. Благовещенск: ДальГАУ, 2012.-26 с.
26. Бурмага, А.В. и др. Комплексная механизация подготовки пресованных кормов к скармливанию / А.В. Бурмага [и др.]. – Благовещенск: ДальГАУ, 2000. –137 с.
27. Бурмага, А.В. Научные основы анализа эффективности приготов-

ления кормов на фермах КРС / А.В. Бурмага // «Механизация и электрификация технологических процессов в с.-х. производстве»: сб. науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 2005. - Вып. 11. - С. 176-183.

28. Бурмага, А.В. Обоснование конструктивно-технологической схемы раздатчика-смесителя стебельных кормов / А.В. Бурмага // Ученые БСХИ - сельскохозяйственному производству. - Благовещенск, 1988. - С. 34-38.

29. Бурмага, А.В. Определение мощности на привод измельчителя корнеклубнеплодов и тыквы / А.В. Бурмага, Е.В. Сохимо, Л.Н. Кравченко // Сб. науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 1996. - С. 7-10.

30. Бурмага, А.В. Совершенствование процесса получения кормовых смесей и обоснование параметров измельчителя-смесителя / А.В. Бурмага, С.М. Доценко, С.В. Корбанев // Вестник КрасГАУ. - 2012. - №2. - С. 182-187.

31. Бурмага, А.В. Совершенствование процессов приготовления и раздачи кормосмесей на фермах крупного рогатого скота / А.В. Бурмага // Проблемы комплексной механизации растениеводства и животноводства на Дальнем Востоке: сб. науч. тр. - Новосибирск, 1991. - С. 131-135.

32. Бурмага, А.В. Совершенствование рабочего процесса и обоснование параметров измельчителя плодов тыквы / А.В. Бурмага, С.М. Доценко, Е.В. Панова // Вестник КрасГАУ. - 2012. - №1. - С. 153-158.

33. Бурмага, А.В. Совершенствование технологического процесса бункерного раздатчика-смесителя кормов для крупного рогатого скота и обоснование параметров его отделяюще-смешивающего органа: автореф. дис. канд. техн. наук / А.В. Бурмага. - Саратов, 1992. - 22 с.

34. Бурмага, А.В. Совершенствование технологического процесса смешивания и раздачи кормов крупному рогатому скоту / А.В. Бурмага, С.М. Доценко. М.: БД НИИТЭИ агропрома, 1996, №98. - 5 с.

35. Бурмага, А.В. Теоретические исследования подачи кормов кормораздатчиком / А.В. Бурмага, Л.Г. Крючкова // Инновационные технологии и разработки в агропромышленном комплексе: матер. междунар. науч.-практ. конф. (Кокшетау, 16-17 февраля 2012г.). - Кокшетау, 2012. - С. 351-356.

36. Бурмага, А.В. Теоретическое исследование движения частиц корма в подбункерном пространстве измельчителя / А.В. Бурмага, Е.В. Сохимо // Сб. науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 2000. - С. 98-105.

37. Бурмага, А.В. Технологии и технические средства подготовки к скармливанию углеводистых кормов / А.В. Бурмага // «Механизация и электрификация технологических процессов в с.-х. производстве»: сб.

науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 2005. – Вып. 11.- С.183-189.

38. Бурмага, А.В. Экспериментальные исследования процесса усреднения температуры кормов / А.В. Бурмага, Е.В. Сохимо // Сб. науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 2000. - С. 105-110.

39. Бусленко, Н.П. Лекции по теории сложных систем / Н.П. Бусленко, В.В. Калашников, И.И. Коваленко. - М.: Советское радио, 1973. - 440 с.

40. Бутенин, Н.В. Курс теоретической механики / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркил. - М.: Наука, 1979. Т. 2. - 380 с.

41. Ваганов, С.П. Эффективность использования раздатчиков кормов в условиях Сибири / С.П. Ваганов //Техника в сел.хоз-ве. - 1978. - №12. – С. 12-15.

42. Василенко, П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. - Киев: Изд-во УАСХИ, 1960. – 189 с.

43. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. - М.: Колос, 1973. - 199 с.

44. Видинеев, Ю.Д. Дозаторы непрерывного действия Ю.Д. Видинеев. - М.: Энергия, 1978. - 184 с.

45. Вольф, В.Г. Статистическая обработка опытных данных / В.Г. Вольф. - М.: Колос, 1966. - 255 с.

46. Врамнец, Н.В. Рекомендации по эффективному использованию машин в поточных линиях раздачи кормов крупному рогатому скоту / Н.В. Врамнец, Н.А. Щербина //Техника в сел.хоз-ве. - 1986. - №6. – С. 18-19.

47. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. - М.: 1963. - 870 с.

48. Гавриков, Е.И. Методы определения экономической эффективности новой техники, опытно-конструкторских разработок и научно-исследовательских работ / Е.И. Гавриков. - Минск.: Высшая школа, 1972. – 92 с.

49. Галкин, А.Ф. Комплексная механизация производственных процессов в животноводстве / А.Ф. Галкин. - М.: Колос, 1974. – 154 с.

50. Голосов, А. И. Факторы, влияющие на однородность смеси / А.И. Голосов //Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1981. - №9. - С. 26-28.

51. Гопка В. В. Теоретические и экспериментальные исследования

рабочего органа бункерных дозирующих кормораздаточных установок: автореф. дис. канд. техн. наук / В.В. Гопка. - М.: 1966. - 29 с.

52. Гопка, В.В. Результаты исследований по выбору рациональных параметров рабочих органов электрифицированных кормораздатчиков / В.В. Гопка, В.С. Краснов // Труды ВИЭСХ. - М.: 1967. Т. 19. - С. 3-29.

53. Горидовец, В. У. Оценка смешивающей способности битерного механизма / В.У. Горидовец // Сб. науч. работ аспирантов (ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР). Минск, 1975. - С. 74-82.

54. Горюшинский, В.С. Теоретические исследования процесса резания корнеклубнеплодов клиновидными ножами / В.С. Горюшинский // Механизация заготовки, приготовления и раздачи кормов. - Саратов, 1983. - С. 24-33.

55. Горячкин, В.П. Собр. соч. / В.П. Горячкин. - М.: Колос, 1968, Т. 1. - 686 с.

56. Грачев, Ю.А. Математические методы планирования экспериментов / Ю.А. Грачев. - М.: Пищевая промышленность, 1979. - 199 с.

57. Данные о ценах на сельскохозяйственную продукцию Амурской области. – Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Амурской области [электронный ресурс]. – режим доступа: URL: <http://www.agroamur.ru/814.Html> (дата обращения 10.11.11).

58. Девяткин, А.И. Выращивание и откорм крупного скота на комплексах / А.И. Девяткин. - М.: Россельхозиздат, 1978. - 184с.

59. Девяткин, А.И. Рациональное использование кормов / А.И. Девяткин. - М.: Россельхозиздат, 1990. - 256с.

60. Дегтерев, Г.П. Справочник по машинам и оборудованию для животноводства Г.П. Дегтерев. - М.: Агропромиздат, 1986. - 224 с.

61. Дмитриченко, А.П. Кормление сельскохозяйственных животных / А.П. Дмитриченко, П.Д. Пшеничный. - Л.: Колос, 1975. - 480 с.

62. Дмитриченко, А.П. Методы нормирования кормления сельскохозяйственных животных / А.П. Дмитриченко. - Л.: Колос, 1970. - 378 с.

63. Доманьков, В.М. Агрегат для очистки и измельчения корнеклубнеплодов / В.М. Доманьков, В.П. Мармалюков, Л.Н. Яковлев // Тракторы и с.-х. машины. - 1988. - №8. - С. 23-25.

64. Дорофеев, Н.С. Двухпоточные кормоцехи / Н.С. Дорофеев, В.И. Ишков // Техника в сел.хоз-ве. - 1985. - №3. - С. 22-24.

65. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. - М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.

66. Доценко, С.М. Бункерный раздатчик-смеситель кормов для крупного рогатого скота/ С.М. Доценко, А.В. Бурмага, В.Ю. Фролов. - Благовещенск, 1993.-3 с.

67. Доценко, С.М. Выбор и расчет линии приготовления и раздачи кормовых смесей / Доценко С.М. //Техника в сел.хоз-ве. - 1989. - №4. - С. 34-36.

68. Доценко, С.М. Измельчитель - дозатор тыквы и корнеклубнеплодов / С.М. Доценко, Я.А. Осипов. Информ. листок Амур. ЦНТИ №63-88. - Благовещенск, 1988. - 2 с.

69. Доценко, С.М. Измельчитель тыквы и корнеклубнеплодов / С.М. Доценко, Я. А. Осипов. Информ. листок Амур. ЦНТИ №20-89. - Благовещенск, 1989. - 2 с.

70. Доценко, С.М. Классификация и анализ устройств для распределения и разравнивания кормов в емкости / Доценко С.М. // Механизация заготовки, приготовления и раздачи кормов. - Саратов, 1982. - С. 123-128.

71. Доценко, С.М. Комплект оборудования для приготовления кормосмесей КРС / С.М. Доценко, А.В. Бурмага, В.Ю. Фролов. - Благовещенск, 1993. - 3 с.

72. Доценко, С.М. Кормораздатчик-смеситель / С.М. Доценко, А.В. Бурмага. - Информ. листок Амур. ЦНТИ №19-88. - Благовещенск, 1988. - 2с.

73. Доценко, С.М. Корморазравнивающее устройство / С.М. Доценко //Техника в сельском хозяйстве, 1983. - №6. - С. 61-62.

74. Доценко, С.М. Линия измельчения и дозирования сочных кормов / С.М. Доценко, Ю.Н. Нагорный, Я.А. Осипов //Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1988. - №10. - С. 18-19.

75. Доценко, С.М. Линия приготовления и раздачи кормовых смесей / С.М. Доценко, Ю.Н. Нагорный, А.В. Бурмага //Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1988. - №11. - С. 29.

76. Доценко, С.М. Малогабаритный агрегат для приготовления и раздачи кормов / Доценко С.М., Херуимов Н.Г. //Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1990. - №4. С. 31-33.

77. Доценко, С.М. Математические модели процесса углеводистых кормов и их анализ / С.М. Доценко, А.В. Бурмага, Е.В. Сохимо // Сб. науч. тр. ДальГАУ.- Благовещенск, 1996. - С. 28-30.

78. Доценко, С.М. Метод определения эффективности механизированного кормления животных / С.М.Доценко, А.В. Бурмага //Техника в

сельском хозяйстве. – 1999. - №5.-С. 32-33.

79. Доценко, С.М. Механико-технологические основы повышения эффективности процессов приготовления и раздачи кормовых смесей животным / С.М. Доценко. – Благовещенск: ДальГАУ, 1995. - 155 с.

80. Доценко, С.М. Механико-технологическое обоснование повышения эффективности процессов приготовления и раздачи кормовых смесей крупному рогатому скоту. автореф. дис. докт. техн. наук /С.М. Доценко. - Саратов, 1994. - 41 с.

81. Доценко, С.М. Обоснование конструктивно-технологической схемы бункера и параметров процесса его загрузки / С.М. Доценко, В.Г. Коба //Техника в сел.хоз-ве. - 1988. -№4. – С.25-26.

82. Доценко, С.М. Определение производительности дискового измельчителя углеводистых кормов / С.М. Доценко, А.В. Бурмага, Е.В. Сохимо //Сб. науч. трудов. - Благовещенск, 1996. - С. 22-23.

83. Доценко, С.М. Оценка эффективности механизированного кормления крупного рогатого скота / С.М.Доценко, А.В. Бурмага //Техника в сельском хозяйстве. - 2012.-№1.-С. 28-30.

84. Доценко, С.М. Очиститель корнеклубнеплодов / С.М. Доценко, И.В. Злыгостев. Информ. листок Амур. ЦНТИ №89-2. - Благовещенск, 1989.- 2 с.

85. Доценко, С.М. Повышение эффективности процессов и средств механизации кормления крупного рогатого скота / С.М. Доценко, А.В. Бурмага //Сб. науч. тр. ДальГАУ - Благовещенск, 1996. - С. 57-61.

86. Доценко, С.М. Повышение эффективности процессов и средств механизации кормления КРС / С.М. Доценко, А.В. Бурмага //Сб. науч. тр. ДальГАУ - Благовещенск, 1997. - С. 24-49.

87. Доценко, С.М. Повышение эффективности ПТЛ приготовления и раздачи кормовых смесей на фермах и комплексах крупного рогатого скота / С.М. Доценко //Тезисы докл. на 2 Амур. обл. науч.-практ. конф. молодых специалистов "Ускорение НТП - забота молодых". - Благовещенск, 1987. – С. 34-37.

88. Доценко, С.М. Поточная технологическая линия приготовления и раздачи кормовых смесей крупному рогатому скоту / С.М. Доценко, Ю.Н. Нагорный. Информ. листок Амур. ЦНТИ №89-3. - Благовещенск, 1989. – 2 с.

89. Доценко, С.М. Поточно-технологическая линия приготовления и раздачи кормов / С.М. Доценко [и др.] //Сб. науч. тр. ДальГАУ - Благовещенск, 1996. - С. 42-46.

90. Доценко, С.М. Производство кормов / С.М. Доценко, А.В. Бурмага // Концепция развития Амурской области. - Благовещенск, 1994. - С. 28-32.

91. Доценко, С.М. Размерные характеристики тыквы / С.М. Доценко, А.В. Бурмага, Е.В. Сохимо // Сб. науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 1996. - С. 24-27.

92. Доценко, С.М. Расчет производительности и выбор числа раздатчиков технологической линии приготовления и раздачи кормовых смесей крупному рогатому скоту / С.М. Доценко. - Сб. науч. тр. Благовещенского сельхозинститута. - Благовещенск, 1989. - №1. – С.54-55.

93. Доценко, С.М. Результаты экспериментальных исследований процесса смешивания и дозирования бункерным раздатчиком-смесителем стебельных кормов / С.М. Доценко, А.В. Бурмага // Проблемы комплексной механизации сельскохозяйственного производства Дальнего Востока. - Благовещенск, 1990. - С. 82-91.

94. Доценко, С.М. Результаты экспериментальных исследований раздатчика-смесителя / С.М. Доценко, А.В. Бурмага // Сб. науч. трудов. – ДальГАУ. - Благовещенск, 1994. - С. 22-26.

95. Доценко, С.М. Рекомендации по применению новых и совершенствованию существующих технических средств в поточных технологических линиях раздачи кормов на фермах и комплексах КРС / С.М. Доценко.-Саратов, 1984. - 24 с.

96. Доценко, С.М. Рекомендации по эффективному использованию мобильных раздатчиков кормов на фермах и комплексах крупного рогатого скота / С.М. Доценко. – Новосибирск: СибИМЭ, 1990. - 33 с.

97. Доценко, С.М. Способы и средства повышения эффективности приготовления и раздачи кормовых смесей крупному рогатому скоту: методические рекомендации / С.М. Доценко, Ю.Н. Нагорный. - Благовещенск, 1988. - С. 14-15.

98. Доценко, С.М. Теоретический анализ работы отделяюще-смешивающего бitera и обоснование его параметров / С.М. Доценко, А.В. Бурмага // Сб. науч. тр. – ДальГАУ. - Благовещенск, 1994. - С. 17-22.

99. Доценко, С.М. Технологическая линия кормления крупного рогатого скота / С.М. Доценко, А.В. Бурмага // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2012.-№1.-С. 15-16.

100. Доценко, С.М. Технология и технические средства для подготовки корнеклубнеплодов и тыквы к скармливанию / С.М. Доценко, Я.А.Осипов. - Новосибирск: СибИМЭ, 1990. - 41 с.

101. Драгайцев, В.И. Методика экономической оценки технологий и машин в сельском хозяйстве / В.И. Драгайцев, Н.М. Морозов. – М.: Колос 2010.-145с.
102. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. - М.: Финансы и статистика, 1987. - 349 с.
103. Егорченков, М.И. Кормоцехи животноводческих ферм / М.И. Егорченков, Н.Г. Шамоу. - М.: Колос, 1983. - 175 с.
104. Ермакова, И.А. Повышение питательной ценности соломы и эффективность ее скармливания жвачным животным / И.А. Ермакова. - М.: Колос 1977. – 112 с.
105. Жабко, В. А. Исследование и обоснование основных параметров для измельчения волокнистых кормовых материалов. автореф. дис. канд. техн. наук / В. А. Жабко. - Минск: 1980. - 24 с.
106. Желиговский, В.А. Экспериментальная теория резания лезвием / В.А. Желиговский // Труды МИМЭСХ. - М., 1940. - Вып. 9. - С. 27.
107. Завалишин, Ф.С. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, Н.Г. Мацнев. -М.: Колос, 1982. - 232 с.
108. Завражнов, А.И. Механизация приготовления и хранения кормов / А.И. Завражнов, Д.И. Николаев. М.: Агропромиздат, 1990. - 336 с.
109. Завражнов, А.М. Технологическое проектирование ферм и комплексов / А.М. Завражнов. Алма-Ата: Кайнар, 1982. - 282 с.
110. Зазимко, В. Г. Оптимизация свойств строительных материалов / В.Г. Зазимко. - М.: 1981. - 104 с.
111. Зафрен, С. Я. Как повысить питательную ценность соломы / С. Я. Зафрен. - М.: Колос, 1972. – 188 с.
112. Земсков, В. И. Методы обеспечения безотказности и эффективности функционирования кормоцехов / В. И. Земсков: автореф. дис. докт. техн. наук. - Л., 1983. – 40 с.
113. Земсков, В.И. Обоснование состава поточных технологических линий кормоцехов в с.-х. / В.И. Земсков, А.В. Алехин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1979. - №4. – С. 12-15.
114. Земсков, В.И. Оптимальная надежность комплектов машин и оборудования кормоцехов / В.И. Земсков //Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1982. - №2. – С.8-10.
115. Земсков, В.И. Оценка эффективности оборудования кормоприготовительных цехов / В.И. Земсков //Механизация и электрификация

социалистического сельского хозяйства, 1980. - №12. – С.18-20.

116. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков. - М.: Машиностроение, 1964. - 303 с.

117. Зяблов, В.А. Экспериментальное и теоретическое исследование рабочих процессов кормоприготовительных машин и их совершенствование / В.А. Зяблов: - доклад, представленный к защите докт. техн. наук. - М.: 1969. – 315 с.

118. Иванов, М.Ф. Полное собрание сочинений / М.Ф. Иванов. - М.: Колос, 1964. - Т. 5. -256 с.

119. Ивашко, А. А. Вопросы теории резания органических материалов лезвием / А.А. Ивашко //Тракторы и сельхозмашины. - 1958. - №2. - С. 34-37.

120. Инструкция по определению годового экономического эффекта, получаемого в сельскохозяйственном производстве от внедрения результатов научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ. М.: 1975. - 144 с.

121. Исаков-Плюхин, В.И. Математическая модель определения оптимальной перспективной системы машин / В.И. Исаков-Плюхин, А.В. Тюленев, Г.М. Кутиков //Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1976. - №11. – С. 28-30.

122. Исследование процессов подготовки корнеплодов к скармливанию с разработкой и изготовлением опытных образцов машин: отчет о НИР /БСХИ. Рук. Доценко С.М.; исполнители: Нагорный Ю.Н., Фролов В.Ю., Осипов Я.А., Курков Ю.Б. - Благовещенск, 1988. – 25 с. Инв. №01880057514.

123. Карташов, Л.П. Механизация и электрификация животноводства / Л.П. Карташов. М.: Колос, 1979. - 351 с.

124. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные машины / Н.И. Кленин, И.О. Попов, В.А. Саун. - М.: Колос, 1970. - 234 с.

125. Клычев, Е.М. Повышение эффективности механизации животноводства/Е.М. Клычев, Е.А. Вагин//Техника в сельском хозяйстве.- 1987.-№9.-С. 29-31.

126. Книга для начинающего исследователя-химика / В.Н Романенко [и др.]. - Л.: Химия, 1987. - 280 с.

127. Коба, В. Г. Анализ технологических операций механизированных процессов раздачи кормов и устройств, предназначенных для выполнения их // Механизация животноводческих ферм: сб. науч. тр. / В.Г. Коба. Саратов, 1977. - Вып. 103. - С. 46-56.

128. Коба, В. Г. К методике расчета экономической эффективности работы раздачи кормов / В. Г. Коба // Механизация работ в животноводстве: сб. науч. тр. - Саратов, 1976. - Вып. 102. - С. 119-124.

129. Коба, В. Г. Машины для раздачи кормов (теория и расчет) / В.Г. Коба. – Саратов: Саратовский СХИ, 1974. - 140 с.

130. Коба, В.Г. Выбор и анализ различных конструкторских схем рыхлителей-подавателей дозирующих устройств для стебельных кормов / В.Г. Коба, Г.М. Обухан // Труды Сиб. отделения ВАСХНИЛ. - Новосибирск, 1970. - Вып. 7. - Т. 1- С. 35-39.

131. Коба, В.Г. Разравниватель стебельных кормов/В.Г. Коба //Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства.- 1978. - №2. - С. 18-20.

132. Коба, В.Г. Теоретическое исследование процесса заполнения кормовой массой бункера дозирующего устройства для грубых и сочных кормов / В.Г. Коба, В.А. Силагин // Механизация работ в животноводстве: сб. науч. тр. - Саратов, 1975. - Вып. 43. - С. 57-66.

133. Коба, В.Г. Технологическое обоснование повышения эффективности работы машин для раздачи кормов животным: автореф. дис. докт. техн. наук / В.Г. Коба. - Челябинск, 1982. - 47 с.

134. Коба, В.Г. Эффективность бункерных раздатчиков кормов / В.Г. Коба, С.М. Доценко //Степные просторы. - 1984. - №3 - С. 38-39.

135. Кормоцех для приготовления полнорационных кормосмесей / Л.Р. Гершенгорен [и др.] //Механизация и электрификация сел.хоз-ва.- 1988.-№11.– С. 18-19.

136. Кормоцехи / В. А. Голиков [и др.]. - Алма-Ата: Кайнар, 1982. – 166 с.

137. Корн, Г. Справочник по высшей математике / Г. Корн, Т. Корн. - М.: Наука, 1970. - 340 с.

138. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и аспирантов / Г. Корн, Т. Корн. - М.: Наука, 1975. – 243 с.

139. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. - М.: Наука, 1977. -831 с.

140. Краснов, В.С. Расчет основных параметров кормовыдающих битером мобильных кормораздатчиков: науч. тр. ВИЭСХ. / В.С. Краснов, В.В. Гопка - - М.: 1967. - Т. 19. -С. 30-57.

141. Краснов, В.С. Совершенствование процесса переработки грубых кормов / В.С. Краснов, Е.И. Резник //Вестник с.-х. науки. - 1980. - №6. - С. 93 -67.

142. Краснов, Д.А. Теоретические основы и расчетные формы определения веса проб / Д.А. Краснов. - М.: Недра, 1969. -124 с.
143. Краюхин, Г.А. Экономическая эффективность изобретений и рационализаторских предложений / Г.А. Краюхин. – Л.: Лениздат, 1983. - 129 с.
144. Кропп, Л.И. Кормоприготовительные цеха для малых ферм / Кропп Л.И., Ковальчук В. А. , Фаянс Ю.А. //Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1989. - №10. – С. 14-17.
145. Крылов, В.М. Полноценное кормление коров / В.М. Крылов, Л.Н. Зинченко, А.И. Толстов. - Л.: Колос, 1987. – 215 с.
146. Крючкова, Л.Г. Анализ конструкций и обоснование конструктивно-технологической схемы кормораздатчика-смесителя / Л.Г. Крючкова, А.В. Бурмага // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: Сб. науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 2001.-Вып.7.- С.93-95.
147. Крючкова, Л.Г. Классификация раздатчиков-смесителей кормов / Л.Г. Крючкова, А.В. Бурмага // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 2000.-Вып.6.-ч. 1.-С.39-42.
148. Крючкова, Л.Г. Кормораздатчик-смеситель / Л.Г. Крючкова, А.В. Бурмага // Сельский механизатор. - 2001. - №6. - С.31.
149. Кукта, Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г.М. Кукта. - М.: Агропромиздат, 1987. - 303 с.
150. Кукта, Г.М. Методика определения неравномерности смешивания кормов / Г.М. Кукта //Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1985. - №1. - С. 44-46.
151. Кукта, Г.М. Технология переработки и приготовления кормов / Г.М. Кукта. - М.: Колос, 1978. - 240 с.
152. Курков, Ю.Б. Поточно-технологическая линия приготовления кормов / Ю.Б. Курков, А.В. Бурмага, В.Ю. Фролов //сб. науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 1995. -С. 54-56.
153. Кутлембетов, А.А. Комплексная механизация ферм по выращиванию и откорму молодняка крупного рогатого скота / А.А. Кутлембетов, А.Н. Борзило, И.Ф. Игнатенко. - М.: Колос, 1982. - 256 с.
154. Куцын, Л.М. Механико-технологические основы создания транспортирующих, дозирующих и смешивающих устройств для приготовления кормов на животноводческих фермах: автореф. дис. докт. техн. наук / Л.М. Куцын. - Ростов-на-Дону, 1982. – 42 с.

155. Ладан, П. Рациональное использование соломы / П. Ладан // Животноводство, 1980. - №10. - С. 33-34.

156. Ламонов, Г.В. Кормоцеха / Г.В. Ламонов, Е.И. Резник. - М.: Россельхозиздат, 1976. - 192 с.

157. Леонтьев, П.И. Технологическое оборудование кормоцехов / П.И. Леонтьев, В.И. Земсков, В.М. Потемкин. М.: Колос, 1984. - 245 с.

158. Лившиц, О.И. Влияние некоторых параметров на стабильность процесса раздачи кормов / О.И. Лившиц, О.Д. Гусаров // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1972. - №5. - С. 18-19.

159. Лившиц, Ю.Л. Влияние угла наклона блока битеров на процесс раздачи корма / Ю.Л. Лившиц, А. А. Омельченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1971. - №9. - С. 43-45.

160. Лившиц, Ю.Л. Определение показателей работы мобильных кормораздатчиков / Ю.Л. Лившиц, И.Д. Губарева // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1975.- №3. - С. 30-32.

161. Лившиц, Ю.Л. Передвижные раздатчики кормов / Ю.Л. Лившиц. - М.: Машиностроение, 1966. - 87 с.

162. Линник, В.С. Эффективность использования рассыпных и гранулированных полнорационных кормосмесей различного состава при интенсивном откорме бычков: автореф. дис. канд. с.-х. наук / В.С. Линник. - Харьков, 1978. - 23 с.

163. Макаров, А.П. Механизация приготовления и раздачи кормов на фермах / А.П. Макаров. - М.: Колос, 1966. - 90 с.

164. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. - М.: Машиностроение, 1973. - 215 с.

165. Маркарян, С.Е. Научные основы инженерного расчета и проектирование животноводческих машин и их комплексов: автореф. дис. докт. техн. наук / С.Е. Маркарян. - Ереван, 1970. - 56 с.

166. Математическая энциклопедия / Виноградов П.А. [и др.]. - М.: Советская энциклопедия, 1963. Т. 3. - 1183 с.

167. Математические методы в исследовании процесса работы бункерных раздатчиков-смесителей кормов: монография / Л.Г. Крючкова [и др.]. - Благовещенск: ДальГАУ. - 2009.-109 с.

168. Матусевич, Б.Е. Машины и оборудование ферм для откорма крупного рогатого скота / Б.Е. Матусевич. - М.: Россельхозиздат, 1983. - 63 с.

169. Машины и оборудование для приготовления кормов: справоч-

ник / И.В. Кулаковский [и др.]. - М.: Росагропромиздат, 1988. - Ч. 2. - 286 с.

170. Машины и оборудование для приготовления кормов: справочник / И.В. Кулаковский [и др.]. - М.: Россельхозиздат, 1987. - Ч. 1. - 242 с.

171. Мельников, С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С. В. Мельников. - Л.: Колос, 1978. - 560 с.

172. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов/С.В. Мельников, В.Р. Алешкин.-Л.: Колос, 1972. – 182 с.

173. Мельников, С.В. Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов / С.В. Мельников. - Л.: Агропромиздат, 1985. - 640 с.

174. Метод оценки качества смешивания кормов / С.М. Доценко [и др.] //Сб. науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 1997. - С. 45-52.

175. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов НИР и ОХР новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. - М.: Колос, 1980. – 45 с.

176. Методика статистической обработки эмпирических данных. РТМ 44-62. - М., 1966. – 74 с.

177. Методические рекомендации по оптимизации комплектов машин и оборудования для реконструируемых животноводческих ферм с использованием математических методов и ЭВМ / В.И. Передня [и др.]. - Запорожье, 1978. –47 с.

178. Методические рекомендации по проектированию и расчету параметров поточных линий подготовки и раздачи кормов на промышленных фермах КРС. - М.: ВИЭСХ. - 1975. - 81 с.

179. Механизация животноводства и кормопроизводства на малой ферме / под ред. Л.П. Кармановского - М.: Агропромиздат, 1989. - 207 с.

180. Механизация животноводческих ферм и комплексов / В.И. Передня [и др.]. - Минск: Ураджай, 1977. – 340 с.

181. Механизация заготовки кормов: опыт хозяйств Литовской ССР / А.М. Дравиникас [и др.]. - М.: Колос, 1983. - 192 с.

182. Механизация и технология производства продукции животноводства/ Коба В.Г [и др.].- М.: Колос, 2000.-528 с.

183. Механизация процессов приготовления и раздачи кормов в условиях малых ферм и фермерских хозяйств / А.В. Бурмага [и др.]. // Сб.

науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 1999. - С. 18-21.

184. Механизация раздачи кормов / Конаков А.П. [и др.]. - М.: Агропромиздат, 1989. - 175 с.

185. Моисеев, П.И. Исследование рабочего процесса дозатора кормов ротационного типа с анализом технологии кормораздачи на фермах КРС в зоне Южного Урала: автореф. дис. канд. техн. наук /П.И. Моисеев.- Челябинск, 1968. - 24 с.

186. Монтгомери, Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных / Д.К. Монтгомери. - Л.: Колос, 1980. - 384 с.

187. Морозов, Н.М. Развитие системы машин для механизации животноводства / Н.М. Морозов //Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1982. - №5. – С. 18-20.

188. Морозов, Н.М. Экономическая эффективность комплексной механизации животноводства / Н.М. Морозов. - М.: Россельхозиздат, 1986. - 224 с.

189. Мусхелишвили, Н.И. Курс аналитической геометрии / Н.И. Мусхелишвили. - М. - Л.: Гос. изд-во технико-теоретич. лит-ры, 1942. - 644 с.

190. Мяндр. А.Э. Кормоприготовительные машины и агрегаты / А.Э. Мяндр. - М.: Машиностроение, 1970. – 310 с.

191. Нагорский, И.С. Моделирование систем управления сельскохозяйственных машин / И.С. Нагорский //Вопросы сельскохозяйственной механики. - Минск: Ураджай, 1981. – 387 с.

192. Налимов, В.В. Теория эксперимента/В.В. Налимов. -М.: Наука, 1971. - 208 с.

193. Новиков, Г.И. Исследование процесса резания корнеплодов / Г.И. Новиков // Труды ВИМ, 1952, Т. 16. - С. 3-26.

194. Новиков, Ю.Ф. Направления исследований в области механизации животноводства / Ю.Ф. Новиков //Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1982. - №9. – С.16-19.

195. Новое в механизации приготовления кормов / Сыроватка В. И. [и др.]. - М.: Колос, 1980. - 60 с.

196. Новожилов, В.В. Проблемы измерения затрат и результатов при оптимальном планировании / В.В. Новожилов. - М.: Наука, 1972. - 434 с.

197. О соковыделении при измельчении корнеплодов //Творческий поиск молодых и научно-технический прогресс: тез.докл. - Куйбышев, 1987. - С. 56-57.

198. Обухан, Г.М. Анализ дозирующих устройств мобильных кормораздатчиков / Г.М. Обухан // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1980. - №7. - С. 26- 27.

199. Обухан, Г.М. Кормораздатчик с автоматическим устройством / Г.М. Обухан, П.В. Зайцев // Техника в сельском хозяйстве.-1975.- №9. - С. 26-27.

200. Обухан, Г.М. Обоснование и исследование конструкции дозирующего устройства для грубых и сочных кормов: автореф. дис. канд. техн. наук / Г.М. Обухан. - Саратов, 1970. - 33 с.

201. Омельченко, А.А. К вопросу о неравномерности раздачи кормов мобильными кормораздатчиками / А.А. Омельченко, Ю.Л. Лившиц // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1970. - №8. - С. 33-54.

202. Омельченко, А.А. Кормораздающие устройства / А.А. Омельченко, Л.М. Куцын. - М.: Машиностроение, 1971. - 208 с.

203. Онищенко, А.М. Критерий оптимизации сельскохозяйственного производства и методы нахождения наиболее эффективных планов по нескольким критериям/А.М. Онищенко.—Киев: институт экономики АН УССР.-1970.— 192 с.

204. Организационно-технологический проект приготовления кормов на фермах и комплексах КРС / Свейко А. И. [и др.]. - М.: Колос, 1989. – 78 с.

205. Особов, В.И. Теоретические основы уплотнения волокнистых растительных материалов/В.И. Особов//Труды ВИСХОМ.-М., 1967.- Вып. 55. - С. 221-265.

206. Оценка качества смешивания кормов / А.В. Бурмага [и др.]. - М.: БД НИИТЭИ агропрома, 1996, №91/10. – 6 с.

207. Оценка процесса смешивания кормов / Г.М. Кукта [и др.] // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства.- 1969. - №2. - С. 48-51.

208. Пахомов, В.С. Расчет технологических показателей комплектов машин и оборудования / В.С. Пахомов, В.Д. Никитин, В.С. Швец // Механизация и электрификация сельского хозяйства. -1986. - №7. – С.32-34.

209. Пелеев, А. И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности / А. И.Пелеев. - М.: Колос, 1971. – 223 с.

210. Передня, В. И. Механизация приготовления кормосмесей / В. И. Передня. – Минск: Ураджай 1982. – 286 с.

211. Передня, В.И. Вместимость раздатчиков-смесителей / В.И. Пе-

редня, В.А. Мацукевич //Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1974. - №7. - С. 51.

212. Передня, В.И. Измельчитель - смеситель кормов ИСК-3 / В.И. Передня, В.А. Жабко, В.Н. Мандрик//Техника в сельском хозяйстве-1981.-№12. – С.23-24.

213. Передня, В.И. Инженерные основы построения технологических линий приготовления комовых смесей / В.И. Передня // Проблемы комплексной механизации и автоматизации кормопроизводства, хранения, приготовления и раздачи кормов животным. - М., 1981. - С. 174-176.

214. Передня, В.И. Использование оборудования КОРК-15 в типовых кормоцехах / В.И. Передня, В.С. Сыманович, Л.И. Кропп //Техника в сельском хозяйстве. - 1982. - №5. – С. 28-30.

215. Передня, В.И. Методика определения количества мобильных раздатчиков В.И. Передня //Механизация и электрификация сельского хозяйства. - Минск: Ураджай, 1976. - Вып. 19. - С. 30-37.

216. Передня, В.И. Механизация приготовления кормов для крупного рогатого скота: Справочник механизатора-животновода / В.И. Передня. - Минск: Ураджай, 1981. – 167 с.

217. Передня, В.И. Настройка оборудования кормоцехов на необходимую производительность / В.И. Передня / Кормопроизводство, 1983. - №11. – С.33-34.

218. Передня, В.И. Определение скорости прохождения корма через измельчитель-смеситель кормов вертикального типа / В.И. Передня // Механизация процессов в земледелии и кормоприготовлении. - Минск, 1983. - С. 124-131.

219. Передня, В.И. Поточные линии приготовления и раздачи кормов / В.И. Передня, П.Г. Веракша. - Минск: Ураджай, 1980. -165 с.

220. Передня, В.И. Приготовление рассыпных полнорационных кормосмесей на базе кормов собственного производства / В.И. Передня. – Гомель: Колос 1981. – 87 с.

221. Передня, В.И. Термохимическая обработка соломы / В.И. Передня, Д.А. Пешко //Сельский механизатор, 1980. - №1. – С.15-18.

222. Передня, В.И. Энергоемкость процесса резания в измельчителе - смесителе типа ИСК-3 / В.И. Передня //Механизация процессов в земледелии и кормоприготовлении. – Минск, 1983. - С. 131-139.

223. Пискунов, Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление / Н.С. Пискунов. - М.: Наука, 1976. - Т. 1. – 445 с.

224. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйст-

венных процессов / Мельников С. В. [и др.]. - Л.: Колос, 1980. - 168 с.

225. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер [и др.]. - М.: Наука, 1976. - 279 с.

226. Повышение технологической эффективности процессов и средств механизации кормления КРС / А.В. Бурмага [и др.]. //Сб. науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 1999. - С. 22-25.

227. Погорелый, Л.В. Научно - методические принципы совершенствования методов испытаний на современном этапе / Л.В. Погорелый // Испытание машин и оборудования для животноводства и кормопроизводства. М., 1981. - Вып. 1. - С. 7-37.

228. Портман, М.Л. Методика оптимального проектирования технологических линий кормоприготовления на животноводческих комплексах / М.Л. Портман //Науч. тр. ВИМ. - М., 1978. - С. 79.

229. Поточная технология силосования зеленых трав с соломой / И. Я. Автомонов [и др.] //Сельское хозяйство России. - 1980. - №6. - С. 45-47.

230. Пошевкин, Ю.Б. Оценка равномерности распределения ингредиентов в кормосмесях / Ю.Б. Пошевкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства - 1980. - №3. - С. 25-28.

231. Приготовление кормов в смесителе непрерывного действия / Г.М. Кукта [и др.] //Техника в сельском хозяйстве - 1972. - №3. - С. 29-31.

232. Приготовление, хранение и раздача кормов на животноводческих фермах /Алябьев Е.В. [и др.]. - М.: Колос, 1977. - 156 с.

233. Программа и методика проведения исследований по разработке системы машин для комплексной механизации животноводства и птицеводства на 1986-1995 гг. и уточнению прогноза развития техники на период до 2000 года. - М.: Колос, 1981. - 214 с.

234. Радченко, Г.Е. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий протекания процесса / Г.Е. Радченко. - Горки, 1978. - 72 с.

235. Разработка и внедрение машин для подготовки кормов к скармливанию крупному рогатому скоту: отчет о НИР /БСХИ. Руководитель работы Доценко С.М. Исполнители: Нагорный Ю.Н., Фролов В.Ю., Бурмага А.В. 01.870091526. -Благовещенск, 1988.

236. Разработка и обоснование параметров ПТЛ приготовления и раздачи кормовых смесей: отчет /ДальНИПТИМЭСХ. Руководитель работы Доценко С.М. Исполнители: Фролов В.Ю., Нагорный Ю.Н., Оси-

пов Я. А., Бурмага А. В., Курков Ю.Б. и др. №ГР 74029566. - Благовещенск, 1990. - 205 с.

237.Расширение технологических возможностей использования высокопитательных кормов / Бурмага А.В. [и др.]. // Сб. науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 1999. - С. 26-29.

238.Резник Е.И. Кормоцехи на фермах / Е.И. Резник. - М.: Россельхозиздат, 1980. – 318 с.

239.Резник, Е.И. В помощь работникам кормоцехов / Е.И. Резник, В.П. Комаров. - М.: Московский рабочий, 1983. – 166 с.

240.Резник, Е.И. Выбор машин и оборудования для стационарных кормоцехов / Е.И. Резник // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1987. -№5.-С. 25-26.

241.Резник, Е.И. Малым фермам - современную кормоприготовительную технику / Е.И. Резник // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1986. - №8. – С. 38-40.

242.Резник, Е.И. Основные тенденции развития конструкций бункерных измельчителей кормов / Е.И. Резник // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1985. - №6. – С 26-27.

243.Резник, Е.И. Развитие зарубежной техники для заготовки, приготовления и раздачи кормов / Е.И. Резник //Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1985. - №1. – С. 35-36.

244.Резник, Е.И. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Е.И. Резник. - М.: Машиностроение, 1975. – 265с.

245.Рекомендации по применению энергосберегающей технологии и технических средств подготовки концентрированных кормов животным / А.В. Бурмага [и др.]. - М.: БД НИИТЭИ агропрома, 1995, №202. – 5 с.

246.Рекомендации по технологии производства говядины. - М.: ВАСХНИЛ, 1980.- 159 с.

247.Рекомендации по технологии производства молока. - М.: ВАСХНИЛ, 1980. – 176 с.

248.Рекомендации по эксплуатации машин и оборудования для приготовления кормов на фермах крупного рогатого скота. - М.: Колос, 1979. – 117 с.

249.Рекомендации по эффективному использованию машин и оборудования в животноводстве / Насыпайко Н.Г. [и др.]. - Тамбов, 1986. - 45 с.

250.Ромазанов, Л.Н. Исследование и совершенствование конструкций рабочих органов для измельчения сочных кормов / Л.Н. Ромазанов:

автореф. дис. канд. техн. наук. - Саратов, 1974. - 24 с.

251. Рунов, Б. А. Основы промышленного откорма в США и Канаде / Б.А. Рунов. - М.: Колос, 1975. - 392 с.

252. Рунов, Б. А. Электромеханизация животноводческих ферм в США / Б.А. Рунов. - М.: Колос, 1966. - 289 с.

253. Рыжов, С.В. Механизация переработки соломы на корм / С.В. Рыжов. - М.: Колос, 1983. - 235 с.

254. Сабликов, М.В. О критической величине угла заземления / М.В. Сабликов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1963. - №2. - С. 36-37.

255. Сажко, Л.И. Выбор массы пробы при определении влажности кормовых смесей / Л.И. Сажко, В.А. Матвиевский // Механизация и электрификация сельского хозяйства - 1986. - №7. - С. 17-18.

256. Самуйло, В.В. Линия по производству муки / В.В. Самуйло, В.Ю. Фролов, А. В. Бурмага. - Сб. науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 1994. - С. 42-45.

257. Самуйло, В.В. Перспективная схема приготовления комбикормов / В.В. Самуйло, А.В. Бурмага. - Сб. науч. тр. ДальГАУ. - Благовещенск, 1995. - С. 77-79.

258. Сечкин, В.С. Заготовка и приготовление кормов в Нечерноземье / В.С. Сечкин, Л.А. Сулима, В.П. Белов. - Л.: Агропромиздат, 1985. - 194 с.

259. Сечкин, В.С. Заготовка и приготовление кормов в Нечерноземье / В.С. Сечкин, Л.А. Сулима, В.П. Белов. - М.: Агропромиздат, 1988. - 205 с.

260. Силагин, В.А. Влияние способа загрузки на работу бункерного дозатора // Механизация и автоматизация животноводческих ферм / В.А. Силагин. - Тамбов, 1972. - С. 42-44.

261. Силагин, В.А. Теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров разравнивающего устройства бункера-дозатора / В.А. Силагин // Механизация и автоматизация животноводческих ферм. - Тамбов, 1972. - С. 34-39.

262. Симарев, Ю.А. Снижение эксплуатационных издержек при использовании машин для приготовления и раздачи кормов / Ю.А. Симарев // Техника в сельском хозяйстве. - 1990. - №5. - С. 30-31.

263. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1986-1995 гг. Ч. 2. Животноводство. - М.: Колос. 1988. - 519 с.

264. Сичкарь, В.Ф. О кормоцехе для малых ферм крупного рогатого скота / В.Ф. Сичкарь, В.В. Гопка // Научно-технический бюллетень ЦНИИТИМЭСЖ. - Запорожье, 1986. - С. 15-20.

265. Смеситель кормов / В.П. Поназанов [и др.] // Техника в сельском хозяйстве - 1987. - №10. - С. 136-37.

266. Смирнов, В.И. Курс высшей математики / В.И. Смирнов. — М.: Высшая школа, 1965. Т. 2. - 380 с.

267. Совершенствование технологического процесса подготовки концентрированных кормов к скармливанию животным / А.В. Бурмага [и др.]. - М.: БД НИИТЭИ агропрома, 1996, №94. - 6 с.

268. Спиридонов, В.П. Математическая обработка физико-химических данных / В.П. Спиридонов, А.А. Лопаткин. М.: Изд. Московского университета, 1970. - 221 с.

269. Справочник по кормлению сельскохозяйственных животных / А.М. Венедиктов [и др.]. - М.: Россельхозиздат, 1983. - 303 с.

270. Справочник по кормлению сельскохозяйственных животных / А.М. Венедиктов [и др.]. - М.: Россельхозиздат, 1989. - 358 с.

271. Справочник по механизации животноводства / С.В. Мельников [и др.]. - Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1983. - 336 с.

272. Старикова, Н.П. Кормление КРС в Приамурье / Н.П. Старикова. - Хабаровск, 1988. - 133 с.

273. Старовойтов, В.Н. Математическое моделирование поточных процессов приготовления и раздачи кормов / В.Н. Старовойтов // Науч. тр. Моск. ин-та инж. с.-х. производства, 1979. - №1. - С. 94-97.

274. Старцев, В.А. Исследование и обоснование параметров дозатора стебельных кормов: автореф. дис. канд. техн. наук / В.А. Старцев. - Челябинск, 1982. - 22 с.

275. Стригунов, М.В. Дозирующие органы для раздачи стебельных кормов / М.В. Стригунов, Е.И. Резник // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1980. - №5. - С. 56.

276. Стригунов, М.В. Оптимизация параметров и режимов процесса приготовления кормовых смесей / М.В. Стригунов // Тракторы и с.-х. машины. - 1985. - №10. - С. 21-22.

277. Сухоруков, В.В. Стабильность дозирования кормов раздатчиком типа КТУ-10 / В.В. Сухоруков // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1976. - №10. - С. 22-24.

278. Сыроватка, В.И. Механизация приготовления кормов. В.И. Сыроватка, А.В. Демин, А.Х. Джалилов. - М.: Агропромиздат, 1985. - 287

с.

279. Сыроватка, В.И. Реконструкция молочных ферм - важный резерв увеличения продукции / В.И. Сыроватка, Ю.А. Цой // Техника в сельском хозяйстве. - 1983. - №5. - С.34-35.

280. Технологические линии на молочных комплексах и фермах / И.К. Винников [и др.]. - М.: Россельхозиздат, 1982. - 157 с.

281. Титенок, А. В. Повышение эффективности процесса измельчения корнеплодов режущими элементами: автореф. дис. канд. техн. наук / Титенок А. В.. - Саратов, 1988. - 24 с.

282. Тихомиров, В. Б. Планирование и анализ эксперимента / В.Б. Тихомиров. - М.: Легкая индустрия, 1974. - 111 с.

283. Тишанинов, Н.П. Повышение эффективности использования техники в животноводстве / Н.П. Тишанинов // Техника в сельском хозяйстве. - 1991. - №3. - С. 34 -35.

284. Тищенко, М.А. Выбор оборудования для кормовых линий ферм крупного рогатого скота / М.А. Тищенко // Техника в сельском хозяйстве. - 1989. - №4. - С. 27-28.

285. Тот, Л. Эффективность использования кормосмесителей-раздатчиков на скотоводческих фермах / Л. Тот // Международный сельскохозяйственный журнал. - 1976. - №1. - С. 91-95.

286. Уайлд, Д. Дж. Методы поиска экстремума / Д. Дж. Уайлд. - М.: Наука, 1967. - 234 с.

287. Уланов И. А. Машины для смешивания, гранулирования и тепловой обработки кормов (теория и расчет) / И. А. Уланов. Саратов: Саратовский СХИ, 1977. - 40 с.

288. Уланов, И.А. Исследование технологического процесса приготовления смесей из грубых и сочных кормов: автореф. дис. канд. техн. наук / И.А. Уланов. Саратов, 1965. -26 с.

289. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений. - М.: Колос, 1970. - 423 с.

290. Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления / Г.М. Фихтенгольц. - М.: Наука, 1966. Т. 1. - 633 с.

291. Фурса, И.И. Оценка качества смешивания кормов / И.И. Фурса // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - Киев, 1978. - Вып. 43. - С. 50-56.

292. Хабибулин М.Г. Исследование рабочего процесса и обоснование параметров для кормоцехов: автореф. дис. канд. техн. наук / М.Г. Хабибулин. - Саратов, 1978. - 24 с.

293. Хазанов, Е.Е. Повышение равномерности раздачи корма мобильными машинами / Е.Е. Хазанов, Н.К. Александров // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1971. - №12. - С. 27-28.

294. Херуимов, Н. Г. Кормоприготовительное отделение малой фермы / Н.Г. Херуимов, Ю.Н. Нагорный, А.В. Бурмага // Проблемы комплексной механизации растениеводства и животноводства на Дальнем Востоке: сб. науч. тр. - Новосибирск, 1991. - С. 129-131.

295. Хлыстунов, В.Ф. Об использовании электрофизических свойств кормосмесей в анализах их однородности / В.Ф. Хлыстунов, В.А. Малахов // Исследование и разработка высокопроизводительных технических средств в кормопроизводстве. - Зеленоград, 1982. - 171 с.

296. Черкун, В. Я. Типаж кормоцехов для животноводческих ферм / В.Я. Черкун // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1982. - №9. - С.45-46.

297. Шакиров, Г.Н. Исследования рабочего процесса и обоснование параметров бункерного раздатчика кормов для крупного рогатого скота: Автореф. дис. канд. техн. наук / Г.Н. Шакиров. - Саратов, 1977. - 26 с.

298. Шамов, Н.Г. Технологическая линия обработки корнеклубнеплодов / Н.Г. Шамов // Техника в сельском хозяйстве. - 1985. - №8. - С. 38.

299. Шаршунов, В.А. Модернизированный измельчитель-смеситель ИСК-3,0/В.А. Шаршунов, О.А. Бобер//Техника в сельском хозяйстве.- 1987.-№8.С. 39.

300. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента/Х. Шенк. М.:Мир, 1972.-381с.

301. Шпагин, Н.Г. Методика и результаты отсеивающих экспериментов при исследовании барабанного смесителя кормов/Н.Г. Шпагин//Механизация заготовки, приготовления и раздачи кормов: сб. науч. работ.-Саратов, 1981. - С. 89-100.

302. Шуткин, А.П. Влияние распределения массы корма в емкости на равномерность выгрузки механизмом типа ПТУ-10К / А.П. Шуткин // Подготовка и раздача кормов на фермах. - Киев, 1971. - С.44-49.

303. Шуткин, А.П. Факторы, влияющие на равномерность выгрузки измельченной соломы дозирующим механизмом / Шуткин А.П. // Комплексная механизация животноводческих ферм. - Киев, 1977. - Вып. 195.

304. Элли, А.Я. Анализ, классификация и оценка существующей системы машин для измельчения корнеклубнеплодов / А.Я. Элли. - Улья-

новск: УСХИ 1977. – 144 с.

305. Эрнст, Л.К. Производство и использование полнорационных кормовых смесей / Л.К. Эрнст. - М.: Колос, 1976. – 266 с.

306. Эффективное использование мобильных раздатчиков кормов на фермах и комплексах крупного рогатого скота: метод. Рекомендации / Доценко С.М. [и др.]. – Новосибирск: СибИМЭ, 1990. - 32 с.

307. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики А.А. Яблонский. - М.: Высшая школа, 1977. Ч. 2. – 348 с.

308. Яворский, Т.М. Причины неравномерной раздачи кормов прицепными кормораздатчиками / Т.М. Яворский // Техника в сельском хозяйстве. - 1965. - №2. – С.24.

309. Ясеницкий, В.А. О применении раздатчиков-смесителей / В.А. Ясеницкий, А.О. Бацюк // Молочное и мясное скотоводство. - 1980. - №10. – С. 23.

310. Ясеницкий, В.А. Основные направления развития механизации кормопроизводства / В.А. Ясеницкий // Испытания машин и оборудования для животноводства. ВНИИМОЖ. М, 1981. – Вып. 1. – С. 77-79.

311. Бурмага, А.В. Критерий и условие оптимизации механизированной системы кормления животных / А.В. Бурмага // Современные проблемы науки и образования: электр. науч. журн. - 2012. - №1. URL: <http://www.science-education.ru/101-5396> (дата обращения 31.01.12).

312. Патент РФ № 2124283. Измельчитель тыквы и корнеклубнеплодов / С.М. Доценко [и др.]. Оpubл. В БИ, 1999. - №1.

313. А. с. №914007 (СССР). Питатель раздатчика длинностебельчатых кормов / М.Г. Голиков, Т. Абилжанов. - Оpubл. в Б.И. - 1982. - №11.

314. А.с. №1281228 (СССР). Питатель стебельчатых кормов / А.Л. Охрименко, И.Б. Заярузный, Г. С. Мовчан [и др.]. - Оpubл. в Б.И. - 1987. - №1.

315. А. с. №1419632 (СССР). Погрузчик-раздатчик кормов / М.А. Тищенко, С.К. Филатов, В.И. Суворов, Ю.Г. Либанов. - Оpubл. в Б.И. - 1988. - №32.

316. А.с. №1482623 (СССР). Подаватель корма / Л.М. Куцын, А.И. Герасименко, Д.К. Костенко. - Оpubл. в Б.И. - 1989. - №20.

317. А.с. №793473 (СССР). Измельчитель кормов / В.П. Глухих. - Оpubл. в Б.И. - 1981. №1.

318. А. с. №869669 (СССР). Измельчитель материалов / А.Н. Бочаров, Э.А. Цебоев. - Оpubл. в Б.И. - 1981. - №37.

319. А.с. №893176 (СССР). Измельчитель длинностебельчатых кормов / Л.Н. Солодов, И.А. Головченко, И.А. Никифоров [и др.]. - Оpubл. в Б.И. - 1981. - №48.

320. А.с. №1009330 (СССР). Рабочий орган измельчителя корнеклубнеплодов / С.В. Кравчук. - Оpubл. в Б. И. - 1983. - №13.

321. А.с. №1021412 (СССР). Измельчитель кормов / В.У. Горидовец, Л.В. Москаленко, М.Ф. Садовский. - Оpubл. в Б.И. - 1983. - №21.

322. А.с. №1050605 (СССР). Центробежный измельчитель корнеклубнеплодов / А.В. Киселев, Л. С. Воронин. - Оpubл. в Б.И. - 1983. - №40.

323. А.с. №1053781 (СССР). Устройство для резки корнеклубнеплодов / В.А. Сысоев, А.Б. Русаков. - Оpubл. в Б.И. - 1983. - №42.

324. А.с. №1189388 (СССР). Устройство для измельчения растительного сырья / Н.П. Маковина, В.С. Короневский, Н.Ф. Загута. - Оpubл. в Б.И. - 1985. - №41.

325. А.с. №1195948 (СССР). Измельчитель корнеплодов и бахчевых / В.С. Горюшинский, В.А. Богатов, Е.М. Клычев. - Оpubл. в Б.И. - 1985. - №45.

326. А.с. №1242049 (СССР). Устройство для измельчения корнеклубнеплодов / П.В. Гончаренко [и др.]. - Оpubл. в Б.И. - 1986. - №25.

327. А. с. №1371611 (СССР). Измельчитель корнеплодов и бахчевых / В. А. Богатов [и др.] - Оpubл. в Б.И. - 1988. - №5.

328. А.с. №1414354 (СССР). Измельчитель-смеситель / С.М. Доценко, Ю.Н. Нагорный, А.В. Бурмага. - Оpubл. в Б.И. - 1988. - №29.

329. А.с. №1496701 (СССР). Измельчитель корнеклубнеплодов. / В.Г. Фарносов [и др.]. - Оpubл. в Б.И. - 1989. - №28.

330. А.с. №1496731 (СССР). Кормораздатчик-смеситель / Е.И. Храпач, А. Л. Охрименко. - Оpubл. в Б.И. - 1989. - №28.

331. А.с. №1607741 (СССР). Устройство для измельчения бахчевых и корнеплодов / С.М. Доценко, Ю.Н. Нагорный, Я.А. Осипов. - Оpubл. в Б.И. - 1990. - №43.

332. А.с. №609522 (СССР). Делитель потока корма к кормораздатчикам / А.И. Горбулин. - Оpubл. в Б. И. - 1978. - №21.

333. А.с. №721029 (СССР). Распределитель сыпучих материалов / В.С. Андрушук, З.Ф. Каптур. - Оpubл. в Б.И. - 1980. - №10.

334. А.с. №808062 (СССР). Распределитель корма к бункеру-дозатору / А.А. Артюшин [и др.]. - Оpubл. в Б.И. - 1981. - №8.

335. А.с. №895349 (СССР). Устройство для распределения измельченного растительного материала/В.Ф. Кузьменко, Е.И. Храпач - Оpubл. в Б.И. - 1982. - №1.

336. А.с. №1033092 (СССР). Устройство для разравнивания кормов. / С.М. Доценко, В.Г. Коба. - Оpubл. в Б.И. - 1983. - №29.

337. А.с. №1041472 (СССР). Устройство для распределения материала в емкости / С.М. Доценко, В.Г. Коба. - Оpubл. в Б.И. - 1983. - №34.

338. А.с. №1058545 (СССР). Устройство для распределения кормов / С.М. Доценко, В.Г. Коба. - Оpubл. в Б.И. - 1983. - №45.

339. А.с. №1069733 (СССР). Устройство для распределения кормов / С.М. Доценко. - Оpubл. в Б.И. - 1984. - №4.

340. А.с. №1088798 (СССР). Устройство для разравнивания кормов / С.М. Доценко. - Оpubл. в Б.И. - 1984. - №11.

341. А.с. №1085577 (СССР). Устройство для распределения кормов в емкости / С.М. Доценко. - Оpubл. в Б.И. - 1984. - №14.

342. А.с. №1109095 (СССР). Устройство для распределения кормов / С.М. Доценко, В.Г. Коба. - Оpubл. в Б.И. - 1984. - №31.

343. А.с. №1271467 (СССР). Разравнивающее устройство/ С.М. Доценко, Г.Н. Чупак, А.В. Кокшаров. - Оpubл. в Б.И. - 1986. - №43.

344. А.с. №1347914 (СССР). Установка для распределения кормов / С.М. Доценко, Ю.Н. Нагорный. - Оpubл. в Б.И. - 1987. - №40.

345. А.с. №1360667 (СССР). Устройство для распределения кормов / С.М. Доценко, Ю.Н. Нагорный. - Оpubл. в Б.И. - 1987. - №47.

346. А.с. №1366125 (СССР). Установка для распределения кормов / С.М. Доценко, Ю.Н. Нагорный. - Оpubл. в Б.И. - 1988. - №2.

347. А.с. №314496 (СССР). Мобильный кормораздатчик / В.И. Воронин. - Оpubл. в Б.И. - 1971. - №28.

348. А.с. №378207 (СССР). Кормораздатчик / А.П.Яворский, В.И. Дрюков. - Оpubл. в Б.И. - 1973. - №19.

349. А.с. №477768 (СССР). Кормораздатчик / Г.М. Обухан, П.В. Зайцев. - Оpubл. в Б.И. - 1975. - №27.

350. А.с. №520083 (СССР). Питатель-дозатор кормов / Ю.Л. Лившиц, И.Д. Губарева. - Оpubл. в Б.И. - 1976. - №25.

351. А.с. №550149 (СССР). Кормораздатчик / Д.М. Москаленко, М.С. Ляшенко, А.В. Полтавец. - Оpubл. в Б.И. - 1977. - №10.

352. А.с. №620254 (СССР). Кормораздатчик / А.С. Федоров, С.А. Булавин. - Оpubл. в Б.И. - 1978. - №31.

353. А.с. №701615 (СССР). Кормораздатчик / А.С. Федоров, С.А. Булавин. - Оpubл. в Б.И. - 1979. - №10.

354. А.с. №694153 (СССР). Кормораздатчик / В.Г. Кулагин. - Оpubл. в Б.И. - 1979. - №40.

355. А.с. №695626 (СССР). Кормораздатчик/ А.Г. Газизов, И.В. Алексеев, А.Д. Погуляев. - Оpubл. в Б.И. - 1979. - №41.

356. А.с. №707549 (СССР). Дозатор к кормораздатчикам / Ф.В. Нагайкин, В.Г. Мулюкин. - Оpubл. в Б. И. - 1980. - №1.

357. А.с. №812245 (СССР). Кормораздатчик / Ф.В. Нагайкин, В.Г. Мулюкин, И.Я. Автомонов. - Оpubл. в Б.И. - 1981. - №10.

358. А.с. №843887 (СССР). Кормораздатчик / М.А. Тищенко, С.К. Филатов, М.Ф. Сергеев, В.А. Максименко, Р.К. Бенсонс. - Оpubл. в Б.И. - 1981. - №25.

359. А.с. №806861 (СССР). Кормораздатчик / В.А. Храпалов. - Оpubл. в Б.И. - 1981. - №45.

360. А.с. №959710 (СССР). Раздатчик кормов / В.В. Сухоруков, Ю.Ф. Новиков, Е.И. Храпач. - Оpubл. в Б.И. -1982. - №35.

361. А.с. №993891 (СССР). Кормораздатчик длинностебельчатых кормов / А.Н. Морозов, Н.К. Вазенмиллер, Ван-Дэ-Фу. - Оpubл. в Б.И. - 1983. - №5.

362. А.с. №1107812 (СССР). Электрифицированный раздатчик / Г.М. Обухан, А.П. Петров. - Оpubл. в Б.И. - 1984. - №30.

363. А.с. №1130288 (СССР). Устройство для раздачи кормов / В.Г. Коба - Оpubл. в Б.И. - 1984. - №47.

364. А.с. №1143355 (СССР). Устройство для раздачи кормов / В.Г.Коба, В.Ф. Дмитриев. - Оpubл. в Б. И. - 1985. - №9.

365. А.с. №1253544 (СССР). Кормораздатчик / А.П. Петров. - Оpubл. в Б.И. - 1986. - №32.

366. А.с. №1281227 (СССР). Раздатчик стебельчатых кормов / А.Л. Охрименко, А.В. Василенко, В.М. Ковальчук. - Оpubл. в Б.И. - 1987. - №1.

367. А. с. №1337012 (СССР). Кормораздатчик / А.П. Петров, В.Г. Коба, Г.М. Обухан - Оpubл. в Б. И. - 1987. - №34.

368. А.с. №1335218 (СССР). Раздатчик стебельных кормов / С.М. Доценко. - Оpubл. в Б.И. - 1987. - №33.

369. А.с. №1417847 (СССР). Кормораздатчик / А.П. Петров. - Оpubл. в Б.И. - 1988. - №31.

370. А.с. №1489666 (СССР). Раздатчик кормов / Ю.А. Фаянс [и др.]. - Опубл. в Б.И. - 1989. - №24.

371. А.с. №1662454 (СССР). Самозагружающийся кормораздатчик / С.М. Доценко, Н.Г. Херуимов. - Опубл. в Б.И. - 1991. - №26.

372. А.с. №1690632 (СССР). Кормораздатчик-смеситель / С.М. Доценко, Н.Г. Херуимов. - Опубл. в Б. И. - 1991. - №42.

373. А.с. №1248573 (СССР). Кормораздатчик-смеситель. / С.М. Доценко, И.Н. Лебедев - Опубл. в Б.И. - 1986. - №29.

374. А.с. №1327858 (СССР). Способ смешивания и выдачи корма животным и устройство для его осуществления / С.М. Доценко. - Опубл. в Б.И. - 1987. - №29.

375. А.с. №1351547 (СССР). Кормораздатчик-смеситель / С.М. Доценко. - Опубл. в Б.И. - 1987. - №42.

376. А.с. №1371652 (СССР). Кормораздатчик-смеситель / С.М. Доценко. - Опубл. в Б.И. - 1988. - №5.

377. А.с. №1382454 (СССР). Раздатчик-смеситель кормов / С.М. Доценко. - Опубл. в Б.И. - 1988. - №11.

378. А.с. №1410926 (СССР). Раздатчик-смеситель кормов / И.Н. Краснов, П.В. Сидоренко, В.А. Рубанников, А. Г. Сергиенко. - Опубл. в Б.И. - 1988. - №27.

379. А.с. №1419637 (СССР). Раздатчик-смеситель / С.М. Доценко, А. В. Бурмага. - Опубл. в Б. И. - 1988. - №32.

380. А.с. №1428320 (СССР). Кормораздатчик-смеситель / С.М. Доценко, А.В. Бурмага. - Опубл. в Б. И. - 1988. - №37.

381. А.с. №1456072 (СССР). Раздатчик-смеситель / С.М. Доценко, А.В. Бурмага. - Опубл. в Б. И. - 1989. - №5.

382. А.с. №1498439 (СССР). Раздатчик-смеситель / С.М. Доценко, А.В. Бурмага. - Опубл. в Б. И. - 1989. - №29.

383. Blende, H. Die technische tinrishment zur an libim- tbtterung beim Schwein / H. Blende. - Landtechnir, 1972, 27, №8, 163-165.

384. Per-Curan, K. Means for increased feed efficlincy in large for increased feed efficlincy in large scale cattle production / K. Per-Curan. // Souiet - Swedish Symposium on problems in large scale cattle and pig husbandry. Ainarp, sept. 12-14, 1973. Agricultural college, Sweden Department of Animal Husbandry Rapport nr. 31, 1975.

385. Maler, J. Deike at var prurezu Gastle Slamu do mochhanlake upratve / J. Maler. - Zemed Techn., 1983. h. 229; 252-540.

386. Haltunga - teknikilr die Rinder - und Sweine –Preduktionen // Agrartechnik. – 1984. -№12. - S. 544-550.

387. Pat 3979077 (USA). Taarup Yeragen hasnew cutting concept // The Scettlah Yarmer, 1983.- 90.3:62.370. Plapenaing apparatus tevcireu-lar hau beles /Dalman Denalds. Bor c 18/02.

388. Pat. 4087051 (USA) Camainu-tag apparatus / Meel-ler charlee E. B 02c13/04

389. Acroff, R.L. M.W. Fundamentals of operation research / R.L. Acroff, M.W. Sasieni. - London, 1968. - h. 3-20.

390. Guyer, Q. Low gabity teeds tuts - alternatives to guin for but ration / Q. Guyer. J. Anim. sci. - 1976. - p. 778-782.

391. Piatkowski B. Now Ergebnisse zun besseren Nutzung von feuchtau fgeschlosseenem Getzeidestroh mit Natronlange. Fierrucht. - 1974. - №8 - 371.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1 СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМЕ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ВЫДАЧИ ПОЛНОРАЦИОННЫХ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ КРУПНОМУ РОГАТОМУ СКОТУ. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	5
1.1 Эффективность кормления жвачных животных полнорационными кормовыми смесями	5
1.2 Существующие технологии приготовления и раздачи полнорационных кормовых смесей на фермах крупного рогатого скота и их анализ.....	10
1.3 Технологии и средства механизации подготовки углеводистых кормов к скармливанию крупному рогатому скоту и их анализ	15
1.3.1 Характеристика углеводистых кормов и технологические схемы их подготовки к скармливанию	15
1.3.2 Конструктивно-технологические схемы питателей кормовых компонентов и их анализ	17
1.3.3 Технические средства, применяемые для измельчения углеводистых кормов и их анализ	26
1.3.4 Классификация бункерных раздатчиков-смесителей и анализ их рабочих органов	44
1.3.5 Анализ технологических схем заполнения емкости бункера раздатчика-смесителя.....	51
1.4 Обзор научных исследований процессов подачи, измельчения, смешивания и дозированной выдачи кормов	55
1.4.1 Обзор научных исследований по изучению процесса подачикормовых продуктов.....	55
1.4.2 Обзор научных исследований по изучению процесса измельчения плодов	58
1.5 Обзор и анализ научных исследований рабочего процесса бункерных раздатчиков-смесителей	61
1.5.1 Обзор и анализ научных исследований процесса отделения и смешивания кормов бункерными раздатчиками	61
1.5.2 Обзор научных исследований процесса дозированной выдачикормов бункерными раздатчиками	63
1.6 Анализ существующих методов оценки качества смесей	67

Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПО ОБОСНОВАНИЮ 74

ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОРМЛЕНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ПОЛНОРАЦИОННЫМИ КОРМОВЫМИ СМЕСЯМИ..... 74

- 2.1 Обоснование экономико-математической модели оценки
эффективности механизированного кормления крупного рогатого
скота полнорационными кормовыми смесями 74
- 2.2 Теоретические предпосылки к обоснованию конструктивно-
технологической схемы и параметров питателя плодов тыквы 85
- 2.3 Обоснование схемы и конструктивно-режимных параметров
измельчителя плодов тыквы 90
 - 2.3.1 Мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения 100
 - скольжения плодов тыквы по поверхности диска 100
 - 2.3.2 Производительность измельчителя плодов тыквы 102
 - 2.3.3 Мощность, затрачиваемая на выбрасывание частиц стружки
продукта через отверстия диска 105
 - 2.3.4 Мощность, затрачиваемая на весь процесс измельчения
плодов тыквы 105
 - 2.3.5 Удаление частиц плодов тыквы в поддиское пространство... 106
 - 2.3.6 Движение частиц тыквы в поддисковом пространстве 109
- 2.4 Теоретические аспекты по оценке процесса заполнения бункера
мобильного раздатчика кормовым продуктом 115
 - 2.4.1 Теоретические предпосылки к оценке качества формирования
кормового монолита в бункере мобильного раздатчика 118
 - 2.4.2 Теоретические предпосылки к оценке влияния способа
и параметров формирования кормового монолита в бункере
мобильного раздатчика-смесителя на его смешивающую
способность..... 127
- 2.5 Теоретические аспекты по обоснованию параметров процесса
отделяюще-смешивающего органа раздатчика 136
 - 2.5.1 Обоснование затрат мощности на осуществление процессов
отделения и смешивания кормов битем 149

Глава 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ 152

- 3.1 Определение физико-механических свойств кормовых компонентов 152
- 3.2 Обоснование параметров питателя плодов тыквы 157

3.3 Обоснование параметров процесса измельчения плодов тыквы дисковым измельчителем	159
3.4 Обоснование параметров процесса заполнения бункера мобильного раздатчика-смесителя	165
3.5 Влияние длины частиц на однородность получаемой смеси	172
3.6 Определение конструктивно - режимных параметров отделяюще-смешивающего органа раздатчика-смесителя	173
3.6.1 Результаты экспериментального отсеивания факторов	173
3.6.2 Получение математических моделей, описывающих процессы смешивания компонентов и дозирования кормовой смеси	173
3.7 Результаты исследования подачи и потребной мощности раздатчика-смесителя	176
3.8 Результаты исследований оценочных показателей работы раздатчика-смесителя от его параметров	178
Глава 4 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ПО ПРИГОТОВЛЕНИЮ И РАЗДАЧЕ ПОЛНОРАЦИОННЫХ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЫКВЫ	187
4.1 Методика расчета питателя плодов тыквы	190
4.2 Методика расчета параметров измельчителя плодов тыквы	190
4.3 Методика расчета параметров процесса заполнения бункера раздатчика-смесителя	190
4.4 Методика расчета параметров раздатчика-смесителя	193
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	197

*Бурмага Андрей Владимирович,
Доценко Сергей Михайлович*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ
КОРМЛЕНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ПОЛНОРАЦИОННЫМИ
КОРМОВЫМИ СМЕСЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЫКВЫ

Монография

*Редактор А.И. Каземова
Компьютерная верстка Н.Н. Федотовой*

Лицензия ЛР 020427 от 25.04.1997 г.
Подписано к печати 15.10.2012 г. Формат 60×90/16.
Уч.-изд.л. – 10,6. Усл.-п.л. – 14,8.
Тираж 500 экз. Заказ 192.

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии издательства ДальГАУ
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86