

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

С. Н. Воякин

***ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ
И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ
ГРАНУЛИРОВАННЫХ КОРМОВ ДЛЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ***

Монография

Благовещенск
Дальневосточный ГАУ
2023

УДК 631.363:636.085.62

ББК 40.715

В79

Рецензенты:

*Виктор Вацлавович Самуйло, доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры эксплуатации и ремонта
транспортно-технологических машин и комплексов*

*Дальневосточного государственного аграрного университета
Роини Леванович Шарвадзе, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
декан факультета ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологий
Дальневосточного государственного аграрного университета*

*Рекомендовано к печати научно-техническим советом
Дальневосточного государственного аграрного университета*

**Воякин, С. Н. Обоснование технологий и технических средств
В79 приготовления гранулированных кормов для сельскохозяйственной птицы:** монография / С. Н. Воякин ; Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2023. – 266 с.

DOI 10.22450/9785964205630

ISBN 978-5-9642-0563-0

В монографии рассмотрены вопросы повышения эффективности кормления сельскохозяйственной птицы за счет обоснования технологий и средств для приготовления корма. Проведен анализ существующих технологий и технических средств приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы. Предложены технологии производства кормов для сельскохозяйственной птицы с использованием местного сырья и семян сои.

Монография предназначена для работников научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, специалистов агропромышленного комплекса, студентов бакалавриата, магистратуры и аспирантов, занимающихся вопросами кормления сельскохозяйственной птицы.

УДК 631.363:636.085.62

ББК 40.715

ISBN 978-5-9642-0563-0

DOI 10.22450/9785964205630

© Воякин С. Н., 2023

© ФГБОУ ВО Дальневосточный

государственный аграрный университет, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	6
1 Проблема повышения эффективности приготовления кормовых добавок в птицеводстве	8
1.1 Краткая характеристика отрасли птицеводства в России.....	8
1.2 Виды кормовых добавок и их характеристика	13
1.3 Существующие технологии переработки отходов убоя птицы и их анализ	15
1.4 Существующие технологические процессы обработки отходов рыбной промышленности и их анализ	18
1.5 Характеристика сои как высокобелкового кормового компонента и эффективность ее использования в кормлении сельскохозяйственной птицы.....	28
1.6 Способы, технологии и технические средства получения гранулированных кормовых смесей, и их анализ.....	42
1.7 Обзор научных исследований по изучению процессов получения кормовых продуктов и добавок.....	57
1.7.1 Краткий обзор исследований процесса переработки отходов убоя .	57
1.7.2 Краткий обзор исследований процесса получения гранулированных кормосмесей	62
Выводы.....	73
2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности	75
2.1 Разработка и обоснование способа оценки функционирования системы приготовления высокобелкового гранулята	75
2.2 Обоснование аналитической модели получения белково-минерального и белково-витаминного кормового продукта в виде сушеного гранулята ..	80
2.3 Теоретические основы процесса приготовления кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы.....	92
2.3.1 Теоретические основы по обоснованию параметров процесса получения пастообразных продуктов при двухстадийном измельчении .	92

2.3.2 Теоретические основы по обоснованию смешивающе-усредняющей способности подсистемы «смеситель-усреднитель – пресс-гранулятор»	104
2.3.3 Теоретические предпосылки к обоснованию способа повышения качественных показателей процесса усреднения влаги в подсистеме СУ–ПГ	118
2.3.4 Обоснование параметров процесса дополнительного усреднения влаги в пресс-грануляторе.....	124
2.3.5 Теоретические основы по обоснованию параметров процесса уплотнения физико-химической системы в виде бинарной композиции	132
2.3.6 Обоснование параметров пресс-гранулятора.....	139
2.3.7 Теоретические основы по обоснованию параметров процесса сушки влажного гранулята.....	145
Выводы	155
3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы.....	157
3.1 Результаты исследований по определению физико-механических свойств исходного сырья.....	157
3.2 Результаты исследований процесса получения пастообразных компонентов на основе исходного сырья животного и растительного происхождения	160
3.2.1 Влияние конструктивно-технологических параметров измельчителя на величину неоднородности состава пасты и энергоемкость процесса измельчения	160
3.2.2 Обоснование влияния конструктивно-технологических параметров измельчителя-пастоизготовителя на физико-механические свойства пасты.....	172
3.3 Исследование функциональных и реологических характеристик бинарных композиций на основе соевого и животного сырья.....	178
3.4 Исследование технологических и реологических характеристик бинарных композиций на основе растительного сырья (соевого и травяного).....	184
3.5 Результаты исследований процессов одновременного смешивания и усреднения влаги в бинарных кормовых композициях	189
3.5.1 Зависимость неоднородности усреднения влаги бинарной композиции от массовых долей.....	189

3.5.2	Определение влияния параметров процессов одновременного смешивания и усреднения влаги в бинарных кормовых композициях...	192
3.6	Результаты исследований процесса получения влажных гранул	
3.6.1	Определение влияния конструктивно-технологических параметров винтового пресс-гранулятора на плотность влажных гранул	198
3.6.2	Определение влияния конструктивно-технологических параметров на физико-механические свойства пасты	201
3.7	Результаты исследования процесса сушки влажных гранул	
3.7.1	Влияние параметров сушки влажных гранул на крошимость и энергоемкость процесса сушки	206
3.7.2	Определение влияния параметров процесса сушки на прочность гранул.....	209
3.8	Практическая реализация результатов исследований и рекомендации для аграрного производства.....	215
	Выводы.....	216
4	Производственная проверка основных результатов исследований, их технико-экономическая оценка и методика расчета технологической линии приготовления белково-минерального гранулята для птицы.....	218
4.1	Общие сведения о реализации научных разработок	218
4.2	Рекомендуемые технологические линии и технические устройства для производства кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы ...	219
4.3	Технико-экономическая оценка эффективности основных результатов исследований.....	236
4.4	Методика расчета оборудования линии приготовления кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы.....	241
	Заключение	244
	Список использованной литературы.....	247

ВВЕДЕНИЕ

Соя и ее производные богаты протеином, а также растительными жирами и биологически активными веществами. В связи с этим, во многих зарубежных странах соя повсеместно используется для кормления большинства сельскохозяйственных животных и птицы. Но невзирая на то, что Дальневосточный и Южный федеральные округа Российской Федерации выращивают подобную высокобелковую культуру, соя не находит обширного применения в кормах для сельскохозяйственных животных. Обозначенная проблема обусловлена отсутствием технических средств и технологий, а также научно-обоснованных сведений для их проектирования и конструирования.

В то же время на Дальнем Востоке, не в полной мере применяется имеющееся минеральное сырье в отходах мясной и рыбной промышленности, травяное и хвойное сырье, а также гидробионтное сырье, наличие которого характерно для Дальневосточного федерального округа.

Выполненные в данной области изыскания отечественных и зарубежных ученых доказывают, что использование этих кормовых компонентов при различном их сочетании дает высокий зоотехнический и экономический эффект.

Исследованию отдельных вопросов, связанных с решением проблемы повышения эффективности функционирования процессов и оборудования линии приготовления кормовых продуктов с использованием соевого компонента в различных его сочетаниях с сырьем животного и растительного происхождения в условиях Дальневосточного федерального округа посвящены работы О. В. Апевалова, С. В. Бушуева, С. В. Вараксина, В. С. Гордезиани, С. А. Иванова, Ю. Б. Куркова, В. В. Самуйло, В. Ю. Фролова, Р. Ф. Филонова, а также других ученых. Данные исследования были направлены на решение

вопросов, связанных, в основном, с воздействием на соевое сырье механическим и тепловым способами, с целью получения заменителей цельного молока, комбикормов и соевых пастообразных кормовых продуктов.

До настоящего времени не уделялось достаточного внимания исследованиям, связанным с получением бинарных соево-мясокостных, соево-рыбкостных, соево-травяных и соево-ламинариевых композиций. В таких сочетаниях сырья, влага, содержащаяся в нем усредняется и, следовательно, появляется возможность, как минимум вдвое, уменьшить затраты энергии на ее удаление при сушке. Кроме этого, выступая в качестве связующих веществ, пастообразные компоненты позволяют получить гранулированный продукт с низкой крошимостью.

1 ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВЫХ ДОБАВОК В ПТИЦЕВОДСТВЕ

1.1 Краткая характеристика отрасли птицеводства в России

Птицеводство на современной стадии развития – это отрасль аграрного производства, позволяющая производить рентабельную продукцию. В этом смысле, быстрый результат можно получить, выращивая бройлеров. В Российской Федерации птицеводство за последние два десятка лет увеличило объемы производства мяса более чем в 13 раз. Бройлерное птицеводство в годы реформирования пережило упадок, однако с 2006 года начался подъем птицеводства, и в течение последующего десятилетия увеличение мяса сельскохозяйственной птицы по всем категориям хозяйств составило 3 300 тыс. т.

Повышению производства мяса птицы способствовало принятие ряда нормативных актов, например, Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы, утвержденной постановлением Правительства РФ от 14.07.2012 № 717 [107].

Большая заслуга в развитии производства принадлежит Российскому птицеводческому союзу, который объединил наиболее крупных производителей мяса птицы. В последние годы увеличилось производство мяса птицы, из которого 91,8 % выпускается на промышленных предприятиях и лишь 8,2 % – на частных.

Подобная тенденция прослеживается и в Амурской области. Это видно из представленных показателей рисунка 1.1, на котором на долю сельскохозяйственных организаций приходится более 85 % поголовья птицы [130].

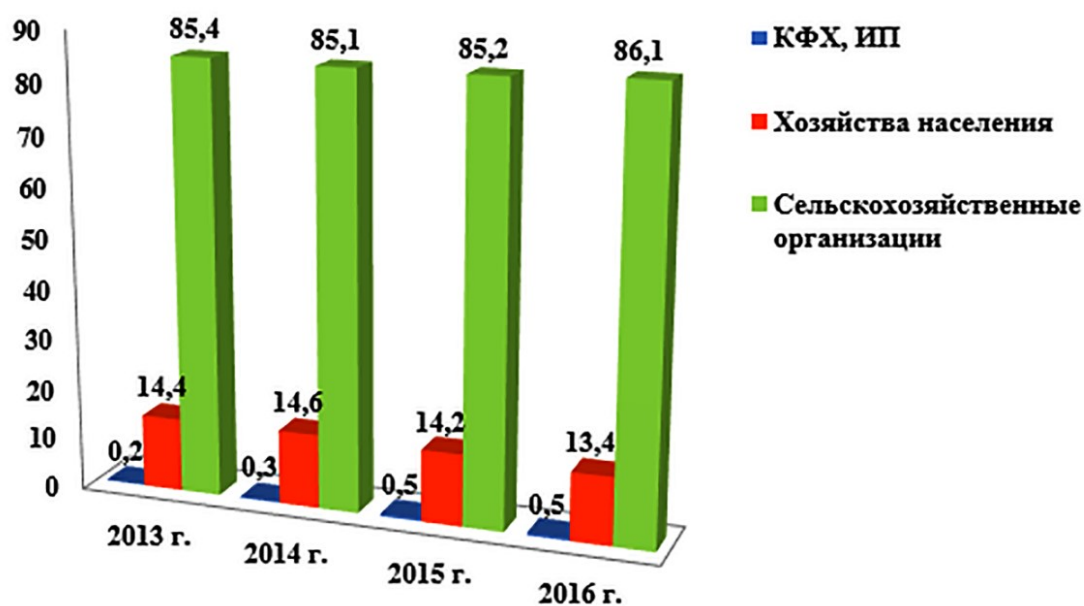


Рисунок 1.1 – Структура поголовья птицы по категориям хозяйств в Амурской области

Сегодня птицеводческая отрасль России обладает высоким уровнем производства. Как результат, Российская Федерация по производству мяса птицы вышла на 4-е место в мире, а по производству яиц – на 6-е место.

Наибольший объем выпуска приходится на Центральный федеральный округ (38,7 % от общероссийского объема); за ним следуют Приволжский (21,3 %) и Уральский (10,1 %) федеральные округа. В целом за 2016 г. на три этих округа пришлось 70,1 % общероссийского производства (рис. 1.2).

Однако Амурская область, Хабаровский и Приморский края также являются самодостаточными производителями мяса сельскохозяйственной птицы. В связи с этим, в последнее время в рационе большинства населения этих регионов существенное место занимает этот продукт. В соответствии с данными Росстата, сейчас работают более 500 предприятий по производству мяса сельскохозяйственной птицы. На их работу с начала 2006 года отрицательно оказывают влияние факторы, которые в своей основе связаны с особенностью самого продукта, а именно качество произведенного мяса в значительной сте-

пени имеет зависимость от способов выращивания, кормления, а также здоровья птицы. Периодически возникают вопросы появления у сельскохозяйственной птицы инфекционных заболеваний, применения птицефабриками различных кормовых добавок, а также их влияния на качество производимого мяса и последствия употребления такого мяса на здоровье человека [11].

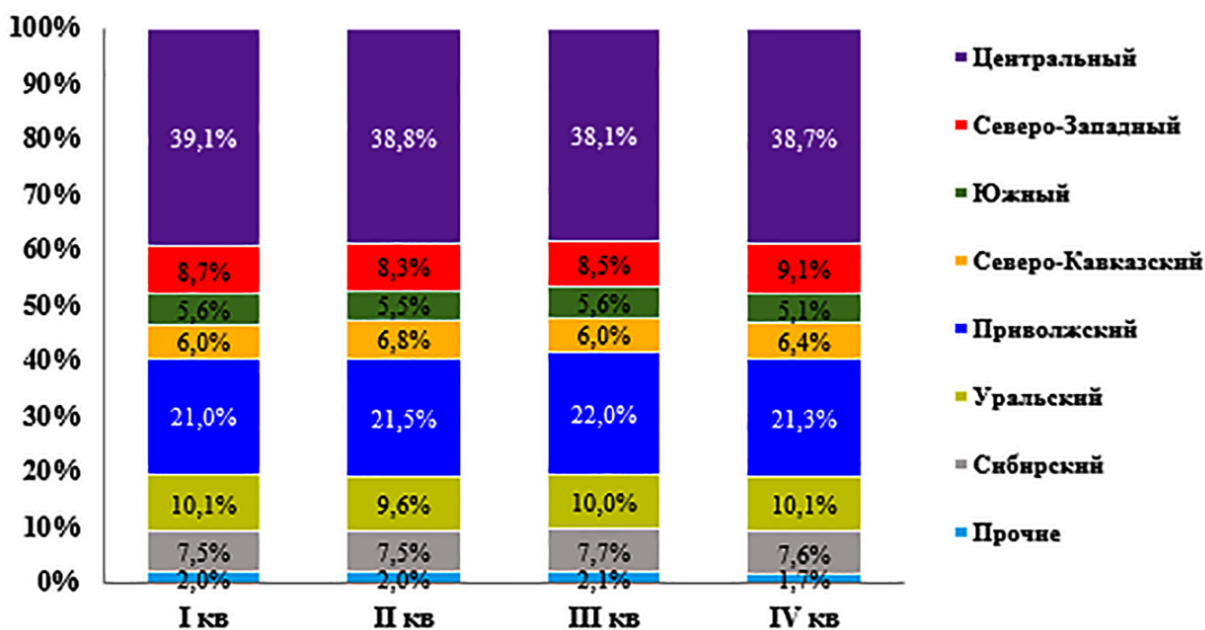


Рисунок 1.2 – Структура производства мяса и субпродуктов птицы по федеральным округам Российской Федерации

На сегодняшний день в рационе населения, проживающего в России, в потреблении животных белков 40 % приходится на мясо сельскохозяйственной птицы. Этот факт подтверждает важную роль птицеводства в продуктовой безопасности страны.

При этом предприятия России производят свежее и охлажденное мясо птицы, которое по своим вкусовым качествам во много раз превосходит в пищевом отношении замороженное импортное мясо.

Такие сравнительно высокие темпы выращивания сельскохозяйственной птицы обусловлены введением современных технологий в этой сфере, масштабным внедрением инновационных научно-технических разработок. В по-

следнее время при выращивании бройлеров среднесуточный привес приблизился к пятидесяти граммам, что более чем в 1,5 раза выше, чем данный показатель 1990 года. Выполнение проектов отечественных племенных заводов и иностранных селекционных компаний обеспечит в ближайшем времени среднесуточный привес свыше 50 г при расходах корма менее 2 кг, что приведет к сокращению сроков производства бройлеров на убой.

В основном, для производства мяса птицы в Российской Федерации выращивают бройлеров и кур яичного направления, и лишь 5 % этого продукта составляет мясо индеек, гусей, уток, цесарок, перепелов. В ближайшее время долю мяса данных видов птицы планируется увеличить до 20 %, что даст возможность существенно расширить перечень продуктов питания. Строительство в Российской Федерации репродукторов по размножению уток и гусей приведет к значительному расширению личных и крестьянско-фермерских хозяйств населения однодневным молодняком. В эту объединенную систему должны присоединиться репродукторы, инкубаторные станции, а также личные подворья населения.

Потенциал птицеводства России является существенным, а потому реализация необходимых мероприятий с учетом всемерной конкурентоспособности в состоянии обеспечить население страны экологически чистыми продуктами собственного производства. Этот принцип заложил Российский птицеводческий союз и научные организации Российской академии сельскохозяйственных наук при формировании отраслевого проекта под названием «Развитие птицеводства в Российской Федерации на 2013–2015 годы», который весной 2013 года был утвержден Министерством сельского хозяйства России. Выполнение проекта осуществлялось в соответствии с Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы.

В течении первых трех лет действия отраслевой программы прирост производства мяса птицы в Российской Федерации составил 800 тыс. тонн убойной массы (запланировано – 375 тыс. тонн), что более чем в 2 раза выше плана. Значительную роль в развитии внутрироссийского производства сыграли введенные ответные санкции. Известно, что 85 % от суммарного объема роста производства мяса птицы обеспечили 10 регионов страны.

Вопрос, связанный с эффективным кормлением в птицеводстве всегда был очень острый. В общей себестоимости продукции данной отрасли на долю корма приходится по различным оценкам от 70 до 75 %. Одними из дорогих являются протеиновые компоненты рациона: мясо-костная и рыбная мука, шрот из подсолнечника и сои, добавки и концентраты, содержащие белок. Наиболее ценными являются корма животного происхождения, потому что в них много полноценного белка, и поэтому они способны удовлетворять совокупную потребность птицы в незаменимых аминокислотах.

Качество рыбной и мясо-костной муки всецело зависит от первоначального качества сырья. Так, из различных видов рыбы производится рыбная мука с различными качественными показателями. Большие сроки хранения рыбной муки, даже при отрицательных температурах, не исключают появление продуктов окисления жиров. Экономическая ценность мясокостной муки ниже, чем у соевых продуктов, так как доступность аминокислот значительно меньше.

Заменить протеин животного происхождения можно соевым и подсолнечным шротом. При этом качество их протеина не сравнится с рыбной и мясокостной мукой, а использование протеина из растительного источника возможно лишь при совместном применении синтетических аминокислот.

Птицеводческие предприятия, как и остальные, испытывали, и будут испытывать нехватку в белковых составляющих рациона. Это объясняется тем,

что многие хозяйства значительно удалены от тех мест, где производится рыбная мука и соевый шрот. В связи с этим поставки белкового корма во многом ограничены, а цена их постоянно растет. Транспортные расходы соответственно приводят к удорожанию готовой продукции.

В этой связи, важное значение приобретает производство белковых кормов и кормовых добавок собственного приготовления.

1.2 Виды кормовых добавок и их характеристика

После убоя сельскохозяйственных животных и птицы остается кровь, обрезь и отдельные органы, пищевод, сычуг, летошка, мездра (зачистки шкуры), каньга (содержимое преджелудков), шквара (после вытопки жира), кости и др. Все это может быть использовано в корм животным после соответствующей подготовки. Кроме того, мясо-костную муку приготавливают из трупов животных на ветеринарно-санитарных заводах.

При переработке рыбы также остается много отходов: головы, хвосты, внутренности, плавники и т. д., которые после сушки и измельчения превращают в рыбную муку. Химический состав и питательность некоторых кормов этой группы представлены в таблице 1.1.

Благодаря высокому содержанию легкоусвояемого, биологически полноценного протеина, фосфора и комплекса микроэлементов, эти корма представляют очень ценный компонент рациона животных всех видов, особенно свиней и птицы. В отходах мясной и рыбной промышленности содержатся витамины: рибофлавин, пантотеновая и никотиновая кислоты, кобаламин, ретинол, кальциферол, токоферол. Обычная доза их внесения составляет 8–10 % от общей питательности рациона. Отходы после переработки птицы также могут быть использованы в качестве дополнительного источника питательных веществ в виде мясной, мясо-костной и перьевой муки.

1 Проблема повышения эффективности приготовления кормовых добавок в птицеводстве

Таблица 1.1 – Состав и питательность отходов мясной и рыбной промышленности [135]
В процентах

Показатели	Виды кормов			
	мука			кровь сушеная
	мясная	мясо-костная	рыбная (стандарт)	
Сухое вещество, %	91,5	90,0	89,1	93,5
Протеин, %	57,0	50,8	52,5	88,0
Жир, %	15,6	15,6	3,7	1,0
Безазотистые экстрактивные вещества, %	4,2	3,6	–	0,5
Зола, %	14,7	16,3	32,9	4,0
В 1 кг содержится:				
кормовых единиц	0,95	0,82	0,83	1,29
переваримого протеина, г	427	356	472	801
кальция, г	35,7	31,8	67,2	4,5
фосфора, г	19,2	14,5	31,2	3,2

Мясную муку готовят из внутренностей тушек, выбракованной и павшей птицы и других отходов; мясо-костную – из голов, плюсен ног, целых бракованных тушек; перьевую – из свежих снятых перьев и отходов фабрик пухово-перьевых изделий. Кроме указанных источников, для приготовления любого вида муки используется кровь, отходы инкубации яиц (тушки задохликов и др.).

Мука, произведенная из отходов, считается основным источником аминокислот, которые необходимы для нормального развития и роста молодых животных. В таблице 1.2 приведен аминокислотный состав кормов [147].

Таблица 1.2 – Содержание аминокислот в некоторых кормах
В процентах к сырому протеину

Аминокислота	Соевый шрот (45 % протеина)	Мясная мука		Перьевая мука (85 % протеина)	Мука из отходов переработки птицы (55 % протеина)
		40 % протеина	50 % протеина		
Аргинин	7,46	7,46	7,24	6,41	6,81
Лизин	6,2	5,5	5,47	1,8	6,96
Цистин	1,5	1,01	1,21	3,6	1,78
Гистидин	2,5	1,78	1,73	0,45	1,46
Изолейцин	5,51	3,25	3,35	4,32	5,71
Лейцин	7,68	6,52	6,23	8,47	5,13
Метионин	1,38	1,42	1,33	0,57	1,13
Треонин	4,02	3,63	3,27	4,52	4,93
Фенилаланин	4,87	3,81	3,41	4,32	4,11
Триптофан	1,68	0,72	0,68	0,67	0,33
Валин	5,41	5,29	4,78	7,46	5,61

Анализируя данные таблицы видно, что мука промышленного производства из отходов птицы обладает высоким содержанием незаменимых аминокислот для повышения продуктивности животных и птицы.

1.3 Существующие технологии переработки отходов убоя птицы и их анализ

Переработка отходов убоя птицы является составной частью процесса убоя. К оставшимся частям убоя птицы относят кровь, перо, мягкие внутренности, а также лапы и головы птицы. Объемный состав оставшихся частей убоя птицы приведен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Процентный состав отходов при убое птицы [11]

Составляющие отходов	Содержание в тушке птицы, %
Кровяное сырье	4,5
Кишечное сырье	13,0
Перо-пуховое сырье	8,0
Головы и ноги	5,5
Итого	31,0

Как видно из таблицы, отходы от убоя птицы составляют более 30 % общей массы птицы.

Наиболее распространенными способами переработки отходов убоя птицы являются кремация, паровой и ферментный гидролиз, а также экструзионная обработка отходов. Каждая из существующих технологий, на основе перечисленных способов, обладает определенными преимуществами и недостатками.

К преимуществам способа кремации относят полную стерильность, простоту производства утилизации, компактность оборудования и низкую его стоимость. В качестве недостатка выделяют высокую энергоемкость процесса, уничтожение ценного белкового продукта.

Распространенным способом утилизации отходов убоя птицы (в виде мясокостной муки) в котлах-деструкторах является паровой гидролиз. К недостаткам парового гидролиза относят: протеин мясокостной муки усваивается всего лишь на 25–30 %, что для хозяйств экономически не выгодно; токсичность мясокостной муки из-за длительной по времени термической обработки компонентов смеси с целью расщепления кератина, что, в свою очередь, вызывает перекисное окисление жиров и получение токсичного продукта [11].

Специалистами Всероссийского НИИ птицеперерабатывающей промышленности предложена технология переработки остатков от убоя птицы, в которой предусмотрено производство кормовой добавки из перьев сельскохозяйственной птицы с применением ферментных препаратов. Основой данной технологии является переработка пера в виде ферментного гидролиза. При этом сокращаются потери протеинового белка, а также увеличивается выход продукта. Перевариваемость такой добавки в два раза выше в сравнении с кормовой мукой, производимой методом парового гидролиза. Недостатком ферментного гидролиза является отдельная переработка отходов убоя птицы, что усложняет процесс сбора отходов в убойном цехе, а также использование дополнительного дорогостоящего оборудования, которое серийно не выпускается [11, 63, 65, 74, 94, 95, 136].

Одним из актуальных направлений переработки остатков от убоя птицы некоторые исследователи считают экструзионную обработку. Она включает в себя кратковременную обработку смеси отходов и зерна под высокой температурой и большим давлением в экструдере. Полученный продукт используется в качестве полноценного рациона, а в некоторых случаях как основной компонент для включения в разнообразные рационы [71, 74].

В качестве преимущества переработки отходов убоя птицы методом экструзии считают хорошие вкусовые качества полученных кормовых добавок.

Они стимулируют птицу к поеданию кормов с низким потребительским качеством и обеспечивают увеличение привеса, что сокращает сроки содержания птицы на откорме [67, 161, 181, 188].

Данный метод переработки отходов имеет ряд недостатков: высокую влажность произведенного продукта (20–25 %), невозможность использовать в качестве сырья перо и необходимость добавления различного зерна в экструдат, а также малый срок службы основного оборудования [67, 71].

Таким образом, существующие методы переработки отходов убоя птицы зависят от вида перерабатываемого сырья, типа технологии переработки и назначения кормовой добавки. Наиболее распространенные способы переработки, а также возможность их применения и вид получаемого продукта приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Способы переработки отходов убоя птицы в зависимости от вида сырья и получаемого продукта [11]

Вид отходов убоя птицы	Способ переработки отходов убоя птицы и получаемый продукт			
	экструдирование	паровой гидролиз	ферментный гидролиз	коагуляция
Кровяное сырье	высокобелковый корм	кровяная мука	–	кровяная мука
Мягкие отходы в виде кишечника	высокобелковый корм	мясокостная мука	–	–
Перовое сырье	–	мясокостная мука	высокобелковый ферментированный корм	–
Лапки и головы	высокобелковый корм	мясокостная мука	–	–

Энергоемкость существующих способов переработки отходов убоя птицы (табл. 1.4) в кормовые продукты колеблется от 240 до 1 768 кВт·ч/т.

В работе В. Г. Волик [19], на основании анализа существующих методов переработки отходов убоя птицы сделал вывод, что наиболее целесообразным способом переработки является паровой гидролиз.

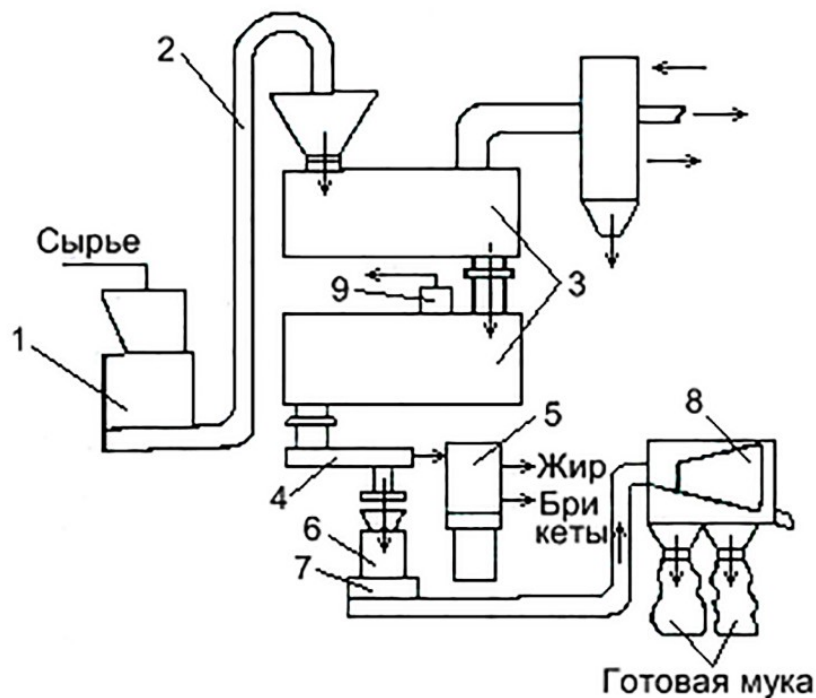
При применении изложенных способов переработки отходов убоя птицы и получении мясокостной муки также должны учитываться зоотехнические требования, предъявляемые к машинам и линиям по производству сухих животных кормов, установленные действующими государственными стандартами. Поэтому наиболее выгодной физической формой кормового продукта для птицы являются гранулы, полученные на основе соевого продукта и пасты из отходов переработки мяса и рыбы, а также растительных или гидробионтных компонентов.

1.4 Существующие технологические процессы обработки отходов рыбной промышленности и их анализ

При производстве рыбной муки применяются известные технологические операции, среди которых особую значимость имеет варка, а также высушивание полученного рыбного материала [47]. От составляющих компонентов отходов рыбного сырья, технологических операций и от конструкций технических средств будет зависеть кормовая значимость рыбной муки.

При изготовлении рыбной муки из отходов рыбной промышленности применяют многие способы, среди которых прямая сушка, а также экстракционный, прессово-сушильный, центрифужно-сушильный и комбинированный способ. Основными являются первые три перечисленных способа, а остальные выступают их модификациями. Во всех этих способах заложен принцип наиболее полного использования белков, липидов, а также минеральных веществ, которые содержатся в отходах рыбной промышленности.

Способ прямой сушки заключается в одновременном разваривании и сушке рыбного сырья без промежуточного уменьшения содержания в нем влаги прессованием. Этим способом сушки рекомендуется воздействовать на рыбное сырье с содержанием липидов не более 5 % (рис. 1.3) [13].



- 1 – устройство для измельчения; 2 – загрузочный транспортер; 3 – сушилка;
4 – шнековый транспортер; 5 – пресс; 6 – мельница; 7 – магнитный сепаратор;
8 – устройство для упаковки; 9 - вакуум-насос

Рисунок 1.3 – Технологическая схема вакуум-сушильной установки по производству рыбной муки

Сырье из дробилки 1 винтовым транспортером загружается в барабаны установки 3, которые предназначены для варки и сушки сырья. Барабаны имеют паровые рубашки. В качестве теплоносителя применяется пар. В корпусе барабанов расположен подвижный вал с мешалками в виде лопастей. Перед заполнением барабаны нагреваются до температуры 85–90 °С, а затем в течении 20–27 минут происходит проваривание (длительность процесса зависит от содержания липидов в рыбном сырье). После окончания варки в барабане с помощью вакуум-насоса 9 производится откачка воздуха и создается вакуум при давлении 65 кПа. Создаваемое давление пара в рубашке барабана в первоначальное время сушки равно около 0,1 МПа, а к моменту завершения сушки увеличивается до 0,35 МПа. Длительность процесса сушки колеблется от 4 до 5 часов, пока содержание воды при сушке не будет менее 12 %.

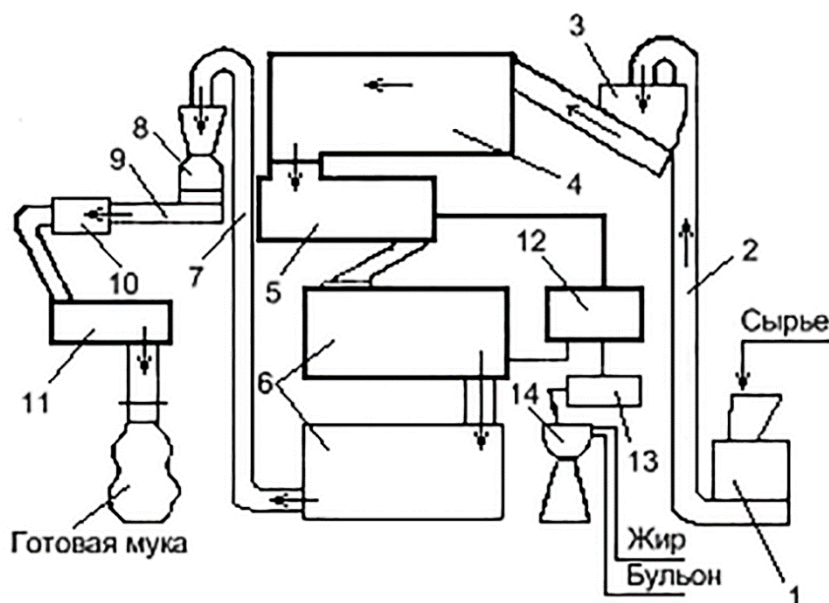
Послу сушки, рыбная масса при помощи мешалки и шнекового транспортера 4 перемещается из барабана сушилки 3 в пресс 5, в котором происходит частичное удаление жира. Сформированные брикеты рыбной муки измельчаются в мельнице 6, проходят через магнитный сепаратор 7 для выявления металлических примесей, а затем готовая мука расфасовывается в мешки из бумаги или ткани, которые доставляются на склад. Рассмотренный способ производства цельной кормовой муки с высоким содержанием белка и витаминов позволяет получать на выходе свыше 20 % рыбной муки, при этом потери незначительные [13].

К недостаткам данного способа сушки можно отнести плохую переработку отходов рыбного производства, которые имеют жирность свыше 5 %, что влечет за собой невозможность производить кормовую муку, которая бы соответствовала требованиям государственного стандарта по содержанию жира и имела увеличенный срок хранения. Также, данным способом нельзя производить обработку рыбного сырья с повышенным содержанием коллагена в некоторых тканях, например, в отходах обесшкуреного филе многих рыб, потому что при длительном тепловом воздействии коллаген трансформируется в так называемый глютин, который при высыхании образует монолитный кусок, и его невозможно выгрузить из сушилки.

Разогрев сырья, в котором содержится коллаген, в течении шести часов при температуре не более 97 °С приводит к желатинизации 75 % коллагена. Достоинством данного способа получения рыбной муки является простота конструкций используемых установок, их эксплуатация, изменение технологических параметров, уменьшенные размеры и энергоемкость, небольшое использование в технологической схеме количества пара, увеличенный выход полноценной рыбной муки в сравнении с другими способами [13].

Наибольшее распространение получил прессово-сушильный способ получения кормовой муки. Технические средства, которые работают в данной

технологической схеме не обладают недостатками, что характерны для установок прямого способа сушки. А если перерабатывать подпрессовые бульоны, то они обеспечат повышенный выход концентратной рыбной муки с наибольшим количеством протеина (рис. 1.4) [13].



- 1 – установка для измельчения; 2 – винтовой транспортер; 3 – промежуточный бункер; 4 – варильник; 5 – винтовой пресс; 6 – установки для сушки; 7 – нория; 8 – мельница; 9 – шнековый транспортер; 10 – охладитель; 11 – упаковочное устройство; 12 – супердекантатор; 13 – сборник для обезжиренного бульона; 14 – сепаратор

Рисунок 1.4 – Технологическая схема прессово-сушильного способа

Отходы рыбного сырья после прохождения установки для измельчения 1 с помощью винтового транспортера попадают в промежуточный бункер 3, а затем шнеком-дозатором в варильник 4, в котором сырье разваривается, для чего используют глухой пар. Такие параметры работы варильника, как температура и давление пара, регулируются и зависят от вида перерабатываемого сырья. Полученная масса перемещается в винтовой пресс 5, где выполняется частичный отжим подпрессового бульона. Полученный жмых, в котором содержится до 50 % воды, поступает в установки для сушки 6. В них происходит сушка жома до влажности продукта 8–10 %. Пройдя магнитное сепарирование, сушенка измельчается, а затем попадает в охладитель 10, где охлаждается

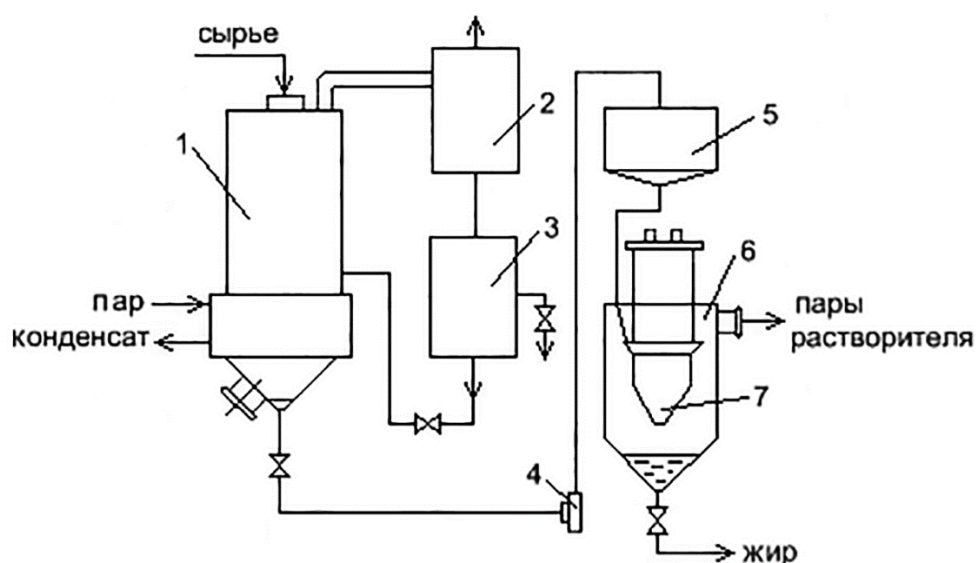
примерно до температуры 30 °С. После этого, рыбная мука проходит через вибросито с электромагнитом, где она просеивается, отделяются металлические примеси, а затем направляется на упаковочное устройство 11. В результате прессования разваренного сырья подпрессовый бульон проходит отделение больших плотных частиц, которые затем смешиваются с жомом и направляются в сушилку.

Полученный химический состав рыбной муки и жома, а также бульона в значительной степени имеет зависимость от исходного сырья, параметров технологического процесса, конструктивных особенностей установок, которые используются в линии. К достоинствам этого способа можно отнести: достаточно простое оборудование; низкое содержание воды на выходе массы пересушки, при этом имеется возможность переработки рыбного сырья с разным химическим составом. Недостатками прессово-сушильного способа являются: большие энергетические затраты в связи с использованием выпарных технических средств; высокая сложность режимов переработки первоначального сырья; трудности при переработке особо жирного рыбного сырья; невозможность перерабатывать весь объем бульонной жидкости (около 40 % сливается за борт, что при пересчете на кормовую муку составляет 1,5 %) [13].

Для производства рыбной муки используют экстракционный способ, в котором процессы сушки и обезжиривания выполняются одновременно. Данный способ применяют в производстве кормовой рыбной муки с более низким содержанием липидов (рис. 1.5) [13].

Данная линия выполняет переработку сырья непрерывно при малом расходе растворителя. В состав технологической линии входит установка для регенерации растворителя. Большим достоинством этого способа считается производство кормовой муки с небольшим (до 1 %) содержанием липидов (кормовая мука из сельди содержит жидкости около 8 % и липидов 10 %, а после прохождения экстрактора она содержит 0,6 % липидов и 12 % жидкости). К

недостаткам экстракционной отгонки можно отнести: сложную технологическую настройку; применяемые растворители обладают высокой токсичностью, пожароопасностью и взрывоопасностью; высокую стоимость способа и низкое качество получаемого жира. В нашей промышленности экстракционной способ отгонки, который основан на азеотропной переработке, широкого применения не нашел [13].



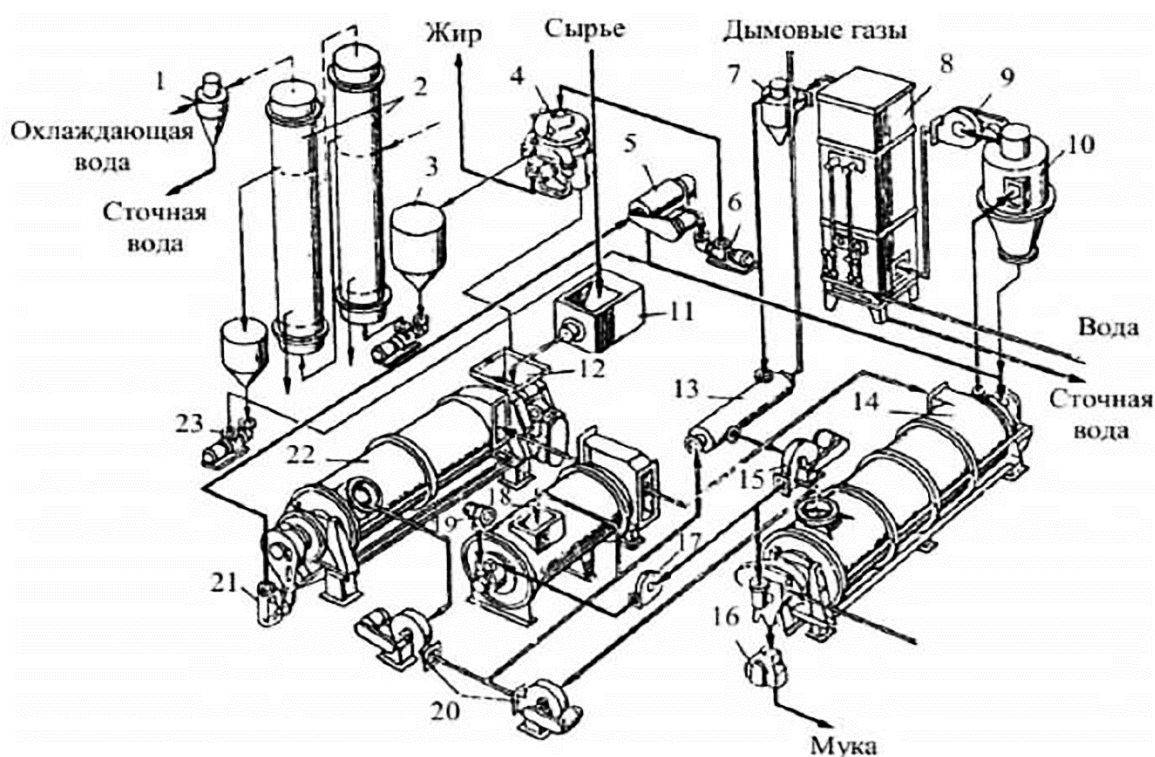
- 1 – экстракционная установка; 2 – конденсатор; 3 – отделитель для растворителя;
4 – насосная установка; 5 – емкость для сбора мицеллы;
6 – пленочный дистиллятор; 7 – испаритель

Рисунок 1.5 – Технологическая схема линии, работающей по способу экстракционной отгонки

Другой способ переработки является модификацией уже рассмотренной ранее прессово-сушильной линии производства рыбной муки (рис. 1.6) [13].

Рыбное сырье из бака 12 в измельченном виде попадает в варильник 22, откуда перекачивается с помощью насоса 21 в центрифугу. В этой установке выполняется разделение твердой массы и бульона после варки сырья. На трехфазных центрифугах под действием центробежных сил масса разделяется на твердую часть, густой бульон и жир. Полученная до центрифуги плотная часть имеет до 60 % воды, что немного выше, чем после прохождения через пресс исходной массы (при этом требуется увеличение расхода тепловой энергии во

время сушке). Проходя центрифугу, плотная часть высушивается, а полученный бульон обрабатывается как при прессово-сушильном способе. Применяя центрифугу можно пропускать сырье большой жирности, с высоким содержанием воды, при этом устраняются недостатки, которые присущи устройствам, работа которых основана на прессово-сушильном способе. Выход кормовой муки составляет до 20 %. При этом количество жира в рыбной муке в сравнении с прессово-сушильным способом уменьшается до 30 %.



- 1 – конденсатор; 2 – аппарат для выпаривания; 3 – емкость; 4 – сепаратор;
5 – центрифуга; 6 – насосная установка; 7, 10 – циклоны; 8 – фильтр-конденсатор;
9, 15, 17, 20 – вентиляционные установки; 11 – конденсатор; 12 – бак;
13 – теплообменник; 14 – установка для сушки; 16 – мельница; 18 – газовый генератор;
19, 21, 23 – насосные установки; 22 – устройство для варки сырья (варильник)

**Рисунок 1.6 – Технологическая линия
центрифужно-сушильного способа производства кормовой муки**

В качестве достоинства способа отмечается: простота выбора режима обработки сырья; возможность автоматизации процесса; возможность обработки

сырья любой жирности. К недостаткам относят сложность аппаратных установок; большую площадь, занимаемую оборудованием; необходимость установки выпарных машин, а также увеличенный расход энергии [13, 47].

В соответствии с требованиями стандарта содержащиеся липиды в рыбной кормовой муке должны быть не более 10 %. Получить такой показатель при традиционных способах приготовления кормовой муки возможно только при помощи дополнительных приемов, а именно при использовании поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые добавляют на стадии варки сырья. Этот способ снижает содержание липидов, воздействуя на процесс, созданием условий получения эмульсии в виде вода/жир в системе «твердые вещества – липиды – вода». Вместе с этим определенная часть липидов отделяется от плотной массы и переходит в жидкую часть, что увеличивает на выходе жир и тем самым улучшает условия высыхания плотной массы.

Самыми приемлемыми считаются ПАВ с гидрофильно-липофильным балансом (ГЛБ) равным 11–14. С изменением кислотности среды от 6,5 до 7,5 такими особыми свойствами обладают только неионогенные ПАВ (НПАВ). Из безвредных НПАВ можно использовать препарат ОС-20 или оксанола О-18, или синтанола ДС-10, а также лаурокса-9 и пальмитата-25, которые представляют собой оксиэтилированные фракции искусственных спиртосодержащих и жирных кислот. Применение НПАВ позволяет изменять степень выделения части липидов из рыбного сырья при его проваривании, независимо от их общего количества [49].

Для наилучших условий отделения липидов при воздействии на данное сырье оптимальным является эмульгатор О-18, для сырья со средним содержанием жира – препарат ОС-20, а для сырья с большим содержанием липидов – пальмитат-25.

В качестве достоинств, данного способа отмечают вероятность регулирования степени отделения жира от сырья вне зависимости от количества липидов; наиболее лучший состав жирных кислот кормовой рыбной муки; произведенный продукт стойкий при хранении. К основным недостаткам относят некоторое повышение стоимости продукта за счет необходимости использования НПАВ. При переработке рыбного сырья с низкой текстурой мяса, во время прохождения через пресс разваренной массы подавляющая ее часть направляется через его зерную решетку и теряется. При этом выход рыбной муки не превышает 10 %. Введение загустителей для уплотнения консистенции полученной разваренной массы, например, карбоксиметилцеллюлозы (натриевая соль) в виде 2,5-процентного водного раствора в минимальном количестве, позволяет повысить выход муки с 10 до 20 %, а при совместном использовании НПАВ (ОС-20) и загустителя (КМЦ) данный выход можно повысить до 21 % [49].

Процесс гранулирования является важной составляющей технологической операцией в рассматриваемой технологии изготовления рыбной муки. Он уменьшает потери муки за счет ее распыления, способствует лучшему сохранению качества кормовой муки, а также снижению площадей, занимаемых при ее хранении.

Качество гранулированной муки зависит от таких факторов, как температура процесса, содержание воды и жира, размер гранул и др. Оптимальными параметрами гранулирования кормовой рыбной муки являются температура от 40 до 50 °С, содержание жидкости в муке от 10 до 11 %, диаметр и длина гранул – 0,008 м и 0,016 м соответственно. Низкое содержание липидов (до 10 %) не оказывает большого влияния на прочность гранул: если их содержится от 10 до 15 %, то прочность гранул снижается в 2,5–3 раза, а при 15 % – рыбная мука не поддается грануляции. Прочность получаемых гранул зависит

от такого показателя как относительная влажность воздуха. При повышении относительной влажности, по поверхности гранул появляются трещины (при 98 % относительной влажности они появляются на четвертые сутки хранения, при 90 % – на шестые сутки хранения) [59].

Правильное использование кормовой рыбной муки, как добавки в рацион животных и сельскохозяйственной птицы, значительно увеличивает продуктивность в виде увеличения яйценоскости, дополнительного привеса при снижении расхода кормов. Значительный эффект при использовании кормовой муки объясняется содержанием в ее составе большого количества легкоусвояемого белка, витаминов, макро и микроэлементов. По содержанию перевариваемого протеина рыбная кормовая мука занимает одно из основных мест среди кормов различного происхождения.

Произведенная из отходов рыбной промышленности стандартная кормовая мука является для животных и птицы источником незаменимых аминокислот (лизина, метионина, цистина, триптофана, треонина, фенилаланина и др.), а также макро и микроэлементов, необходимых для нормального развития и роста молодых животных [13, 49, 157].

Среди макроэлементов необходимо отметить наличие кальция (не более 13 %) и фосфора (не более 5 %). Также содержатся микроэлементы (натрий, магний, марганец, калий, алюминий, железо, цинк, никель, кобальт, медь) [13, 49, 157]. Для животных и птицы они обладают важным физиологическим значением (участвуют в выработке гормонов, оказывают влияние на процесс роста и кровообращения и др.). В рыбной муке имеются витамины группы В и большое количество жирорастворимых витаминов.

Проведенные биологические испытания на сельскохозяйственных животных, подтверждают высокую биологическую значимость кормовой муки. При добавлении рыбной муки в качестве компонента комбикорма в объеме 5–6 % от его общего объема можно добиться повышения прироста свиней на 20–24 %.

Одновременно снижается расход растительных составляющих корма до 20 % и повышается яйценоскость кур на 50 % в год [157].

1.5 Характеристика сои как высокобелкового кормового компонента и эффективность ее использования в кормлении сельскохозяйственной птицы

Анализируя работы [8, 53, 63, 89, 99, 101, 102, 115, 126, 127, 131, 132, 138, 148, 149, 155, 156, 159, 165, 166–194], можно сделать вывод, что соя и продукты ее переработки являются высокоэффективным кормом, который применяется в качестве протеиновой добавки в различных рационах животных и птицы. Семена сои богаты белком, а также незаменимыми аминокислотами и витаминами, обеспечивающими значительную продуктивность сельскохозяйственных животных и птицы.

В килограмме сои содержится до 173 г жира и многие другие минеральные элементы, (мг): натрий – 440, калий – 160, кальций – 3 480, магний – 1 910, фосфор – 5 100, железо – 3 950. Кроме перечисленных микроэлементов, в ней имеются марганец и кобальт, которые очень необходимы для полноценного биологического кормления животных и птицы.

Килограмм сои также содержит: рибофлавин – 3,1–3,7 мг; каротин – 1,4–2,1 мг; ниацин – 20,5–35,3 мг; тиамин – 11–19 мг; пиридоксин – 8–14 мг; биотин – 0,6–0,8 мг; пантотеновую кислоту – 14–22,5 мг; инозит – 2,0–2,4 мг; фолиевую кислоту – 1,8–2,0 мг; альфа-токоферол – 4,7–7,9 мг; холин – 3,1–3,5 мг; витамин К – 1,8–2,0 мг. Такое количество веществ, витаминов и микроэлементов при скармливании семян сои сельскохозяйственным животным и птице значительно повышает биологическую ценность рационов и тем самым способствует увеличению продуктивности животных.

Состав и усвояемость соевых семян и продуктов переработки с содержанием белка представлены в таблице 1.5. Эти продукты используются в кормовых рационах многих сельскохозяйственных животных и птицы.

Таблица 1.5 – Переваримость и состав семян сои, а также продуктов ее переработки

Показатели	Вид соевого белкового продукта			
	семена	мука	жмых	шрот
В 100 кг корма содержится, кг:				
кормовых единиц	130,7	145,8	125,0	118,0
перевариваемого протеина	29,2	34,1	34,8	36,0
На одну кормовую единицу приходится перевариваемого протеина, г	223	224	278	300
Состав, %:				
влага	11,4	9,2	14,9	14,6
протеин	33,2	38,3	38,7	40,0
белок	28,1	33,4	38,3	38,3
жир	15,3	19,7	9,8	2,0
клетчатка	7,3	3,1	2,7	6,4
зола	5,2	4,2	6,0	5,1
безазотистые экстрактивные вещества	27,6	25,5	27,9	31,9
Коэффициент перевариваемости, %				
протеин	88	89	90	90
белок	88	89	88	90
жир	85	90	88	95
клетчатка	81	39	78	94
белковые экстрактивные вещества	71	69	94	97

Разумное использование сои при кормлении сельскохозяйственных животных и птицы сопряжено не только с необходимым качеством протеина и наличием микроэлементов, жира и витаминов, но и с тем, что соя имеет антипитательные вещества, такие как ингибиторы, танины, глюкозиды, алкалоиды. Данные антипитательные вещества, во многом снижают ее поедаемость животными, а также биологическую доступность протеина. Для снижения антипитательных веществ перед их скармливанием необходимо семена сои подвергать термообработке [69, 152].

Анализ работ [8, 99, 102, 121, 131, 132, 133] показал, что семена сои содержат вещества, которые повышают биологическую ценность кормов для

сельскохозяйственной птицы и тем самым обеспечивают увеличение продуктивности. В рационах сельскохозяйственной птицы используют как полножирные семена сои, так и продукты ее переработки, а также обезжиренную соевую муку (НСМ).

Разумное применение семян сои в рационах сельскохозяйственных животных и птицы позволяет разрушать перечисленные выше вещества и увеличивать доступность в протеине. Свиньям и птице следует увеличивать доступность аминокислот; вместе с тем для жвачных, протеин нужно защищать от излишней деградации в рубце, а также поднимать доступность незаменимых аминокислот, нерасщепленных в тонком кишечнике.

Под питательностью кормов понимают потребление, перевариваемость, а также эффективное применение корма в пищу животных. Данные слагаемые питательности, при имеющихся антипитательных элементах могут существенно меняться, поэтому используемая оценка питательности корма делается бессмысленной. Действие ингибиторов характеризуется уменьшением поедаемости и усвояемости вследствие плохих вкусовых характеристик корма и присутствием антипитательных веществ [116]. Они уменьшают протеолитическую активность ферментов пищеварения, при этом содержатся во многих видах растений (отмечается повышенное содержание в семействе бобовых).

Самый распространённый ингибитор – это трипсин, который задерживает ферменты, участвующие в перевариваемости белка. Например, перевариваемость НСМ около 50 %, а термообработанной – уже 80 %. Уменьшают усвоение такого корма и другие приведенные антипитательные вещества [115, 155, 157]. Биологическая значимость белка уменьшается, вследствие воздействия ингибиторов семян сои на скорость отщепления с молекулы протеина метионина. При депрессивном воздействии ингибиторов семян сои у цыплят прослеживается повышенная потеря эндогенных аминокислот, что способствует

появлению у них гипертрофии поджелудочной железы [102]. В этой связи, сырая соя непригодна для скармливания сельскохозяйственным животным и птице. Инактивация этих веществ может осуществляться путем теплового воздействия на шрот, жмых и на семена сои.

Об уровне разрушения антипитательных элементов судят по активности такого вещества как уреазы – показателю, который косвенно свидетельствует об инаktivации всех антипитательных веществ [155].

Как только была решена проблема воздействия антипитательного фактора до низкого уровня, полножирные семена сои получили широкое применение, так как они являются источником кормовой энергии и источником ценного белка. При разработке высокопитательных рационов полножирные семена сои рассматриваются в качестве необходимого ингредиента, в основном там, где отсутствует возможность применять сложную аппаратуру, чтобы вносить и смешивать жиры с другими кормовыми компонентами. Кроме хорошей усвояемости, соя богата линоленовой кислотой. Она незаменима и должна быть в рационах птицы [102].

Как правило, кормовое сырье оценивается по наличию в нем незаменимых аминокислот. Такого рода подход позволяет определить аминокислотный баланс. На рисунке 1.7 представлена диаграмма сравнения наличия аминокислот в белке семян сои с потребностью птицы в аминокислотах.

Из приведенных данных видно, что все аминокислоты, содержащиеся в сое, представлены в допустимых пределах, за исключением метионина.

Многие работы зарубежных авторов посвящены вопросам использования семян сои в качестве кормовой добавки для птицы. Так, в работе П. Н. Миончинского [99] приведены результаты применения в рационе экструдированной полножирной сои. В ходе проведения исследований в рацион птицы вводился или соевый шрот, или экструдированная соя. Эксперименты показали, что увеличилась конверсия кормов, в основном, за счет применения полножирной

сои, которая имеет повышенную обменную энергетическую ценность, по сравнению со стандартным рационом.

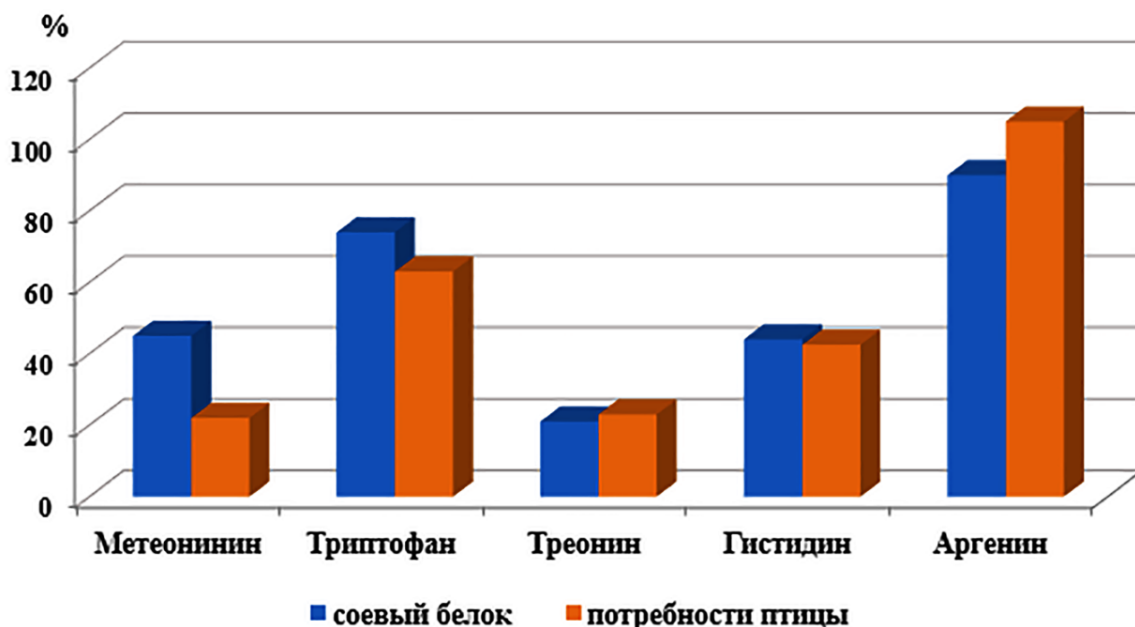


Рисунок 1.7 – Наличие аминокислот в белке семян сои и необходимая потребность птицы в аминокислотах

В своих исследованиях J. L. Sell [182] пришел к выводу, что рационы, которые содержат в различных пропорциях полножирную сою, приводят к хорошим результатам, которые резко отличаются от традиционных контрольных рационов, в основе своей базирующихся на соевом шроте и животных жирах.

Вопросу разработки рационов, которые были низкокалорийными, но сбалансированными по питательным веществам и имели повышенный процент прожаренных полножирных семян сои, посвящена работа G. Papadopoulos [173]. Предложенные рационы применялись на первоначальном и конечном этапе откорма бройлеров в одной из сельскохозяйственных ферм. Результаты исследований показали, что наличие полножирных семян сои вело к значительной экономии кормов в результате уменьшения их поедания. Поскольку уменьшение живого веса у животных не происходило, было сделано заключение о значительном увеличении показателя конверсии применяемых кормов.

В проведенных исследованиях Р. J. Porter и W. M. Britton [178] отмечают, что свойство тушек никак не различались от стандартных, за некоторым исключением в содержании жирных кислот во внутреннем жире тушки. Птица, в рационы которой поступало 15 % полножирных семян сои, давала жир с уменьшенным количеством мононенасыщенных кислот. Одновременно возрастало содержание в птичьем жире полиненасыщенных жирных кислот.

Кроме упомянутых ранее исследований по итогу скармливания бройлерам кормов, включающих полножирные семена сои, проводились опыты для выявления предельно доступного процента применения в кормах полножирных семян сои. Проводя исследования, Т. L. Cotton и Р. W. Waldroup [189, 190] увеличивали долю полножирных семян сои до 45 % кормового рациона. Когда семена сои составляли четверть рациона, ученые фиксировали повышение темпов роста сельскохозяйственной птицы аналогичное как при рационах, которые содержали соевый шрот.

Р. L. Paradis и другие исследователи [174–176] замещали соевый шрот полножирной соей. В результате не наблюдалось никакого негативного воздействия на такие показатели, как падеж птицы и качество тушек. Кроме этого, отмечалось существенное уменьшение образования нутряного птичьего жира.

В работах [165] авторы проводили исследования по нормированию в рационы сельскохозяйственной птицы полножирных семян сои, которые обрабатывались установками с инфракрасным излучением. В этих опытах был выявлен негативный эффект, который заключался в некотором ухудшении производственных показателей. Это наблюдалось при включении семян сои в стартерные рационы на уровне 28 %, а на конечном этапе – 22 %. Полученные результаты показывают, что полножирные семена сои можно эффективно вводить в рационы сельскохозяйственной птицы.

В проводимых исследованиях [161] в качестве сравнения брался контрольный рацион, базирующийся на шроте из сырой сои, и сравнивался с некоторыми другими, которые содержали либо экструдированные семена сои, либо два разных продукта из прожаренной сои. Было установлено, что кормовые рационы, содержащие обработанные полножирные семена сои, улучшали производственные показатели. В двух опытах экструдированные семена сои показали лучшие результаты, по сравнению с прожаренной соей.

В работе [176] приведены результаты исследований на бройлерах. Животным предлагалось четыре кормовых рациона с равнозначной питательной ценностью, которые были основаны на соевом шроте и включали в себя до 10 % полножирных семян сои, при этом полученная масса бройлеров на этих рационах была весьма удовлетворительной. Уменьшение веса при применении прожаренных семян сои объясняется более низким содержанием аминокислот. Проведенный анализ полученного образца полножирных семян сои показал, что имеющийся в них цистин составил около 74 % от уровня иных образцов. Однако никаких отличий в конверсии этих кормов не отмечалось.

J. Antal [159] и другие ученые в своих работах по стартерному кормлению птицы установили то, что темпы увеличения и конверсии использованных кормов были увязаны с высокой степенью обработки полножирных семян сои, то есть птица откликается на наличие трипсина и на доступность к белку.

В результате проведенных исследований были сформулированы выводы относительно применения полножирных семян сои в кормовых рационах бройлеров:

1) процент полножирных семян сои в кормовых рационах зависит от ее физической формы; во все смешанные рационы рекомендуется вводить полножирные семена сои, но не более 20 %; при большем содержании сои корма должны скармливаться в виде гранул; как правило, в кормовой рацион вводится 8–10 % полножирных семян сои;

2) рекомендуется использовать обработанные полножирные семена сои с небольшой активностью уреазы до 0,10 рН;

3) на результат вскармливания может оказать положительное или отрицательное влияние питательная ценность семян сои, которая будет зависеть от вида тепловой обработки, а также от самого технологического процесса.

Вопросу использования полножирной сои в кормовых рационах молодок посвящена работа [172]. Установлено, что у птицы снижался прирост живой массы в возрасте от 11 до 22 недель. Если птицу кормить в течение продуктивного периода соевым шротом, то степень яйценоскости приближается к значениям тех птиц, которые постоянно получали соевый шрот. Если же сырая полножирная соя продолжала присутствовать в кормовых рационах в течении периода яйцекладки, то требовалось дополнять этот рацион искусственным метионином, для того чтобы не допустить уменьшения продуктивности.

P. L. Paradis [174] на основании проведенных исследований сделал вывод, что у молодняка в возрасте до 21 недели вес был меньше, чем у той птицы, которую кормили соевым шротом или экструдированной соей. Показатель конверсии кормового рациона был снижен, в результате птица начинала нести яйца на уровне с молодками, получающими соевый шрот. Применение экструдированных полножирных семян сои не сопровождалось практически никаким отклонением от норм, кроме изменения поджелудочной железы.

Проведенный анализ результатов исследований показал, что кормовые рационы, содержащие от 10 до 15 % обработанных полножирных семян сои, дают неплохие результаты при вскармливании молодок. Если кормовые рационы, включающие сырую сою, предлагаются птице в возрасте 6–8 недель, при этом доля полножирной сои в них повышается, то это может привести к уменьшению привеса к общей массе тела, замедлению роста, а также возможному повышению падежа.

Приведенные выше исследования продолжались с теми же молодками на следующей производственной стадии. Птица, уже получавшая сырую сою, была переведена на соевый шрот и на сырые полножирные семена сои в чистом виде либо с добавлением метионина. Применение сырых семян сои во время подращивания и продуктивного периода приводило к снижению производственных показателей даже при добавлении в кормовой рацион метионина. Птица, переведенная с сырой полножирной сои на соевый продукт, увеличила продуктивность, но при этом продуктивность не достигла тех показателей, которые имелись в группе птицы, получавшей во время доращивания экструдированные полножирные семена сои, а во время продуктивного периода – соевый шрот. Полученные данные показывают, что применение сырых полножирных семян сои на этапе доращивания может пагубно отразиться на яйценоскости кур, вместе с тем экструдированные полножирные семена сои без опасения возможно применять в обоих циклах.

Другие ученые также получали сходные результаты исследований. Так, отмечается улучшение показателей качества скорлупы, так как использовались сырые или обработанные полножирные семена сои, при этом наблюдалось сокращение потребления птицей кормов, при применении тех рационов, в которые вводились экструдированные полножирные семена сои.

В исследованиях, проведенных в работе [174] отмечается, что при добавлении в кормовой рацион сырых семян сои и метионина наблюдалось уменьшение продуктивности. С другой стороны, введение в корма прожаренных семян сои или экструдированных полножирных семян вело к увеличению яйценоскости.

Вопросу использования в кормах несушек сырой полножирной сои посвящена работа [168]. Авторы пришли к выводу, что ее можно вводить в кормовой рацион не более 15 % и получать хорошие показатели продуктивности.

Из приведенных выше исследований видно, что наилучшая усвояемость полножирных семян сои и высокая продуктивность птицы получается, там где, в кормовые рационы вводится экструдированная соя. Поэтому, экструзия, которая совмещает тепловую и механическую обработку сои, обычно увязывается с увеличением кормовой ценности продукта. Также, высокоэффективными могут быть и другие способы механической обработки, в том случае если они сопровождаются тепловой обработкой семян.

Проведя анализ полученных результатов по многочисленным исследованиям, которые обобщены в работе [102] были выделены некоторые положения:

1) применение в кормах сырых полножирных семян сои ухудшает некоторые показатели, но добавка в них метионина может привести к резкому росту продуктивности, однако необходимо дополнительно учитывать к стоимости обработанной сои стоимость метионина;

2) кормовые рационы, которые составлены на правильно обработанной полножирной сое, как правило, дают результаты, похожие с теми, которые прослеживаются при применении соевого шрота; при этом фиксируется увеличение яйценоскости и улучшается качество скорлупы, имеются некоторые случаи сокращения потребления кормов;

3) масштабы падежа, снижение жира и массы птицы, другие показатели, как правило, свидетельствуют о неправильных обменных процессах и подтверждают, что полножирная соя, подвергнутая тепловой обработке, может без особых осложнений входить в кормовые рационы кур-несушек;

4) необходимо помнить, что полножирные семена сои содержат от 9,5 до 10,5 % линолевой кислоты, поэтому она полностью удовлетворяет необходимость птицы в данной незаменимой жирной кислоте;

5) можно вводить в кормовые рационы около 20 % полножирных семян сои и при этом получать стабильные высокие результаты.

В Российской Федерации и странах СНГ [126] также проводилось достаточно исследований по введению в кормовые рационы взрослой сельскохозяйственной птицы и цыплят полножирных семян сои и соевой муки, продуктов переработки и соевого белка. Исследования выявили, что мука, приготовленная из сои, а также полножирные семена сои не могут применяться в рационах сельскохозяйственной птицы без предварительной термообработки по причине уменьшения продуктивности птицы.

Потребность в термообработке сырых семян сои подтверждается соответствующими данными. Если предположим, взять коэффициент по использованию белка в высохшем обезжиренном молоке за 100 %, то в сырой сое данный показатель будет соответствовать 30 %. После непродолжительного нагревания он составит 35 %, а при правильном нагревании – 90 %. В том случае, если соя будет перегрета, в результате частичной денатурации, коэффициент использования будет равен 81 % [66, 101].

В Северо-Кавказском НИИ животноводства определена возможность заменить рыбную муку 25 % или 75 % соевым шротом по протеиновому содержанию в кормовых рационах цыплят-бройлеров [132].

Аналогично проводились исследования по внедрению в кормовые рационы сельскохозяйственной птицы соевого белка. Базой для извлечения соевого белка может служить соевая белковая основа. По результатам исследований учеными Ленинградского сельскохозяйственного института было установлено позитивное влияние замены белковой составляющей животного происхождения в кормовых рационах птицы и молодняка на соевый белок.

Данные российского и зарубежного опыта, свидетельствуют о том, что в кормовые рационы по массе сельскохозяйственной птицы можно вводить 27–33 % соевого шрота или до 20 % соевого белка. Применение таких кормовых рационов позволяет растить цыплят-бройлеров с живым весом 1 678 г и в возрасте 46 суток при потреблении корма 2,02 кг на 1 кг прироста живой массы.

Как показал приведенный анализ, полножирные семена сои, а также продукты ее переработки считаются ценными кормами. Вместе с тем известно, что при промышленном производстве соевой муки образовывается отход в объеме 15–20 % [61, 63], который в своем составе имеет оболочку, зародыш и дробленые семядоли сои.

Проанализировав литературные источники, были определены составные части семян сои (табл. 1.6).

Таблица 1.6 – Химическая структура сои, а также ее компонентов [115]

В процентах на сухое вещество

Компонент	Выход	Протеин	Жир	Зола	Углеводы
Целые семена	100,0	40,3	21,0	4,9	33,9
Семядоли	90,3	42,8	22,8	5,0	29,4
Оболочка	7,3	8,8	1,0	4,3	85,9
Зародыш	2,4	40,8	11,4	4,4	43,4

На основании анализа работ [50, 53, 132, 134, 135, 138] была разработана представленная на рисунке 1.8 схема классификации кормовых добавок, используемых в животноводстве и птицеводстве.

В результате проведенного литературного анализа установлено, что белково-минеральные кормовые добавки готовятся в своей основе на соевом шроте и пшеничных отрубях, а минеральные компоненты включаются в эти наполнители микродозами. При отсутствии эффективных дозирующих и смешивающих устройств, которые бы обеспечивали особо точную дозировку и перераспределение малых доз макроэлементов, возникают большие сложности при производстве таких добавок. Также известно, что превышение нормированных минимальных доз макроэлементов, а также микроэлементов считается токсичным.

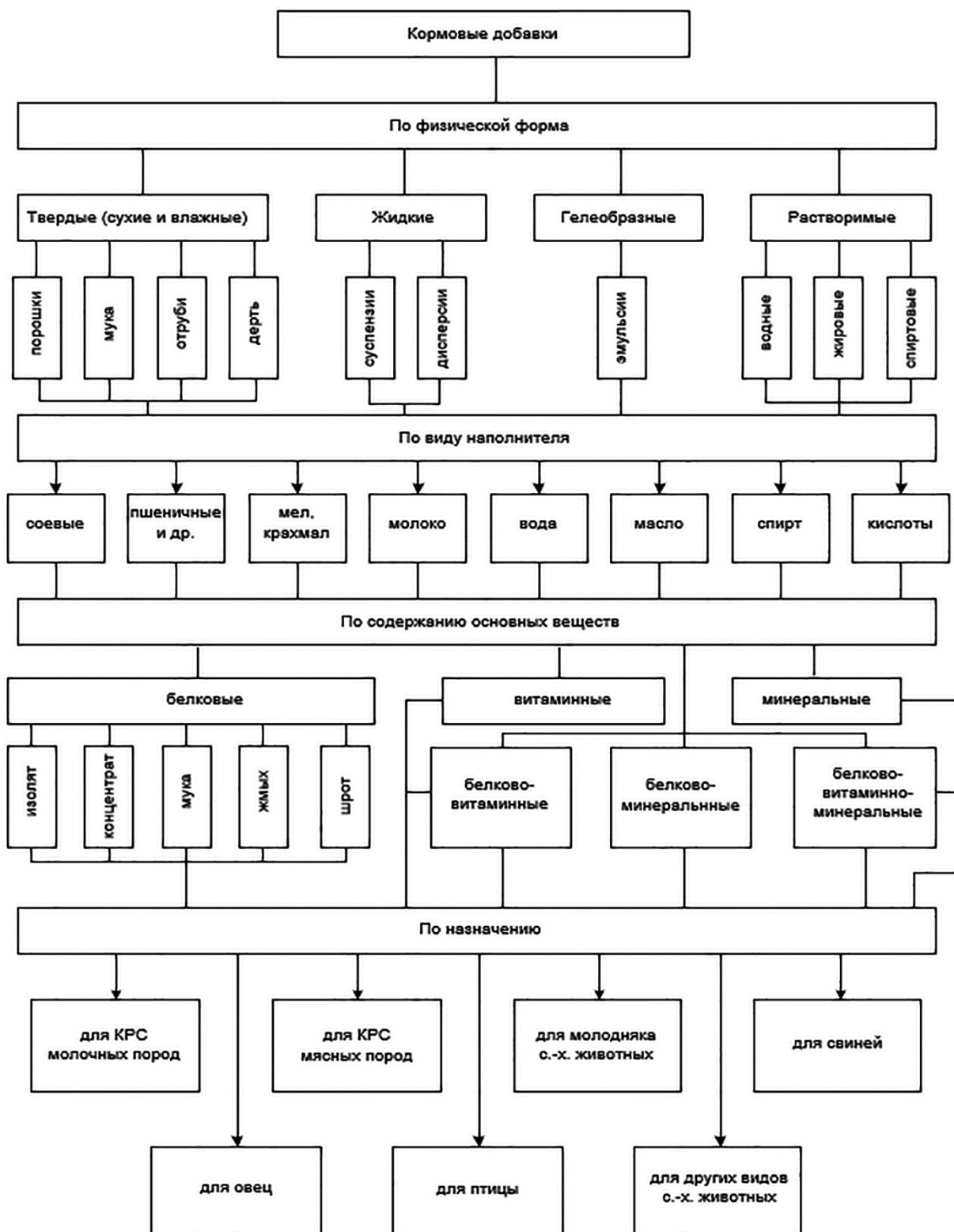


Рисунок 1.8 – Схема классификации кормовых добавок для сельскохозяйственных животных и птицы

Применение в кормлении животных и птиц морской ламинарии как богатого источника микро и макроэлементов считается оптимальным технологическим подходом для получения биоактивных компонентов естественного происхождения с использованием местного сырья.

Бурые водоросли крупных размеров получили название морской капусты или ламинарии сахарной (японской). В своей основе ламинария содержит высокомолекулярные полисахариды, такие как альгиновая кислота, моносахариды, манит, а также L-фруктозу. Отмечено содержание витаминов А, В₁, В₂ и В₁₂. Для морской капусты характерно содержание йода (2,7–3,0 %), наибольшая часть которого находится в виде йодидов или дийодирозина. Кроме этого, в ней также содержатся калий, кальций, бром, натрий (до 0,09 %) и микроэлементы – кобальт, марганец, медь и др.

Проведенные профессором Р. Л. Шарвадзе исследования, показали, что лучшими показателями обладали цыплята, в кормах которых имелось до 8 % ламинарии сахарной и 2 % ракушечника. Вместе с тем кормовые рационы с ракушечником взамен известняка в кормлении кур-несушек в объеме 7,5 % положительно воздействовали на яйценоскость. Установлено также, что при скармливании в рационе комбикорма марки ПК-1 ламинарии и крошка анадары усиливают положительное воздействие на сохранность молодняка, а также на рост и развитие птицы, яичную продуктивность и инкубационные качества яиц, на массу яйца и долю желтка в общей структуре яиц. При скармливании ламинарии живая масса молодняка возрастает на 4,6 %, сохранность при этом повышается на 2,3 %, а потребление кормов на один килограмм прироста уменьшается на 7,7 %. Ламинария сахарная оказала также позитивное влияние на показатели крови птицы [157].

Исследования, проведенные профессором Т. А. Краснощековой и профессором Р. Л. Шарвадзе показали, что введение гидробионтных продуктов в кор-

мовые рационы кур родительского стада благоприятно повлияло на продуктивность, а также на качество инкубационных яиц. Число оплодотворенных яиц от количества заложенных в инкубатор по сравнению с контрольной группой было меньше на 3,5 %, а вывод молодняка в опытной группе составил выше на 12,5 % по сравнению с контролем. По живому весу суточные цыплята превышали контроль на 2,0 г. Применяемая комплексная кормовая добавка из 6 % кукумарии, 6 % морской капусты и 2 % крошки анадары Броутона благоприятно влияет на рост и формирование курочек и петушков.

В общем, проведенные исследования выявили перспективность введения в состав комбикормовых смесей марки ПК-1 морепродуктов в сбалансированном сочетании [157].

Установлено, что йод также усваивается организмом существенно лучше если имеются такие незаменимые аминокислоты, как фенилаланин, тирозин, метионин + цистин, а также незаменимые жирные кислоты [91].

Данные естественные элементы питания в достаточном количестве имеются в полножирных семенах сои, а также в продуктах ее переработки. Поэтому производство биологически активного комплекса *соевые компоненты + ламинария*, сформированного в виде гранул, представляет, значительный научно-практический интерес. В то же время высокой кормовой ценностью обладает и хвойная мука [133].

1.6 Способы, технологии и технические средства получения гранулированных кормовых смесей, и их анализ

Слово *granulum* (гранула) с латинского языка переводится как зернышко. Комбикорм в виде гранул представляет собой продукт плотной формы и опре-

деленных размеров. Получение такого продукта возможно, если подготовленное сырье определенным способом (например, дезинтегрированием) пропускать через пресс.

Процесс обработки давлением различных материалов с их уплотнением, изменением формы и т. д., называется прессованием [3, 4, 70, 85, 86, 88].

К полученному таким образом кормовому продукту для сельскохозяйственной птицы предъявляются некоторые требования [56]:

- 1) влажность гранулированного корма должна составлять не более 14 %;
- 2) крошимость гранулированного корма должна быть 8 %;
- 3) проход сквозь сито с отверстиями радиусом 1 мм – не больше 10 %;
- 4) длина гранул должна составлять не более 3,0 мм;
- 5) гранулированный корм должен быть диаметром от 1,0 до 5,0 мм;
- 6) запах, внешний вид и цвет гранул должны быть как компоненты, входящие в состав кормовых гранул, а по виду – однородные;
- 7) содержание вредителей в сырье не допускается;
- 8) частицы металломагнитных примесей до 2 мм могут составлять не более 20–30 мг на 1 кг кормового продукта; присутствие частиц с острыми краями категорически не допустимо.

Условия к гранулированным комбикормам для сельскохозяйственной птицы и качественные показатели крупки после формирования гранул приведены в таблицах 1.7 и 1.8.

В состав многих технологических линий по изготовлению гранулированных кормов может входить: бункер-накопитель, дозатор, измельчитель кормовых компонентов, смеситель, устройство для прессования и сушки гранул, а также другое вспомогательное оборудование.

В качестве основных машин таких линий входят смесители, устройства для гранулирования и прессования кормовых смесей.

1 Проблема повышения эффективности приготовления кормовых добавок в птицеводстве

Таблица 1.7 – Требования, предъявляемые к комбикормам используемым для кормления птицы, определяемые остатками на сите [134]

В процентах

Сельскохозяйственная птица	Размер отверстий сит, мм	
	3	5
Несушки в возрасте от 7 до 18 мес. (181–640 дней)	более 3,5	более 5
Цыплята в возрасте 1–4 дней	до 5,0	не допустимо
Молодняк в возрасте: 5–20 дней 21–90 дней 90–150 дней	до 5,0 до 15 более 3,5	не допустимо не допустимо 5,0
Бройлеры в возрасте 5–50 дней	до 15	не допустимо
Индейки взрослые	более 3,5	5,0
Индюшки взрослые: 1–60 дней 61–120 дней 121–180 дней	менее 5,0 менее 15 более 3,5	не допустимо не допустимо 3,0

Таблица 1.8 – Показатели качества крупки после гранулирования [117]

Показатели	Корма для групп сельскохозяйственной птицы:		
	бройлеры от 1 до 30 суток; откорм утят; мясная порода гусят от 1 до 20 суток; индюшата от 1 до 30 суток	молодняк от 31 до 60 суток, бройлеры от 31 до 70 суток; мясная порода гусят от 21 до 70 суток; индюшата от 31 до 120 суток	куры-несушки и индюшки-несушки
Влажность, %	до 14	до 14	до 14
Остаток на сите с отверстиями (мм), %			
Ø 5	не допускается	не допускается	до 10
Ø 4	не допускается	до 10	не контролируют
Ø 3	до 20	не контролируют	не контролируют
Проход через сито с отверстиями Ø 1 мм, %	до 18	до 18	до 18
Наличие металломагнитной примеси (частиц размером до 2 мм включительно), мг в кг	25	25	30

Смесители широко применяются в любых отраслях народного хозяйства. Конструкции смесителей зависят от физико-механических свойств смешиваемых компонентов, а также от способа подачи продуктов и т. д. [3, 4, 10].

В зависимости от состава смешиваемых компонентов смесители могут быть предназначены для производства сухих комбикормов, а также влажных и жидких кормовых смесей. По характеру происходящего процесса они различаются на непрерывного и порционного воздействия, а также на две большие категории: с подвижной и с неподвижной камерой.

Смесители барабанного типа с подвижной камерой наиболее распространены на сегодняшний день и применяются для смешивания различных сыпучих материалов. Все они различаются формой смешивающей камеры и ее размещением относительно оси вращения.

Широкое распространение нашли горизонтальные цилиндрические смесители с барабанной камерой. Эти установки принадлежат к тихоходным машинам. Номинальная скорость вращения, которая обеспечивает оптимальное качество кормовой смеси, как правило, зависит от применяемого типа смесителя, а также от физических и механических свойств смешиваемых компонентов.

Во вторую группу (смесители с неподвижными камерами) можно отнести мешалочные смесители. В соответствии с конструктивными особенностями рабочих органов мешалок, для сухих сыпучих кормов используют шнековые (винтовые), лопастные, а также ленточные смесители. Для жидких кормов применяются турбинные, пропеллерные или лопастные, а для рассыпных с повышенной влажностью кормов – шнековые или лопастные. Наибольшее использование получили лопастные, винтовые и ленточные мешалки [88].

В заводских смесительных установках сложное перемещение мешалок осуществляется разными способами, посредством различных передаточных устройств привода.

Все смесители в зависимости от движения рабочих органов и используемого привода разделяют на следующие основные группы [10].

В первую группу относят аппараты, приводы которых выполнены, как правило, на уровне изобретений.

Вторую группу составляют смешивающие установки, рабочие органы которых приводятся при помощи редуктора с зубчато-рычажным (планетарным) механизмом. Данные смесители хорошо зарекомендовали себя при использовании для смешивания вязких и сыпучих кормов. Данные конструктивные решения обеспечивают вращение рабочих органов мешалок вокруг своих осей и одновременно вокруг оси своего корпуса. Конструирование планетарных смесителей привело к изобретению аппаратов, в которых перемешивающий рабочий орган совершает одновременное движение вокруг трех пересекающихся и параллельных осей. При этом точки, находящиеся на осях рабочего органа, совершают перемещение по спиральным или трохоидальным кривым. Некоторые конструкции подобных смесительных установок предложены фирмами из Англии (Jenkins), Германии (J. S. Fries Sohn), Швеции (Gerike) и США (Tower Iron Works) [10].

Воссоздание трохоидальных траекторий в заводских установках наиболее просто реализуют путем установки между электродвигателем и мешалкой смесителя двухступенчатого редуктора с бипланетарным механизмом. Данный класс смесителей получил название бипланетарного. Эти смесители по сравнению с другими аппаратами имеют некоторые преимущества: отсутствие мертвых зон; обеспечивается принудительное перемещение перемешиваемых компонентов в радиальном и тангенциальном, а также в осевом направлениях и в любых соотношениях; возможно изготовление устройств малых диаметров при сравнении с диаметром корпуса, потому что мешалки из-за сложного движения последовательно проходят все зоны аппарата, перемешивая, таким об-

разом, весь объем смеси, независимо от своих размеров; использование мешалок простых геометрических конфигураций в виде цилиндров и пластин. Данные особенности бипланетарных смесителей гарантируют при сравнительно невысоких затратах энергии необходимое качество смеси.

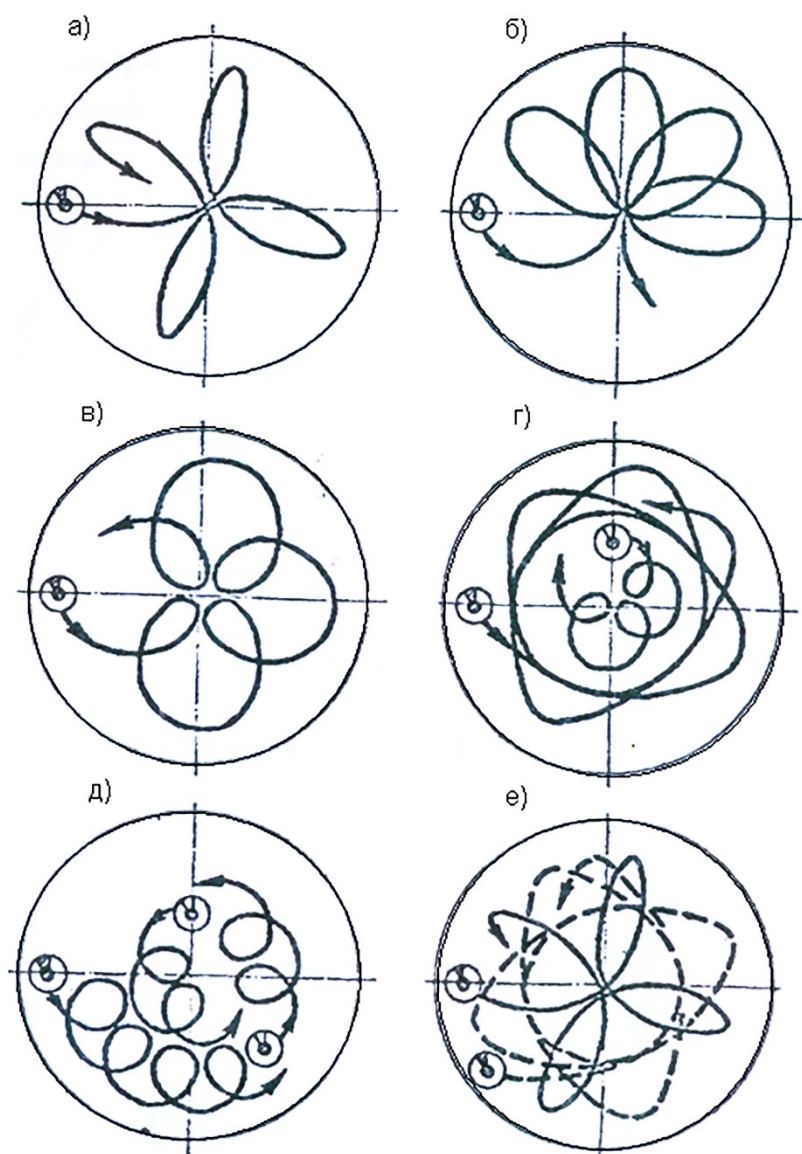
Рассмотренные выше виды бипланетарных смешивающих устройств имеют цилиндрический корпус. Такая форма корпуса не всегда является рациональной. В смесителях с плоским днищем иногда возникает проблема полной разгрузки готовой смеси. С целью устранения обозначенной проблемы может быть применен конический корпус.

Производители бипланетарных смесителей с цилиндрическим или с коническим корпусом чаще всего используют зубчато-рычажный механизм привода, расположенный непосредственно рядом с крышкой смесителя, то есть непосредственно в рабочей зоне. Предложенная конструктивная особенность усиливает требования к сальникам валов мешалок и поводков, а также к применяемым смазкам. Устранение рассмотренного недостатка позволяет использовать корпус в виде нескольких сферических секторов. Разработанная конструкция дает возможность применять реверсивное вращение рабочих органов мешалки вокруг собственной оси с одинаковой амплитудой, создавать смеситель, не используя уплотнения между его корпусом и рабочим органом мешалок, но изолируя рабочий объем смесителя от его электропривода. При этом уплотнения заменяются гибкими перегородками.

На рисунке 1.9 приведены характерные линии движения всех точек органов мешалок адаптивных циклоидальных аппаратов периодического действия [10, 96]. В настоящее время наибольшее применение получили смесители непрерывного воздействия в виде шнеков.

По универсальности и возможности регулировать процесс смешивания также заслуживает внимание битерно-винтообразный смеситель [85]. Его характерной особенностью является наличие рабочих органов двух типов, а

именно сплошного шнека и лопастного барабана, вращающихся в одном направлении (причем зоны, в которых они вращаются, не пересекаются). Наличие отдельного электропривода создает предпосылки использовать наиболее рациональные режимы работы смесителя. В тоже время его работа во многом будет зависеть от состава, физико-механических свойств первоначальных компонентов, что позволяет сделать битерно-винтовой смеситель универсальным.



а), б) составляющие гипоциклоид; в), г), д) схемы расположения эпициклоид;
е) составляющие комбинированных траекторий

**Рисунок 1.9 – Применяемые схемы траекторий
движения рабочих органов мешалок**

Заранее измельченные кормовые компоненты непрерывным потоком перемещаются через загрузочное отверстие и попадают на винт, затем двигаются вдоль всего корпуса смесителя и попадают в зону действия лопастного барабана; подхватываются лопастным барабаном, а затем центробежной силой возвращаются на винт, при этом кормовая масса новыми порциями подается под лопасти битера. Необходимо учитывать, что внутренняя поверхность крышки имеет направляющие ребра, которые могут изменять свое положение, а также рассекатели, позволяющие разделять поток массы и при этом создавать необходимые условия для ускорения процесса смешивания.

На основании анализа ранее проведенных исследований установлено, что кормовые смеси для животных и птицы необходимо спрессовывать в гранулы до необходимой плотности в кусочки цилиндрической формы диаметром не более 5–10 мм кормосмеси или их отдельные компоненты, которые предварительно измельчаются в муку или в мелкие частицы. В соответствии с требованиями ГОСТ 23513–79 «Брикеты и гранулы кормовые. Технические условия», плотность спрессованных гранул, которые предназначены для дальнейшей переработки либо закладываемых на сохранение сроком более двух месяцев, определена на уровне до $1\ 200\ \text{кг/м}^3$, а прочность не должна превышать 12 %.

Необходимое качество гранул обуславливается их плотностью, прочностью, а также крошимостью. Данные параметры находятся в зависимости от влажности исходного материала, гранулометрического и фракционного состава, а также от температуры, давления и времени прессования [70, 96].

Гранулометрический состав кормовой смеси при гранулировании определен назначением корма. Другие факторы, такие как влажность и необходимая температура обеспечиваются корму до прессования. Эта операция получила название кондиционирование или нормализация материала. Так, например, для нормального прохождения травяной муки или кормовых смесей через гра-

нулятор оптимальная влажность должна составлять от 15 до 16 %, при температуре 60–70 °С. Вместе с этим достигаются минимальные значения коэффициентов движения, внешнего трения. В тоже время при воздействии внешних сил, с указанной влажностью и температурой, возрастает пластическая деформация кормовых частиц, а выдавливаемая жидкость используется как смазка. Воздействуя паром при кондиционировании на кормовую смесь, ее влажность повышается с 11 до 16 %, при этом дробленое зерно становится определенной вязкости и пластичности. Одновременно в ходе прессования температура кормовой массы увеличивается до уровня более 75 °С. При этом нужно принимать во внимание, что в этот период выполняется неполная декстринизация крахмала в зернах. Наиболее эффективно процесс гранулирования будет протекать, когда частицы корма мелко измельчены, потому что коэффициенты трения уменьшаются в сравнении с более крупным измельчением.

Для производства кормовых гранул необходимо создать определенные условия, то есть обрабатывать паром под давлением от 0,2 до 0,35 МПа (расход 0,4–0,5 кг на 1 кг корма), но возможно подача пара с давлением в 0,08 МПа, при этом снижается качество и количество производимого гранулята.

При влажности внутри клеток кормовой массы более 16 %, частицы становятся упругими и поэтому хуже спрессовываются между собой. А это значит, что экспозиция увлажнения вплоть до момента уплотнения должна быть наименьшей относительно времени набухания кормовых частиц. Увлажненная их поверхность содействует наилучшему сближению клеток и уплотнению. Этого возможно достичь при кондиционировании паром либо при использовании устройств для перераспределения увлажнителя.

Номинальная производительность пресс-гранулятора зависит от величины частиц компонентов. Так, например, при уплотнении кормовой смеси со средним размером частиц (остаток на поверхности сит в 3 мм от 5 до 10 %, 5 мм –

нет) его производительность увеличивается на 10–15 %, чем при использовании комбикорма крупного помола.

Для лучшего уплотнения комбикормов при брикетировании либо гранулировании необходимо обеспечить равномерное уплотнение кормовой массы в пресс-камерах и матрицах фильер, что позволяет обеспечивать нужную связь между размером кормовых частиц и крошимостью. Этим объясняется сложность получения высокой прочности гранул диаметром свыше 20 мм. С увеличением числа срезов, крошимость полученных гранул и брикетов становится выше. Также она зависит от времени их охлаждения и от применяемого способа кондиционирования.

Изготавливать гранулы возможно и окатыванием мучнистых кормов в шарики с влажностью массы в 30–35 %. Но данный способ не нашел широкого распространения, в связи с необходимостью тонкого размола компонентов.

С целью придания гранулам из слабо прессуемых компонентов необходимой прочности добавляют жир как связующее вещество. При его использовании возможно получение прочных гранул со сниженной плотностью (около 600 кг/м).

Также для лучшего спрессовывания используют органические вещества (меласса, крахмал, соленый гидрол и многие другие). Проведенные ранее исследования показали, что использование таких органических соединений на 20–40 % снижает крошимость гранул, но вместе с тем увеличивается их кормовая ценность. Для производства необходимой прочности кормовых гранул первоначальная влажность уплотняемых компонентов комбикорма должна составлять не более 15 %.

В современных технологических схемах для уплотнения кормосмеси применяют пресс-грануляторы, в которых используются неподвижные и вращающиеся матрицы. В самую распространенную группу входят пресс-грану-

ляторы отечественного производства ОГМ-0,8А, ОГМ-1,5, ДГ-1 [96], а в другую – пресс-грануляторы ОПК-2А-1, 50/2 и 220-40 из Германии, Т-600 из Чехии и др. [88].

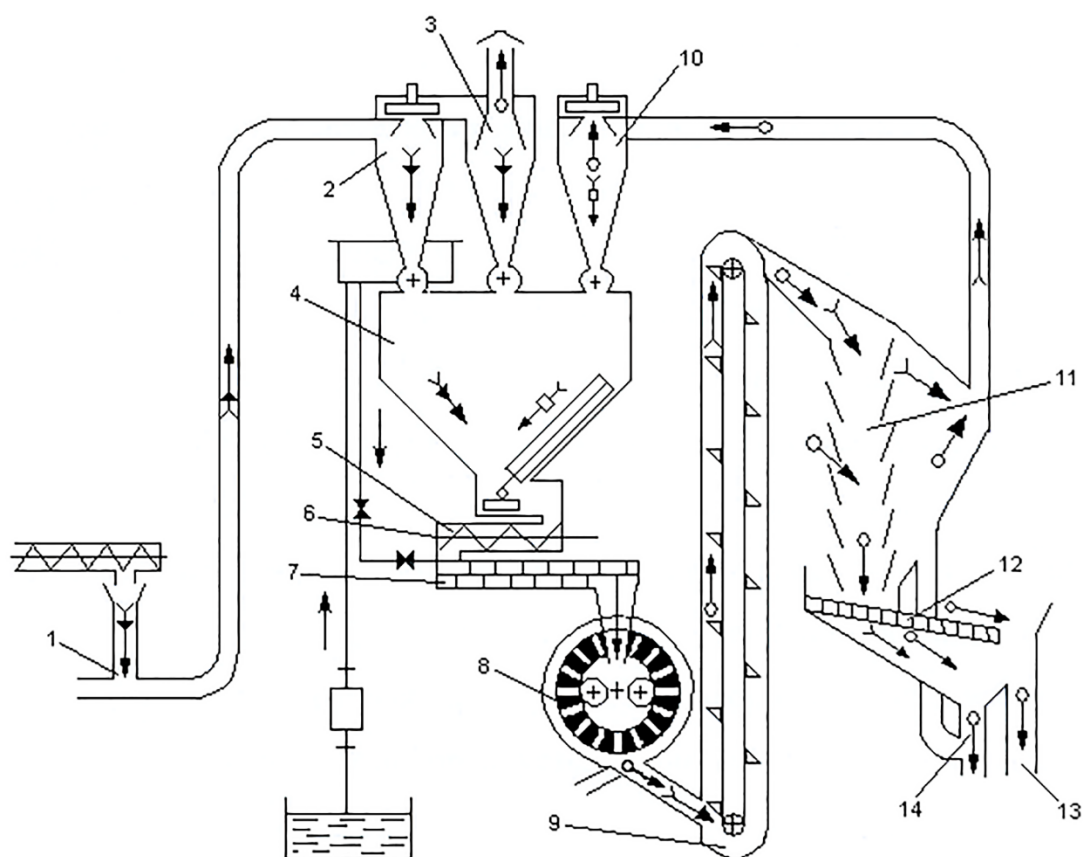
К группе устройств с вертикальным расположением неподвижной матрицы и поворотными роликами относятся неподвижные ОПК-2А-2 [96], мобильные и стационарные пресс-грануляторы фирм John Deere и Lendel (США) и некоторые другие, с горизонтальным расположением кольцевой неподвижной матрицы (группа 3) – прессы марок ПБС-3,0 (ВИМ), РЛ-450 Rousselle (Франция). К четвертой группе относятся штемпельные стационарные и мобильные прессы фирм производителей из Франции (MELEN), Германии (FAR и KANL) и др.

Пресс-грануляторы с плоскими и кольцевыми матрицами выдавливают материал роликами через фильеры в матрице. В этих установках обеспечивается непрерывность протекания процесса и тем самым обеспечивается большая производительность. Но для этих прессов необходимы различные матрицы для кормосмесей с отличающимися физико-механическими свойствами. Материал, который уплотняется в них, в дополнение перетирается роликами, что приводит к увеличению энергоемкости процесса.

На рисунке 1.10 приведена схема технологической линии с установками типа ОГМ-0,8А [98].

Травяная мука из сушилки подается через загрузочное устройство 1 в систему аспирации 2 и далее из него в расходный бункер 4. Для равномерного прохождения муки на гранулятор и ликвидации водообразования в расходном бункере используется планетарная мешалка с электроприводом от вала дозирующего устройства 5 и пресса 8. С помощью шнекового дозатора регулируется подача муки изменением скорости вращения через электропривод и клиноремный вариатор. На выходе из шнекового дозатора при помощи распы-

лителя 6 травяная мука увлажняется. Совместно с водой вводятся антиоксиданты или связующие вещества. Кондиционер-смеситель 7 обеспечивает равномерное увлажнение и однородность смешивания кормовой смеси. Предварительно подготовленная мука самостоятельно поступает в пресс-гранулятор 8 и с помощью лопаток направляется к внутренней поверхности вращающейся матрицы. Пару пассивных валцов внутри матрицы выдавливают спрессованную массу через ее отверстия.



1 – устройство для загрузки муки; 2, 3 и 10 – система аспирации; 4 – расходный бункер; 5 – дозирующее устройство; 6 – распылитель воды; 7 – кондиционер-смеситель; 8 – пресс-гранулятор; 9 – ковшовый транспортер; 11 – охладитель гранул; 12 – вибросито; 13 – отборник гранулированного корма; 14 – отборник крошки и негранулированного корма; $\circ \rightarrow$ – воздух; $\square \rightarrow$ – вода; \rightarrow – кормовая смесь; $\rightarrow \rightarrow$ – сечка; $\bullet \rightarrow$ – гранулят

Рисунок 1.10 – Схема технологической линии и установок типа ОГМ

Полученные таким образом гранулы соприкасаются с неподвижными ножами и обламываются. Обладая высокой температурой (77–107 °С), гранулы ковшовым транспортером 9 направляются в охладитель гранул 11, в котором

охлаждаются направленным потоком воздуха, а часть негранулированной массы отводится вентилятором системы аспирации 10 в расходный бункер 4. Остывшие гранулы направляются на вибросито 12, далее в отборник 13, а затем на затаривание в мешки или транспортирование к непосредственному месту хранения. Негранулированная часть травяной муки и крошка, пройденная через отверстия сит в отборник 14, направленным воздухом подается в систему аспирации 10, а затем следует на повторную грануляцию.

Одним из основных узлов в установке ОГМ-0,8А является пресс-гранулятор, который включает в себя шнековый дозатор 5, лопастной смеситель 7, пресс 8 и редуктор электропривода дозатора. Основным устройством гранулятора является пресс, который состоит из редуктора, прессующего узла с вертикальной круговой матрицей и пары пассивных вальцов (роллеров) [3, 4, 96, 98].

В кормоцехах, где используется большой объем производства, применяют грануляторы типа ОГМ-1,5 и ОГМ-3,0 и ДГ-1, которые имеют подобные конструкции с производительностью 4–15 т/ч.

Технические характеристики основных типов пресс-грануляторов приведены в таблице 1.9.

Для уплотнения полнорационных кормовых смесей широкое применение нашел пресс-гранулятор ДГ-1. Он состоит из шнекового питателя, лопастного одновального смесителя, прессы и коммуникаций, по которым в смеситель подается пар и меласса. Величину подачи массы корма регулируют скоростью вращения шнека, при этом подача воды и пара осуществляется в зону разгрузочного отверстия питателя через форсунки и коллектор. Также, в верхней части рассматриваемого смесителя размещены три форсунки для ввода жидких компонентов. Необходимый пар подается посредством редукционного клапана, уменьшающего давление до 0,4 МПа, контроль которого осуществляется

по манометру. Расход пара составляет 0,167 кг/с, а температура гранул на выходе с пресса – 50–80 °С.

Таблица 1.9 – Техническая характеристика основных пресс-грануляторов используемых в производстве [4, 96, 98]

Параметры	ОГМ-0,8А	ОГМ-1,5	ДГ-1
Производительность при диаметре 10 мм на гранулировании: травяной муки	0,9	1,5	2,0
комбикорма	3	5	6-10
Диаметр отверстий сменных матриц, мм	10,14	10,14	12,6; 19
Внутренний диаметр матрицы, мм	350	480	480
Ширина рабочей поверхности, мм	11	120	117
Частота вращения матриц, мин ⁻¹	218	140	213
Установленная мощность, кВт	60	98,6	78
в том числе пресса	37	75	75
Масса оборудования, т	3,3	5,4	5,0

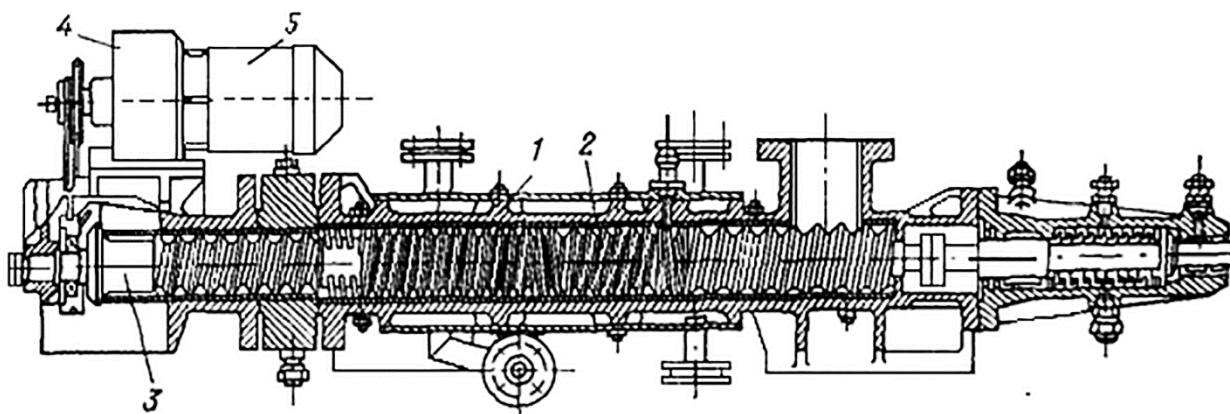
Пресс-гранулятор ДГ-1 комплектуют вертикальным охладителем, а также крошителем гранул, который используется при необходимости для измельчения гранулята в крупку. При этом крошитель имеет рифленые волки. На ведущем валце рифы выполнены по винтовой схеме с наклоном к его оси 2°, на ведомом валце – с углом 87°.

Производимые японские пресс-грануляторы незначительно отличаются от отечественных конструкций пресс-грануляторов (ДГ-1). Основное их отличие заключается в мощности основного электропривода (от 12 до 200 кВт), а также в размерах применяемых матриц и производительности.

Способы гранулирования в зависимости от влажности исходного материала подразделяются на влажный и сухой. Первым способом гранулируют комбикорма влажностью 35–50 %, которые в соответствии с классификацией академика П. А. Ребиндера [122] принадлежат к группе гидрофильных гелей и соответственно занимают место между тягучими жидкостями и твердым те-

лом. При этом для них характерны упругость и эластичность. После формования они требуют сушки и дальнейшего охлаждения. Такие гранулы весьма прочны и могут сохранять свою форму в течении длительного времени.

На рисунке 1.11 приведена схема смесителя-гранулятора, в конструкцию которого входит корпус 1, шнек 2, гранулирующие головки 3, планетарный редуктор 4 и электродвигатель 5.



1 – корпус; 2 – шнек; 3 – гранулирующие головки;
4 – планетарный редуктор; 5 – электродвигатель

**Рисунок 1.11 – Смеситель-гранулятор
для влажного гранулирования кормов [110]**

Рабочие органы (два шнека) смесителя-гранулятора состоят из насадок с правой и левой нарезкой, расположенных по определенной схеме. При этом для того чтобы витки одного шнека входили во впадины другого, профиль нарезки и межосевое расстояние рассчитывают с малым зазором (0,3–0,4 мм). Такая схема способствует перетиранию кормовых частиц, интенсивному смешиванию всех компонентов и тем самым обеспечивает самоочистку обоих шнеков. Два шнека диаметром 300 мм вращаются только в одном направлении. Рабочие органы по длине смесителя-гранулятора формируют четыре зоны: первая – транспортирующая с двухзаходным червяком, вторая – смешивающая с однозаходным червяком, третья – нагнетательная с двухзаходным червяком и четвертая – прессующая, состоящая из двух трехгранных кулачков

особого профиля. Оканчивается шнек отбивными витками, которые препятствуют попаданию пластичной массы в подшипники опорного типа. Давление, создаваемое в прессе, достигает 5–5,5 МПа. Головка для гранулирования состоит из цилиндрической сменной матрицы, которая имеет радиальные отверстия. По ней с наружной стороны движется срезающий нож, который приводится в движение электрическим двигателем с электромуфтой при управлении от регулятора скорости, за счет чего имеется возможность изменять длину гранул.

Выполнив анализ имеющихся схем грануляторов, можно сделать заключение, что все они не могут обеспечивать гранулирование бинарных композиций (соевый компонент и мясокостная либо рыбкостная, либо ламинариевая, либо травяная паста). Таким образом, одной из задач исследования является обоснование конструктивных параметров смесителя-гранулятора. Он предназначен для производства гранул из кормовой смеси влажностью 34–38 %, которая имеет своеобразную пастовую консистенцию и обладает определенными специфическими свойствами и показателями. Все рассмотренные прессующе-гранулирующие установки не могут быть применены в малых фермерских хозяйствах из-за высокой энергоемкости и металлоемкости.

1.7 Обзор научных исследований по изучению процессов получения кормовых продуктов и добавок

1.7.1 Краткий обзор исследований процесса переработки отходов убоя

Значительный вклад в исследования новых технологий по производству кормового гранулята и способов оптимизации, а также структуры кормовых цехов внесли В. Г. Волик, В. Р. Алешкин, А. В. Горбатов, А. А. Безматерных,

В. А. Лысенко, С. В. Мельников, В. Ю. Карпин и многие другие ученые [4, 11, 19, 46, 75, 95, 96].

Методика расчета кормоцехов для животноводства обоснована в работах С. В. Мельникова, А. И. Завражного и некоторых других [70, 96]. В исследованиях, проведенных Н. А. Барсовым, Б. И. Вагиным и другими учеными, рассмотрены вопросы оптимизации кормоцехов и технических средств для звероводства [10, 19]. Проблематикой утилизации отходов в звероводстве и птицеводстве занимались В. А. Лысенко, В. Ю. Карпин и другие ученые [75, 94].

Много исследований в сфере утилизации остатков от убоя животных и птицы выполнили ученые Санкт-Петербургского государственного аграрного университета и Петрозаводского государственного аграрного университета. основополагающие научные исследования описаны в работах Б. И. Вагина, Н. А. Барсова, В. Ю. Карпина, А. А. Безматерных и других [9, 11, 17, 75].

Разработкой установок для измельчения мясо-рыбных остатков и производства мясокостной муки занимались Н. А. Барсов, А. В. Горбатов, С. В. Мельников и другие [9, 47, 96].

В научных работах Б. И. Вагина, В. Г. Волик, А. Н. Вишневого, С. Н. Воякина, С. М. Доценко, Д. Т. Жайлаубаева, К. А. Иванова, В. И. Ивашова, В. Ю. Карпина и других проведены исследования физико-механических свойств рыбного, мясного и костного сырья, а также структурно-механических свойств отходов убоя [17, 20, 27, 36, 55, 67, 73–75, 106, 111].

Изучению вопросов измельчения сырья при изготовлении мясокостной и рыбной муки, а также интенсификации режимов сушки посвящены работы К. А. Иванова, В. Ю. Карпина, В. А. Лысенко, Ю. Т. Тихонова и других [73, 75, 95, 147].

Кроме общеизвестных технологий по переработке остатков от убоя, в последний период ведется много исследований в сфере переработки отходов с помощью экструдеров и методами ферментной переработки.

Однако в настоящее время недостаточно изучен вопрос по переработке остатков убоя птицы, а именно недостаточно полно исследованы физические и механические свойства, а также процесс остывания изготовленной мясокостной муки. Качество получаемого продукта зависит от способа и технологических параметров охлаждения, энергозатрат на обслуживание применяемого оборудования.

С точки зрения физико-механических и реологических свойств кормов животного происхождения их классифицируют с учетом состава и механизированной обработки следующим образом [73, 75, 87]:

- 1) костное сырье – свежие кости с остатками соединительной ткани, обезжиренные кости и другие виды костей;
- 2) мясо-костное сырье – мускулатура вместе с костной и всеми другими прилегающими тканями;
- 3) бескостное мясо – мускулатура, освобожденная от костей.

По механическим свойствам мясо-рыбное сырье разделяют на пластичное (мышечная и соединительная ткани, жир-сырец) и хрупкое (кость).

Основные физико-механические и реологические свойства мясо-рыбных кормов: влажность, гранулометрический состав, плотность, коэффициент трения, а также предельное напряжение сдвига, коэффициент бокового распора, давление истечения и влагоудерживающая способность.

Влажность – показатель, оказывающий существенное влияние на все характеристики корма.

Гранулометрический состав характеризует качество работы измельчающих машин и оказывает влияние на технологическое качество смеси. Состав

смеси определяют методом непосредственного измерения измельченных частиц, предложенным Б. В. Горбарцом [43, 44]. Этот метод дает относительно высокую точность, но весьма трудоемок.

Для производственных условий М. А. Трутневым разработан экспресс-метод определения среднего размера частиц гомогенизированного корма. Суть его заключается в том, что выбранную навеску корма промывают на одном из трех сит с размерами отверстий 2, 3 и 5 мм. Остаток на сите взвешивают и выражают в процентах к массе навески корма. По найденному значению процентного отношения корма в сите находят средний размер частиц по специальной номограмме [71]. Предельное напряжение сдвига для измельченных мясо-рыбных кормов является комплексным качественным показателем [84]:

$$\tau_{\text{пр}} = k \cdot m/h^2 \quad (1.1)$$

где $\tau_{\text{пр}}$ – предельное напряжение сдвига;

k – константа конуса, определяемая по специальной номограмме [99];

m – масса подвижной части прибора (кронштейн и плунжер);

h – общая глубина погружения конуса.

Характер измерения предельного напряжения сдвига мясо-рыбных кормов в зависимости от глубины погружения конуса (h) также приведен в работе [44].

Плотность кормов находят путем вычисления массы воды, вытесненной известной массой навески, по соотношению (1.2) [44]:

$$\rho_{\text{к}} = m/V_{\text{в}} \quad (1.2)$$

где m – масса навески корма;

$V_{\text{в}}$ – объем жидкости, вытесненной навеской.

Пределы численных значений показателей физико-механических и реологических свойств кормовых смесей приведены в таблице 1.10.

Все основные физико-механические свойства для мясо-рыбных кормов определены под руководством профессора Б. И. Вагина [17].

Таблица 1.10 – Диапазон значений показателей, характеризующих отдельные свойства гомогенизированных мясо-рыбных кормовых смесей (по М. А. Трутневу)

Показатель	Пределы измерений	Среднее значение
Влажность, %	58,5–74,7	64,4
Средний диаметр частиц, мм	2,82–6,36	4,69
Пределные напряжения сдвига, Па	220–530	328
Плотность, кг/м ³	1 042–1 082	1 063

Измельчители мясо-рыбных кормов предназначены для грубого (дробилки-измельчители) и тонкого (мясорубки) измельчения и отличаются большим разнообразием конструкций [90].

Для относительно небольших хозяйств рекомендуют комбинированные агрегаты, объединяющие в одной конструкции измельчители грубого и тонкого измельчения, а также фаршемешалку. Примерами таких агрегатов могут служить И-76, ЦСК-87 и ИПА-69.

Особенности рабочего процесса измельчителей и мясорубок обусловлены технологией переработки мясо-рыбных кормов. Основными операциями их обработки при приготовлении кормовых смесей являются ветеринарно-санитарная экспертиза, дефростация (размораживание) и измельчение. Перед закладкой в холодильник мясо-рыбные корма сортируют, моют и проводят санитарно-ветеринарную экспертизу.

Установлено, что измельчение мясо-рыбных кормов при низких температурах (ниже 263 К) способствует получению фарша, более однородного по структуре. В исследованиях С. В. Мельникова и Б. В. Горбарца равномерность массы частиц при измельчении китового мяса при температуре 262 К по сравнению с измельчением его при температуре хранения 288 К повышается в 4–5 раз [44, 96]. При измельчении мясо-рыбного сырья в замороженном виде (ниже 268 К) необходимы большие затраты энергии, что приводит к перегрузкам всех механизмов, а также ухудшаются условия труда работников кормоцеха. По данным А. М. Рыжука, сопротивление статическому резанию тканей мышц снижается с поднятием температуры исходного сырья. В пределах 260–290 К оно минимально и

практически не меняется. При температуре ниже 270 К напряжение сдвига также возрастает [125].

Измельчение мясо-рыбных кормов проводят при температуре не ниже 270 К, а это значит, что корма до измельчения дефростируют. Подбор способа дефростации в основном зависит от метода подачи теплоты и ее источника, а также от формы дефростируемого материала.

В основу рабочего процесса измельчителей положен принцип раскалывания, дробления, раздавливания и резания. При раскалывании используемый материал рушится именно в тех местах, где концентрация нагрузок наибольшая под воздействием режущего инструмента клиновидной формы. При этом измельченный материал образует непостоянные по размеру куски. Дробление мясо-рыбных кормов происходит вследствие удара и действия динамических нагрузок на отдельных участках куска. При раздавливании материал деформируется под действием нагрузки по всему объему, и когда внутреннее напряжение достигнет в нем предела прочности сжатия, разрушается. Процесс сопровождается более высокими затратами энергии по сравнению с другими способами. В результате резания материал разделяется на части заранее заданных размеров и форм.

Б. И. Вагин считает, что из всех перечисленных способов для измельчения мясо-рыбных кормов наиболее приемлемым является способ резания и раскалывания, а также резание пуансоном с вдавливанием [17].

1.7.2 Краткий обзор исследований процесса получения гранулированных кормосмесей

Исследования, проводимые В. Р. Алешкиным, С. М. Доценко, Л. А. Ковалевой, С. В. Мельниковым, П. Н. Миончинским, В. И. Сыроватка и многими другими учеными посвящены вопросам производства гранулированных кормовых смесей [3, 4, 56, 57, 96, 99, 139].

Одними из основных технологических операций этого процесса являются смешивание кормовых компонентов и их прессование в каналах матрицы. На основании проведенных исследований установлено, что влажность исходных смешиваемых компонентов значительно влияет на процесс смешивания и гранулирования.

Под смешиванием понимается механический процесс, вследствие которого первоначальные компоненты, находящиеся раздельно, формируют смесь с однородным распределением в ней каждого элемента [4]. При этом трудность реализации процесса смешивания во многом зависит от физического состояния смешиваемых продуктов. Также установлено, что при смешивании сухих компонентов с влажными, повышение относительной влажности до 15 % позволяет повышать однородность смеси. Дальнейшее повышение влажности влечет к увеличению времени смешивания. Необходимая степень однородности при смешивании кормовых компонентов достигается при приближении к единице соотношения плотности и объема смешиваемых сыпучих элементов. Данное условие учитывают при подборе наполнителя для производства премиксов и белково-витаминно-минеральных добавок [26]. На практике наибольшее распространение получило смешивание с помощью движущихся лопастей и камеры смесителя, пропускания кормовой массы сквозь сопло сжатого воздуха, пара или жидкости, а также вибрации ультразвука и электрогидравлического эффекта и др. [88].

Другой величиной, определяющей подбор типа смесителя, считается необходимая однородность приготовленной смеси. Процесс смешивания различных компонентов рассматривается как вероятностный, а уровень однородности зернистой смеси устанавливают отбором проб из кормовой смеси с одновременным статистическим анализом.

Проводя исследования процессов смешивания кормов с различной влажностью, изучается главным образом процесс взаимодействия компонентов и

изменения их массовой доли. В связи с этим установлено, что достигнуть полного смешивания возможно только в теоретической системе при идеальных условиях.

В реальных системах прослеживается два взаимообратных процесса: блендирование и сегрегация. Данные, которые получили Е. А. Раскатова и П. К. Жевлаков, свидетельствуют о том, что по завершении некоторого времени (t) блендирования компонентов кормовой смеси наступает максимально равновесное состояние полученной смеси – *динамическое равновесие*, поэтому, продолжая смешивать элементы кормосмеси и по истечении некоторого времени, при исследовании пробы из всего объема, массовая доля почти не изменяется. Осуществлять дальнейшее блендирование бессмысленно [68, 121].

Достижение абсолютного смешивания кормовой смеси возможно, при условии, если ее частицы не отличаются формой, размером и плотностью. Оценить процесс блендирования в общем случае и повышения массовой доли контрольного элемента можно по уравнению (1.3) [121]:

$$v_{\text{см}} = \frac{dC_i}{dt} = f_n(t) - f_0(t) \quad (1.3)$$

где $v_{\text{см}}$ – интенсивность процесса образования смеси;

C_i – доля контрольного элемента смеси;

t – время блендирования;

f_n и f_0 – интенсивность прямого и обратного процессов, соответственно.

Для определения длительности процесса блендирования в тестообразных и сыпучих компонентах, в работе [114] предлагается применить выражение профессора Г. А. Кука (1.4):

$$t = \frac{\ln \left[\frac{c_{\text{н}}}{c_{\text{н}} - c_{\text{к}}} \right]}{p} \quad (1.4)$$

где $c_{\text{н}}$ и $c_{\text{к}}$ – массовая доля элементов смеси в начале и конце процесса;

p – параметр, определенный экспериментально для каждого условия (постоянная величина).

Кормовая смесь считается двухкомпонентной, если качество блендирования оценивается одной случайной величиной. С этой целью из кормовой смеси выделяют один контрольный компонент, а все другие компоненты объединяются в другой, условный. Качество смеси, определяется по уровню распределения контрольного элемента в общей массе [4].

Завершенность хода блендирования оценивается количественно степенью однородности. Это соотношение содержания контрольного элемента в рассматриваемой пробе и элемента в идеальной смеси. Применяв эмпирические выражения А. А. Лапшина [96], можно определить степень однородности по формулам (1.5)–(1.6):

$$\theta = \frac{1}{n} \sum \frac{B_1}{B_0} \text{ при } B_1 < B_0, \quad (1.5)$$

$$\theta = \frac{1}{n} \sum \frac{B_0 - B_1}{B_0} \text{ при } B_1 > B_0 \quad (1.6)$$

где θ – степень однородности;

n – количество проб;

B_0 – доля меньшего элемента в смеси;

B_1 – доля меньшего элемента в пробе.

Степень однородности можно рассчитать, как соотношение величины теоретического и опытного среднеквадратичного отклонения (1.7) [96]:

$$\theta = \frac{\sigma_m}{S}, \quad (1.7)$$

$$\sigma_m = \left[\sum_{i=1}^m (x_i - p)^2 / (m - 1) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.8)$$

где σ_m – теоретическое среднеквадратичное отклонение;

S – опытное среднеквадратичное отклонение;

x_i – содержание элемента в i -й пробе;

p – расчетное или заданное содержание контрольного элемента.

Опытное среднеквадратичное отклонение, определяемое непосредственно в ходе опыта, рассчитывается по выражению (1.9) [96]:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - x)^2 / (m - 1)} \quad (1.9)$$

где x – среднеарифметическая величина контрольного элемента во всех пробах;

m – общее количество проб.

Определенная степень однородности выражается в долях единицы либо в процентах и, если она стремится к единице либо к 100 %, то смесь считается качественной. Одним из возможных критериев для оценки процесса блендирования может быть коэффициент неоднородности. Его физический смысл состоит в измерении среднеквадратичного отклонения доли контрольного элемента в единицах среднего числа случайной величины (1.10) [124]:

$$v_c = 10^2 \cdot C_0 \cdot \left[\frac{\sum (C_i - C_0)}{(n - 1)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.10)$$

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

Процесс блендирования считается более качественным, если величина неоднородности уменьшается. Для многих смесителей она составляет 20 %, что считается достаточным. Определение оптимального периода блендирования для какого-либо смешивающего устройства и вида материала выполняют экспериментально. Например, для многих кормосмесителей, которые работают периодически, этот период составляет от 8 до 12 минут [124].

В работе профессора В. Р. Алешкина [4] отмечается, что на основании проведенных исследований, закон распределения части контрольного компонента в кормовой смеси по окончании процесса может являться биномиальным, пуассоновским или нормальным. При вводе небольшой дозы контрольного компонента (не более 10 %) расположение его частиц в единой массе подчиняется пуассоновскому распределению.

При довольно большом числе проб биномиальное распределение наилучшим образом аппроксимируется. Поэтому, отталкиваясь из стохастической сущности процесса блендирования, его оценку можно проводить статистическими методами.

В соответствии с исследованиями, представленными в работе [3], распределение частиц контрольного элемента в смеси подчиняется обычному закону распределения. Поэтому необходимо отталкиваться от зоотехнических условий, которые задаются предельным отклонением числа либо доли частиц контрольного элемента (Δ_i) от среднего значения в отобранных пробах смешивающего устройства. По результатам анализа m числа проб определяем величину доли частиц контрольного элемента, равную ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$) и величину отклонения:

$$\Delta_i = x_i - x \quad (1.11)$$

где x – средняя величина доли частиц контрольного элемента в смеси.

По результатам исследований Всероссийского НИИ механизации животноводства, показатель равномерности распределения элементов в смешивающих устройствах непрерывного действия будет зависеть от количества и равномерности подачи элементов, а также от предварительной степени их измельчения.

Теоретические исследования перемещения частицы массы смеси в битерно-винтовом смесителе, выполненные Г. М. Куктой [85], позволили вывести зависимости для расчета параметров и режимов нормальной работы шнека и битера, при которых выполняется технологический процесс блендирования кормов. Им также предложено выражение, которое связывает производительность смесителя ($Q_{см}$) и диаметр рабочих органов (D) (1.12):

$$Q_{\text{см}} = \frac{1,8\rho_{\text{см}}}{\pi} \sqrt{\frac{D^5 \cdot g \cdot \cos^2(\alpha + \varphi) - 1}{\sin^2 \alpha \cdot \sin^2(\alpha + \varphi) \sqrt{\frac{1 - \text{ctg}^2(\alpha + \varphi)}{2}}} \psi_{\text{В}} \cdot k_{\tau} \quad (1.12)$$

Вопросами прессования кормов занимались многие отечественные и зарубежные ученые. Физический смысл прессования заключается в уплотнении и упрочнении рыхлой массы кормовой смеси механическим давлением.

Для оценки характеристики прессуемости кормовой смеси служит величина степени уплотнения ($\lambda_{\text{упл}}$), представляющая отношение объема находящегося материала (V) в камере пресса с неизменной площадью поперечного сечения до момента прессования к полученному объему (V_k) после прессования (1.13)–(1.14) [96]:

$$\lambda_{\text{упл}} = \frac{V}{V_k} = \frac{h}{h_k} \text{ или} \quad (1.13)$$

$$\frac{M\rho}{M\rho_0} = \frac{\rho}{\rho_0} \quad (1.14)$$

где h и h_k – высота слоя смеси в камере постоянного сечения до и после прессования, соответственно;

M – масса уплотненного материала;

ρ_0 и ρ – плотность рыхлого и уплотненного материалов, соответственно.

Процессы уплотнения и сцепления частиц в монолите, описываются многими гипотезами: капиллярной, коллоидной, молекулярной и др. Самое большое признание нашла молекулярная теория В. М. Наумовича [105], которая разработана на базе термодинамической теории прилипания Б. В. Дерягина [52]. На основании данной теории, существование сил молекулярного притяжения среди атомов и молекул приводит к возникновению сил среди микроскопических тел, аналогичным силам прилипания.

Процесс прессования за счет увеличения давления способствует повышению прочности материала вследствие ликвидации воздушных пор и пустот, а

также увеличению площади контактов среди частиц с возрастанием сил молекулярного прилипания. Из этого следует, что при достижении телом гранулы беспористого состояния последующее повышение давления становится неэффективным. Выполняя уплотнение (прессование) материала, аккумулируется потенциальная энергия упругих деструкций, которая после устранения давления направлена для обеспечения упругого расширения в сторону прилагавшегося давления.

Соотношение объема использованного материала после абсолютного расширения (V_p) к его объему, находящемуся под давлением (V_d), называется коэффициентом упругого расширения ($k_{у.р.}$) (1.15) [52]:

$$k_{у.р.} = V_p/V_d \quad (1.15)$$

Для снижения упругого расширения, которое вызывает уменьшение механической прочности материала, пройденного через пресс, нужна выдержка под давлением, которая обеспечила бы упрочнение структуры использованного материала вследствие перехода упругих деструкций в пластические.

В работах [4, 88] установлено, что процесс уплотнения корма в грануляторе подразделяется на три этапа. Первый – повышение насыпной плотности гранулируемого материала до 900 кг/м^3 из-за вытеснения воздуха при относительно низких давлениях. Второй этап заключается в увеличении плотности корма до $1\ 200 \text{ кг/м}^3$ пропорционально удельному давлению, так как из частиц корма удаляется воздушное пространство и свободная влага, совершаются необратимые деформации. И наконец, третий этап – это собственно прессование с повышением плотности корма свыше $1\ 200 \text{ кг/м}^3$ при весьма стремительном повышении давления; материал показывает свойства упруго-вязкого тела, при этом работа частично переходит в теплоту.

Многие проведенные исследования доказывают, что с увеличением плотности гранул стремительно повышается энергоемкость процесса, а это нежелательно. Для ее уменьшения необходимо создавать оптимальные условия для уплотнения данного материала либо введения связующих компонентов. Так, например, при прессовании сухого жома, ввод в смесь мелассы и карбамида (5 %) позволяет снизить требуемые усилия и мощность при прессовании и увеличить производительность, и тем самым понизить энергоемкость почти в 1,5–2 раза [88].

Анализ процесса гранулирования показывает, что для увеличения производительности пресс-гранулятора предпочтительно использование матриц с наибольшим диаметром отверстий (d_0) и повышение скорости перемещения гранул (v_r), что достигается надлежащим измельчением материала и уменьшением коэффициента трения (добавлением специальных добавок, обработкой паром и химическими реактивами, например, щелочью и т. д.). Несомненно, что диаметр отверстий решетки определяется назначением гранул и ограничивается самим процессом уплотнения, так как невозможно создать одинаковое напряжение в центре гранулы при диаметре более 21–23 мм.

По результатам проведенных опытов, в соответствии с методикой экстремальных исследований по оптимизации гранулирования кормов на устройстве ОГМ-0,8 для кроликов (рецепт ПК-90-1, диаметр гранул 10 мм), выведен полином для расчета крошимости гранул, в виде выражения (1.16) [88]:

$$K_p = (29,85 + 4,43t + 7,18\omega t + 20,2t^2)^{0,5} \quad (1.16)$$

где ω , t – влажность кормовой смеси и ее температура.

Исследования, проведенные Всероссийским НИИ пресноводного рыбного хозяйства, позволили получить формулу для расчета теоретической мощности на продавливание материала через отверстия формирующей решетки (1.17) [85]:

$$N_{\text{пр}} = 0,75P_{\text{сж}} \cdot d_0^2 \cdot l \cdot \omega_k (f_d/f_c) \quad (1.17)$$

где $P_{\text{сж}}$ – сила сжатия корма в отверстиях решетки;

f_c, f_d – статический и динамический коэффициенты трения в отверстиях формирующей решетки;

d_0 – диаметр отверстия формирующей решетки;

l – длина отверстия формирующей решетки;

ω_k – угловая частота вращения кулачка.

При этом исследователи указывают, что необходимая мощность для продавливания материала через отверстия формирующей решетки будет зависеть от f_d и f_c угловой частоты вращения уплотняющего органа пресс-гранулятора, а также диаметра и длины отверстий решетки. Задаваясь значениями d_0 и l , будем получать требуемую мощность, однако эти данные необходимо согласовывать с качественными показателями полученных гранул.

Экспериментально установлено, что для двухчервячного гранулятора производительность обуславливается геометрией рабочих механизмов в зоне нагнетания пастообразной массы и пропускной возможностью формирующей решетки.

Необходимая производительность гранулятора зависит от многих факторов: вынужденный поток (q_p), распространяющийся во всей зоне рабочего органа установки; обратный поток (q) в зоне взаимосвязи прямых и обратных витков из-за перепада давления между двумя смежными зонами; утечка (q_d) в радиальном зазоре, возникающая под воздействием разности давления между тыловой и фронтальной поверхностями одного и того же витка и действующих от гранулирующего органа к загрузочной горловине.

По результатам исследований определена производительность двухчервячного гранулятора как сумма принудительного потока, потоков утечки и обратных потоков [85]:

$$Q = q_p + q + q_d \quad (1.18)$$

Установлено, что величины принудительного и обратных потоков зависят от разделения скоростей в продольном и поперечном сечениях винтового канала.

Экспериментально обоснованно, что характер влияния рабочих органов на используемый материал в винтообразном канале червяка считается подобным как для одночервячных, так и для многочервячных грануляторов с зацепляющимися червяками. Основным отличием является, возникновение дополнительных поперечно и продольно-циркуляционных потоков, из-за чего улучшается качество блендирования и гомогенизации кормовой массы. Поперечное течение существенно не влияет на производительность гранулятора.

Выполненный анализ литературных источников показал, что используемые в настоящее время технологии по переработке промышленных отходов рыбы, птицы или растительного сырья не приемлемы для фермерских хозяйств малого размера из-за высокой энергоемкости, что в конечном итоге повышает себестоимость продукции. Решить данную проблему можно за счет использования бинарных композиций. Поэтому разработка технологий и средств механизации, позволяющих снизить энергетические затраты на процесс приготовления гранул для фермерских хозяйств малого размера, является в настоящее время актуальной задачей.

Выводы

Проведенный анализ способов, технологий и технических средств, предназначенных для приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы позволяет сделать следующие выводы:

1. На современном этапе развития птицеводство является отраслью сельскохозяйственного производства, позволяющей получать рентабельную продукцию. За последние 20 лет птицеводство России увеличило объемы производства мяса в 13 раз.

2. В структуре себестоимости продукции корма составляют по разным оценкам до 75 %. Наиболее дорогими из них являются протеиновые составляющие, так как они богаты полноценным белком, невосполнимыми аминокислотами, витаминами и энергией, обеспечивающими повышенную продуктивность сельскохозяйственных животных и птицы. Для снижения себестоимости предлагается использовать корма на основе бинарных композиций с добавлением сои, которая богата полноценным белком. Это актуально для Амурской области, так как объем выращивания сои, составляет до 47 % от общероссийского валового сбора.

3. Наиболее приемлемой физической формой кормов для птицы является гранулированная форма, которую можно получить путем пропуска материала определенного состава и свойств через отверстие определенного сечения. Существуют два способа получения гранул: путем сухого и влажного прессования.

4. Повысить эффективность производства птицеводческой продукции возможно путем изыскания рациональных способов, технологий и технических средств получения кормового гранулята с использованием бинарных композиций (соево-мясокостных, соево-рыбокостных, соево-ламинариевых).

5. Анализ проведенных исследований по данной проблеме показал отсутствие обобщающих и комплексных результатов, что не позволяет на стадии проектирования объективно оценивать и выбирать рациональные варианты по производству белково-минеральных и белково-витаминных добавок для рационов кормления сельскохозяйственной птицы. Решить данную проблему возможно за счет применения экономико-математической модели.

В качестве научной гипотезы принято предположение, что снижение трудовых, материальных и энергетических затрат, с одновременным повышением качественных показателей белково-минеральных и белково-витаминных кормовых продуктов, можно достичь путем получения бинарных композиций на основе естественно влажного исходного сырья в виде мясокостной или рыбкостной, или травяной или ламинариевой паст и относительно сухого сырья, в виде необезжиренной соевой муки, посредством усреднения влаги в них до значения, позволяющего формовать качественные гранулы на основе полученных таким способом бинарных композиций, с последующей их сушкой и крошимостью, не превышающей допустимых значений.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЫРЬЯ ЖИВОТНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ РАЗЛИЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ

2.1 Разработка и обоснование способа оценки функционирования системы приготовления высокобелкового гранулята

Технологический процесс приготовления высокобелковой кормовой добавки в виде гранул для животных и птицы считается одним из сложных и включает соответствующие основные операции: измельчение исходного сырья, дозировка кормовых компонентов, блендирование, формование гранул, хранение и последующая реализация готового продукта [4, 85, 99, 133–135].

На готовый гранулированный продукт и его качество воздействуют как контролируемые, так и неконтролируемые факторы.

Проведенными в этой области многочисленными исследованиями определено, что наиболее приемлемыми и оптимальными технологическими операциями производства гранулята на основе полножирной соевой муки и продуктов переработки семян сои, а также сырья животного и растительного происхождения считаются подача заранее подготовленных (измельченных) компонентов; выравнивание качественного состава компонентов и, прежде всего влаги; отделение от сформированного монолитного куска порций кормосмеси, их передвижение и смешивание; формование и сушка гранул.

На рисунке 2.1 приведена классификация технологических операций и технических средств по производству гранулированной кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы.

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

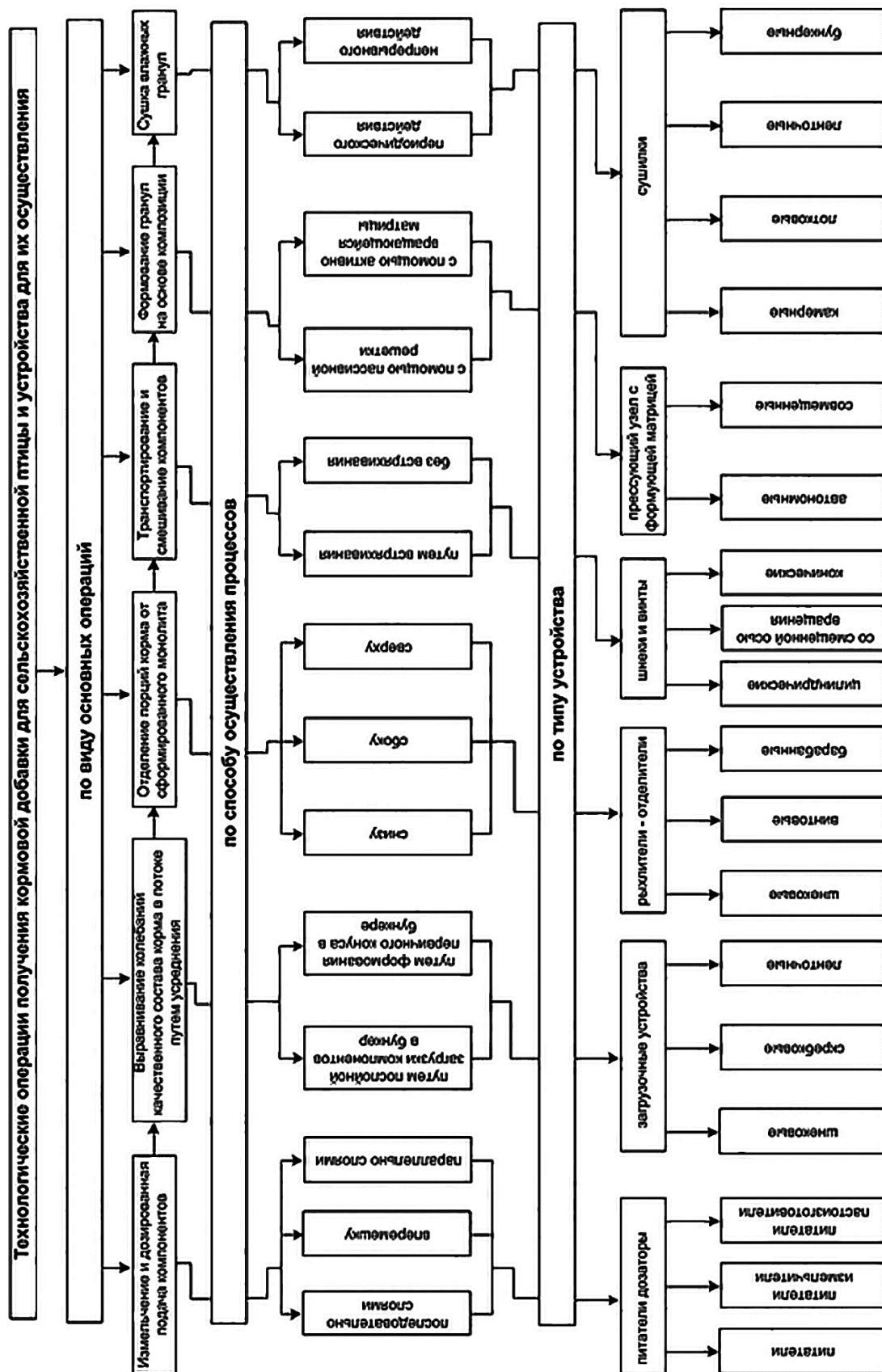
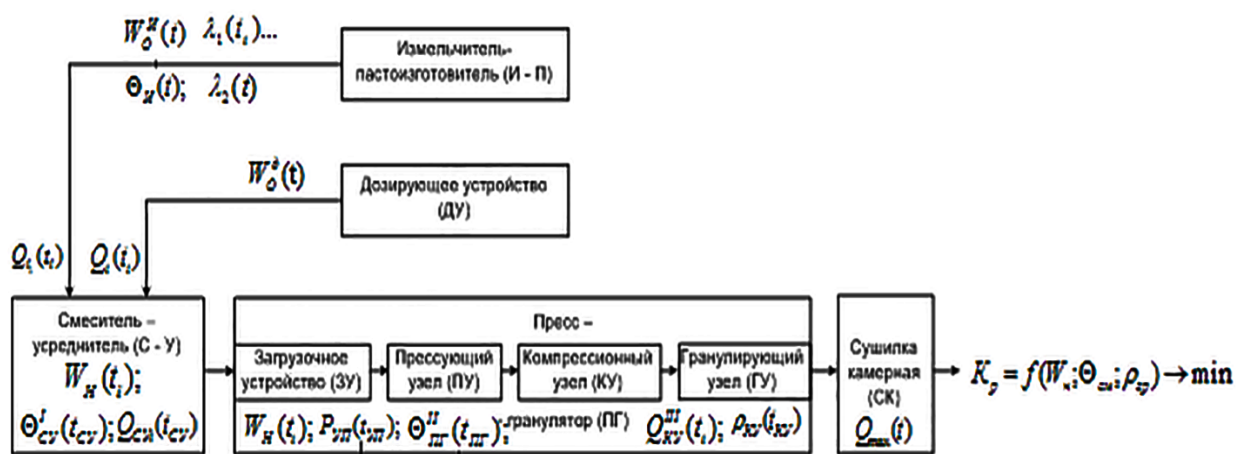


Рисунок 2.1 – Классификация существующих технологических операций и технических средств по производству кормовой гранулированной добавки для сельскохозяйственной птицы

Данная классификация позволяет выбрать условия, способы и технические средства, с помощью которых можно получить качественный гранулированный продукт, состоящий из соевого компонента, а также сырья, имеющего высокую кормовую и биологическую ценность в виде мясокостной или рыбкостной пасты.

В результате литературного анализа, а также классификации технологических операций и технических средств по производству кормовой гранулированной добавки, предложена структурно-функциональная схема линии по приготовлению высокобелковых кормовых гранул (рис. 2.2).



$\Theta_i(t_i)$ – однородность смеси (по влажности) по i -м элементам системы;

$Q_i(t_i)$ – производительность i -го элемента линии;

$W_i(t_i)$ – влажность сырья и компонентов в i -й период времени

Рисунок 2.2 – Структурно-функциональная схема линии по производству высокобелковой кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы

Проблема по увеличению эффективности применяемых технологических линий и технических средств приготовления кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы, с позиций традиционных подходов, сводится к минимизации трудовых и материальных затрат, при наложении определенных условий на критерии качества выполнения определенных операций [4].

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

В соответствии с данным фактом, для процесса приготовления качественных кормовых добавок в виде гранулированных композиций следует обеспечить соблюдение двух условий:

1) установить критерии оценки качества по исполнению исследуемых процессов; определить факторы, которые влияют на эти критерии, а также раскрыть зависимости данных критериев от установленных факторов и определить области их оптимальных значений;

2) наметить пути снижения материальных и трудовых издержек в виде приведенных затрат и убытков и решить задачу по их минимизации.

С учетом приведенных выше подходов, можно записать (2.1):

$$\left. \begin{array}{l} \text{— для производителя кормовой добавки:} \\ PZ_i = \sum_{i=1}^m (Z_{yi} + E \cdot K_{yi}) Q_{ли} \cdot t_i \cdot d \rightarrow \min; \\ Y_i = \sum_{i=1}^m 0,01 \cdot K_{pi} (Q_{ли} \cdot t_i) \cdot Ц_i \cdot d \rightarrow \min; \\ \text{— для потребителя кормовой добавки:} \\ \mathcal{E}_{\text{пот.}} = D_{\text{пот.}} \cdot k' \cdot Q_{ли} \cdot t_i \cdot d \cdot n \rightarrow \max \end{array} \right\} \quad (2.1)$$

где Z_{yi} – удельные эксплуатационные расходы при производстве гранулированных высокобелковых кормовых добавок;

E – нормируемый коэффициент эффективности;

K_{yi} – удельные капитальные вложения в производство кормовых добавок i -го вида;

$Q_{ли}$ – часовая производительность технологической линии по i -му виду кормовой добавки;

m – количество видов кормовых добавок;

t_i – продолжительность работы линии в сутки по i -му виду кормовой добавки;

Y_i – убытки от крошимости гранул;

K_{pi} – крошимость гранул i -го вида кормовой добавки;

$Ц_i$ – стоимость 1 кг кормовой добавки i -го вида;

$\mathcal{E}_{\text{пот.}}$ – экономический эффект, получаемый потребителями от адекватной замены одних кормовых компонентов на другие;

$D_{\text{пот.}}$ – доход потребителя от адекватной замены кормовых добавок;

k' – коэффициент, учитывающий налоговые отчисления;
 n – кратность кормления;
 d – количество дней работы линии в году.

При этом такой параметр технологии как (t_i) можно определить из условия, при котором $t_i \leq [t_{ц}]$ (2.2):

$$t_i = \frac{G_{раз}}{Q_{ли}} = \frac{N_i \cdot q_i}{Q_{ли}} \leq [t_{ц}] = t_{т} \quad (2.2)$$

где $G_{раз}$ – разовая норма выдачи кормовой добавки всему поголовью птицы;
 N_i – поголовье птицы;
 q_i – норма выдачи кормовой добавки на одну голову птицы;
 $[t_{ц}]$ – время цикла производства;
 $t_{т}$ – время, необходимое на трансформацию сырья, с получением продукта заданного состава и свойства.

Производительность машин в линии обуславливают согласно пропускной способности применяемого оборудования линии (2.3):

$$\sum_{i=1}^n Q_i \leq Q_{су} \leq Q_{пг} = k \cdot Q_c \leq Q_{ли} \quad (2.3)$$

где $Q_{ли}$ – пропускная способность линии;
 Q_i – подача измельченного i -го кормового компонента;
 n – число компонентов;
 $Q_{су}$ – подача смесителя-усреднителя;
 $Q_{пг}$ – пропускная способность пресс-гранулятора-гомогенизатора;
 Q_c – производительность камерной сушилки;
 k – коэффициент, учитывающий характер работы сушилки.

Доход потребителя ($D_{пот}$) от адекватной замены одной кормовой добавки на другую, с меньшей стоимостью, определяется из выражения (2.4):

$$D_{пот} = \sum_{i=1}^{m_i} C_i^{рациона} - \sum_{j=1}^{m_j} C_j^{рациона} \rightarrow max \quad (2.4)$$

где $C_i^{рациона}$ – стоимость заменяемых кормовых добавок по применяемому рациону;

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

m_i – количество заменяемых кормовых добавок i -го вида;
 $C_j^{\text{рациона}}$ – стоимость инновационных кормовых добавок, заменяющих существующие (традиционные).

2.2 Обоснование аналитической модели получения белково-минерального и белково-витаминного кормового продукта в виде сушеного гранулята

Процесс получения данного продукта формализовано можно представить в виде системы, в которой трансформируются материальные кормовые потоки, как по их составу, так и по свойствам.

В этой связи, в данной системе осуществляются такие процессы как измельчение и дозированная подача кормовых компонентов, их смешивание в смесителях непрерывного или периодического действия, гранулирование или брикетирование, а также сушка кондуктивным или конвективным способом.

Как следует из анализа разрабатываемого процесса, основным его показателем является прочность гранул (P_p).

Данный показатель связан с крошимостью гранул (K_p) зависимостью представленной выражением (2.5), а крошимость является функцией вида (2.6):

$$P_p = 100 - K_p, \quad (2.5)$$

$$K_p = 100 \cdot e^{C \cdot t_T} \quad (2.6)$$

где C – эмпирический коэффициент;

t_T – продолжительность трансформации сырья.

В общем виде функциональную зависимость крошимости гранул от продолжительности трансформации сырья представим выражением (2.7):

$$K_p = f(t_T) \rightarrow \min \quad (2.7)$$

где $t_T = t_{\text{И}} + t_{\text{СУ}} + t_{\text{УП}} + t_{\text{С}}$;

$t_{И}$ – время измельчения;

$t_{СУ}$ – время смешивания и усреднения влаги;

$t_{УП}$ – время уплотнения;

$t_{С}$ – время сушки.

В свою очередь, продолжительность трансформации сырья есть функция, характеризующаяся однородностью гранулометрического состава частиц получаемой пасты ($\theta_{И}(t_{И})$), однородностью смеси компонентов ($\theta_{СУ}^{III}(t_{СУ})$), с учетом равномерности распределения влаги в этой смеси, а также давлением уплотнения ($P_{УП}(t_{УП})$), с учетом плотности ($\rho_{КУ}(t_{КУ})$) в формируемых гранулах и количеством теплоты ($Q(t_{С})$):

$$t_m = f[\theta_{И}(t_{И}); \theta_{СУ}^{III}(t_{СУ}); P_{УП}(t_{УП}); Q(t_{С})] = t_{онм} \quad (2.8)$$

Для выражения (2.6), при определенных допущениях можно записать выражение (2.9):

$$\frac{d\Pi_p}{dt_m} = -\frac{d\Phi}{dt_m} \quad \text{или} \quad (2.9)$$

$$\frac{d\Pi_p}{dt_T} + \frac{d\Phi}{dt_T} = \frac{d(\Pi_p + \Phi)}{dt_T} = 0 \quad (2.10)$$

При этом:

$$\Pi_p + \Phi = const = \Pi_p^0 + \Phi^0 = \Pi_p^t + \Phi^t = C \quad (2.11)$$

где Π_p^0 и Φ^0 – исходные величины параметров, которые характеризуют состояние гранул в момент времени $t_T = 0$;

Π_p^t и Φ^t – значения к которым приближаются параметры гранул при $t_T \rightarrow \infty$, (то есть когда гранулы высушены);

C – постоянная величина.

Темп прироста прочности гранул возможно записать в виде функции (R), выражением (2.12):

$$\frac{d\Pi_p}{dt_T} = R(\Pi_p; \Phi) \quad (2.12)$$

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

С учетом выражений (2.11) и (2.12) запишем:

$$\frac{d\Pi_p}{dt_\tau} = R(\Pi_p; C - \Pi_p) = k \cdot \Pi_p \quad (2.13)$$

где k – удельный темп приращения прочности гранул.

Удельный темп приращения прочности гранул изменяется по следующей зависимости (2.14):

$$\frac{dk}{dt_\tau} = -\gamma \cdot k \quad (2.14)$$

Интегрирование данной зависимости дает равенство (2.15):

$$k = k_0 \cdot e^{-\gamma \cdot t_\tau} \quad (2.15)$$

где k_0 – значение параметра k при $t_\tau = 0$.

Решив уравнение (2.13) с учетом выражения (2.15), получим выражение (2.16):

$$\frac{d\Pi_p}{dt_\tau} = \Pi_p \cdot k_0 \cdot e^{-\gamma \cdot t_\tau} \quad (2.16)$$

Преобразуя (2.16), получим выражение (2.17):

$$\frac{d\Pi_p}{\Pi_p} = k_0 \cdot e^{-\gamma \cdot t_\tau} dt_\tau \quad (2.17)$$

Интегрируя это выражение, имеем выражение (2.18):

$$\int_{\Pi_p^0}^{\Pi_p} \frac{d\Pi_p}{\Pi_p} = k_0 \cdot \int_0^{t_\tau} e^{-\gamma \cdot t_\tau} dt_\tau \quad (2.18)$$

В конечном итоге имеем выражение (2.19):

$$\ln \left| \frac{\Pi_p}{\Pi_p^0} \right| = \frac{k_0}{\gamma} \cdot (1 - e^{-\gamma \cdot t_\tau}) \quad (2.19)$$

Данное выражение можно представить как выражение (2.20):

$$\Pi_p = \Pi_p^0 \cdot \exp[k_0 \cdot (1 - e^{-\gamma \cdot t_T})/\gamma] \quad (2.20)$$

Для малых значений справедливо выражение (2.21):

$$e^{-\gamma \cdot t_T} \approx 1 - \gamma \cdot t_T \quad (2.21)$$

Следовательно:

$$\Pi_p^t \approx \Pi_p^0 \cdot e^{k_0 \cdot t_T} \quad (2.22)$$

При значении $t_T \rightarrow \infty$, прочность гранул приближается к значению Π_p^t .

Дифференцируя данную зависимость, получаем выражение (2.23):

$$\frac{1}{k_0} \cdot \frac{d^2 \Pi_p}{dt_T^2} = \frac{d\Pi_p}{dt_T} \cdot e^{-\gamma \cdot t_T} - \gamma \cdot \Pi_p \cdot e^{-\gamma \cdot t_T} \quad (2.23)$$

Для момента времени, соответствующего значению $t_T = t_T^1$, имеем выражение (2.24):

$$t_T^1 = \frac{1}{\gamma} \cdot \ln\left(\frac{k_0}{\gamma}\right) \text{ и } \Pi_p(t_T = t_T^1) = \frac{\Pi_p^t}{e} \quad (2.24)$$

С учетом равенства (2.22) получаем выражение (2.25):

$$\frac{d\Pi_p}{dt_T} = k_0 \cdot \Pi_p \cdot \left\{ \frac{\ln(\Pi_p^t/\Pi_p)}{\ln(\Pi_p^t/\Pi_p^0)} \right\} = \gamma \cdot \Pi_p \cdot \ln\left(\frac{\Pi_p^t}{\Pi_p}\right) \quad (2.25)$$

На основании исследований проведенных М. А. Зайцевой, Л. А. Ковалевой, В. В Самуйло, С. В. Бушуева, Р. В. Соболевой и др. [15, 16, 57, 106, 145] установлено, что прочность гранулированных продуктов, на основе соевого компонента зависит от времени (t_T) и имеет следующий вид (рис. 2.3).

Исследование процессов, которые непосредственно связаны с получением кормовой добавки, а также создание методов управления единым процессом ее производства, допустимо и целесообразно проводить с использованием аналитического и эмпирического моделирования.

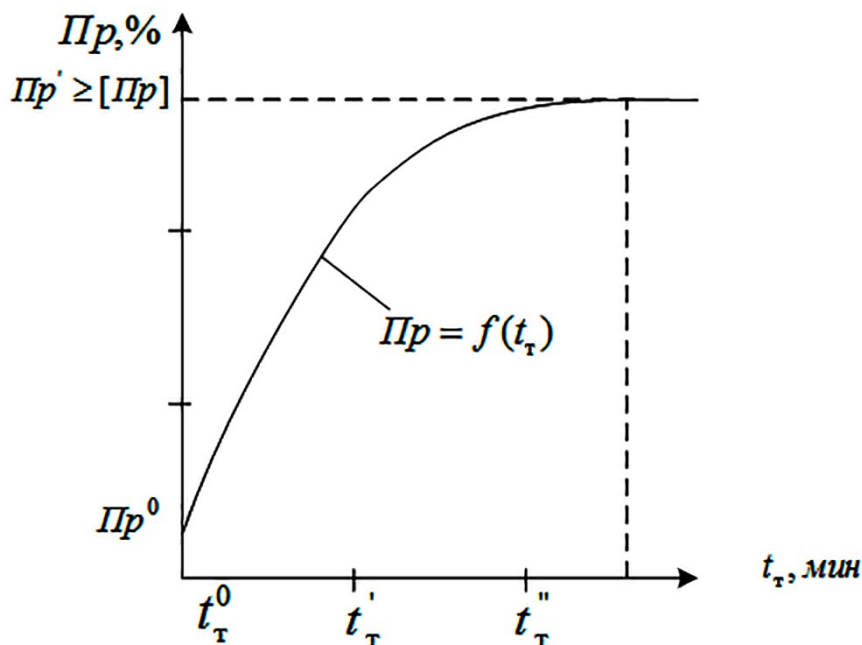


Рисунок 2.3 – Зависимость прочности гранул от продолжительности трансформации сырья

Основными факторами процесса получения качественного гранулята, являются однородность гранулометрического состава пасты ($\Theta_{И}$), однородность смеси компонентов с учетом усреднения в них влаги, оцениваемая коэффициентом вариации ($\Theta_{Су}$), давление в камере пресс-гранулятора ($P_{УП}$), а также условия сушки, определяемые количеством теплоты, проходящей через лотки, с учетом их исходной влажности ($W_{Н}$) и температуры сушки (t^0).

В реальных условиях процесса получения качественного гранулята задача по описанию трансформации сырья сводится к преобразованию функциональных зависимостей ($Y_{вх i}$) в выходную величину ($Y_{вых i}$).

Входными функциями являются случайные динамические функции. Следовательно, функция на выходе также будет случайной динамической системой.

Рассмотрим систему условия изменения состава и свойств сырья – условия формирования гранулы, на которую воздействуют следующие входные функции: условия измельчения, условия смешивания и усреднения влаги, условия

прессования и условия сушки. Данные входные функции воздействуют на систему, ответной реакцией является прочность гранул, а динамика системы характеризуется приращением прочности в течение времени получения гранул.

Представим комплекс функций на входе в виде единого общего входа (2.26):

$$\gamma_R = \gamma_{\theta_{и}} + \gamma_{\theta_{су}} + \gamma_{P_{уп}} + \gamma_Q \quad (2.26)$$

где γ_R – составная относительная напряженность нескольких факторов на входе;

$\gamma_{\theta_{и}}$ – относительная напряженность фактора однородности гранулометрического состава пастового компонента;

$\gamma_{\theta_{су}}$ – относительная напряженность фактора условий смешивания и усреднения влаги бинарных компонентов;

$\gamma_{P_{уп}}$ – относительная напряженность фактора условий прессования;

γ_C – относительная напряженность фактора условий сушки гранул.

Относительную напряженность фактора однородности гранулометрического состава пастовых компонентов можно представить выражением (2.27):

$$\gamma_{\theta_{и}} = \frac{\theta_{и0} - \theta_{ис}}{\theta_{ит} - \theta_{ис}} \quad (2.27)$$

где $\theta_{и0}$ – фактическая оперативная однородность гранулометрического состава пастового компонента;

$\theta_{ис}$ – оперативная однородность гранулометрического состава пастового компонента;

$\theta_{ит}$ – технологически оптимальная однородность гранулометрического состава пастового компонента.

Относительная напряженность фактора условий смешивания и усреднения влаги в бинарных композициях, с принятой точностью, может быть определена выражением (2.28):

$$\gamma_{\theta_{су}} = \frac{\theta_{су0} - \theta_{сус}}{\theta_{сут} - \theta_{сус}} \quad (2.28)$$

где $\theta_{су0}$ – фактическая оперативная однородность смеси по влажности;

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

$\Theta_{СУС}$ – оперативная однородность смеси, при которой происходит снижение прочности гранул;

$\Theta_{СУТ}$ – технологически оптимальная однородность смеси (по влажности).

Анализ выражения (2.28) показывает, что в случае, если $\Theta_{СУС} \rightarrow \Theta_{СУ0}$, а $\Theta_{СУ0} \rightarrow \Theta_{СУТ}$, тогда $\gamma_{\Theta_{СУ}} \rightarrow 1$, что отображает сущность принятой оценки согласно относительной напряженности этого фактора. Относительную величину напряженности фактора условий прессования гранул можно представить выражением (2.29):

$$\gamma_{P_{УП}} = \frac{P_{УП0} - P_{УПС}}{P_{УПТ} - P_{УПС}} \quad (2.29)$$

где $P_{УП0}$ – фактическое оперативное значение показателя давления в камере пресс-гранулятора;

$P_{УПС}$ – оперативное давление в камере пресса, в соответствии с которым происходит снижение величины плотности гранул;

$P_{УПТ}$ – технологично оптимальное значение фактора прессования влажных гранул.

Проведенный анализ выражения (2.29) показывает, что в случае если $P_{УПС} \rightarrow P_{УП0}$, а $P_{УП0} \rightarrow P_{УПТ}$, тогда $\gamma_{P_{УП}} \rightarrow 1$, что в конечном итоге отображает суть происходящих явлений.

Относительную величину напряженности фактора условий сушки гранул представим как выражение (2.30):

$$\gamma_Q = \frac{Q_{\Phi} - Q_0}{Q_T - Q_c} \quad (2.30)$$

где Q_{Φ} – действительное (фактическое) оперативное количество теплоты, проходящее через лоток;

Q_0 – оперативное количество теплоты, соответствующее порогу отрицательного воздействия теплоты на процесс сушки гранулята;

Q_T – технологически оптимальное количество теплоты.

Анализ выражения (2.30) также показывает, что при $Q_{\Phi} \rightarrow Q_T$ и $Q_0 \rightarrow Q_{\Phi}$, $\gamma_Q \rightarrow 1$, и тогда $\gamma_R \rightarrow 1$.

Характеристика максимальных значений прочности $\Pi_p(t)$ от постоянных во времени напряженностей ($\gamma = const$) будет являться величиной нелинейной, поэтому могут возникнуть затруднения на преобразование входных параметров системой получения качественных гранул.

Как показывает анализ ранее проведенных исследований [15, 16, 90], приведенная выше зависимость с высокой степенью точности описывается функцией вида (2.31):

$$\Pi_{pmax}^{\gamma} = \Pi_p^{t_{оп}} \cdot (1 - e^{-k \cdot \gamma_R}) \quad (2.31)$$

где Π_{pmax}^{γ} – наибольшее приращение прочности гранул при неизменной во времени суммируемой напряженности факторов;

$\Pi_p^{t_{оп}}$ – оперативные приращения прочности гранул (при $\gamma_R = const = 1$).

Для этой зависимости возьмем условную величину R , которая равна:

$$R = \ln \left(1 - \frac{\Pi_{pmax}^{\gamma} \cdot \gamma_R}{\Pi_p^{t_{оп}}} \right) = -k \cdot \gamma_R \quad (2.32)$$

Она имеет линейную зависимость от γ_R .

Это уравнение дает возможность исследовать приведенную систему с линейной позиции и с помощью обратного преобразования, что дает возможность определять значение $\Pi_p(t)$ по выражению (2.33):

$$\Pi_p(t) = \Pi_p^{t_{оп}} \cdot [1 - e^{-R(t)}] \quad (2.33)$$

Для позиционной системы первого порядка с аperiodическим звеном функция переходного процесса описывается зависимостью (2.34):

$$Y_{R(t_T)} = k \cdot R \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_T}{T_1 \cdot R}} \right) \quad (2.34)$$

где $Y_{R(t_T)}$ – величина $R(t_T)$ при неизменном воздействии различных факторов во времени ($\gamma_R = const$);

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

$R(t_T)$ – функциональная зависимость, характеризующая степень влияния факторов, во всей их совокупности, на продолжительность процессов трансформации сырья;

t_T – общая продолжительность процесса трансформации сырья по всем структурным элементам линии, в которых производится трансформация состава и свойств обрабатываемой композиции;

$T_1 \cdot R$ – постоянная времени изготовления гранулята;

$k \cdot R$ – коэффициент усиления рассматриваемой системы.

Передаточную функцию для линейной системы первого порядка в операторном виде можно представить выражением (2.35) [17, 128]:

$$H_{(П_p)} = \frac{R(П_p)}{\gamma_R(П_p)} = \frac{k \cdot R}{T_1 \cdot R \cdot m + 1} = \frac{k \cdot R}{T_1 \cdot R \cdot \left(m + \frac{1}{T_1 \cdot R}\right)} \quad (2.35)$$

или в форме таблицы (2.36):

$$H_{(П_p)} = \frac{A}{П_p + \alpha}, \text{ где} \quad (2.36)$$

$$A = \frac{k \cdot R}{T_1 \cdot R}; \quad \alpha = \frac{1}{T_1 \cdot R} \quad (2.37)$$

В рассматриваемом случае функции на входе и выходе являются случайными по времени функциями, необходимыми характеристиками которых являются математические ожидания, то есть неслучайные функции, а также их корреляционные функции. Таким образом, задача в этом случае сводится к определению корреляционной случайной входной функции ($R(t_T)$) и математического ожидания по имеющимся корреляционной случайной входной функции ($\gamma_R(t_T)$) и математическому ожиданию, а также передаточной функции всей системы ($H_{(П_p)}$).

Анализ полученных данных по совместной относительной напряженности различных факторов выявил, что рассматриваемая нами случайная функция ($\gamma_R(t_T)$) нестационарна по математическому ожиданию, и по этой причине представим эту функцию в центрированном виде (2.38):

$$\gamma_R(t_T) = M_{\gamma_R}(t_T) + \gamma_R(t_T) \quad (2.38)$$

где $M_{\gamma_R}(t_T)$ – математическое ожидание некоторой функции;
 $\gamma_R(t_T)$ – центрированная некоторая стационарная функция.

Анализ процесса производства гранулированного корма показал, что математическое ожидание довольно точно аппроксимируется линейной зависимостью (2.39):

$$M_{\gamma_R}(t_T) = a_0 + b \cdot t_T \quad (2.39)$$

где a_0 – общая относительная напряженность нескольких факторов во время производства гранул корма;
 b – тангенс угла между прямой наклона и осью времени;
 t_T – время процесса трансформации.

Путем канонического разложения центрированную случайную функцию ($\gamma_R(t_T)$) можно представить в следующем виде (2.40):

$$\gamma_R(t_y) = \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot \mu_i(t_T) \quad (2.40)$$

где n – единое количество простых функций;
 ξ_i – простые центрированные случайные значения с нулевым математическим ожиданием;
 μ_i – простые координатные (неслучайные) функции времени.

Производственный процесс гранул корма характеризуется корреляционной функцией вида (2.41) [48]:

$$k(\tau) = D \cdot e^{-\lambda|\tau|} \quad (2.41)$$

где D – дисперсия случайного стационарного процесса;
 λ – коэффициент, который определяется экспериментальным путем;
 τ – период времени между сечениями случайной функции.

Для этой функции, спектральная плотность рассчитывается следующим образом (2.42) [44]:

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

$$S(\omega) = \frac{\pi}{2} \cdot \int_0^{\infty} k(\tau) \cdot \cos \omega \tau \cdot d\tau = \frac{\pi}{2} \cdot \int_0^{\infty} D \cdot e^{-\lambda|\tau|} \cdot \cos \omega \tau \cdot d\tau = \frac{2 \cdot D \cdot \lambda}{\pi \cdot (\lambda^2 + \omega^2)} \quad (2.42)$$

При этом случайную функцию можно представить в виде канонической формулы (2.43):

$$\gamma_R(t_y) = \sum_{i=0}^{\infty} (U_i \cdot \cos \omega_i t + \vartheta_i \cdot \sin \omega_i t) = \sum_{i=0}^{\infty} A_i \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_i), \quad (2.43)$$

$$D \cdot A_i = D \cdot U_i + D \cdot \vartheta_i \quad (2.44)$$

где $A_i = \sqrt{U_i^2 + \vartheta_i^2}$ – некоторая случайная амплитуда с дисперсией, определяемой формулой (2.44);

φ_i – случайная фаза, которая определяется из выражения: $\cos \varphi_i = \frac{U_i}{\sqrt{U_i^2 + \vartheta_i^2}}$.

На основании изложенного, случайный процесс объединенной относительной напряженности факторов в общем виде можно записать выражением (2.45):

$$\gamma_R(t_T) = (a_0 + b \cdot t_T) + \sum_{i=0}^n A_i \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_i) \quad (2.45)$$

Применив преобразование Лапласа, передаточную функцию можно записать в операторном виде (2.46):

$$R(\Pi_p) = H_{(\Pi_p)} + \gamma_R(\Pi_p) \quad (2.46)$$

А применив прямое преобразование Лапласа, ее можно записать в виде выражения (2.47):

$$\gamma_R(\Pi_p) = R[\gamma_R(t_T)], \text{ где} \quad (2.47)$$

$$Z[\gamma_R(t_T)] = Z \left[(a_0 + b \cdot t_T) + \sum_{i=0}^n A_i \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_i) \right], \quad (2.48)$$

$$R(\Pi_p) = H_{(\Pi_p)} \cdot Z[\gamma_R(t_T)] = \frac{A}{\Pi_p + \alpha} \cdot Z \left[(a_0 + b \cdot t_T) + \sum_{i=n}^m A_i \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_i) \right] \quad (2.49)$$

В соответствии с правилом суперпозиции имеем выражение (2.50):

$$R(\Pi_p) = \frac{A}{\Pi_p + \alpha} \cdot \left[Z(a_0) + Z(b \cdot t_T) + \sum_{i=0}^n Z \cdot A_i \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_i) \right] \quad (2.50)$$

или в табличном виде выражение (2.51):

$$R(\Pi_p) = \left[\left(\frac{a_0}{\Pi_p} \cdot \frac{b}{\Pi_p + \alpha} \right) + \left(\frac{A}{\Pi_p^2} \cdot \frac{b}{\Pi_p + \alpha} \right) \right] + \sum_{i=0}^n \left[A_i \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_i) \cdot \frac{A}{\Pi_p + \alpha} \right] \quad (2.51)$$

В соответствии с обратным преобразованием Лапласа имеем выражение (2.52):

$$R(t_T) = Z^{-1} \cdot [H_{(\Pi_p)} \cdot \gamma_R(\Pi_p)] = Z^{-1} \left\{ \sum_{i=0}^n \left[A_m \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_i) \cdot \frac{A}{\Pi_p + \alpha} \right] \right\} = \\ = a_0 \cdot k \cdot R \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_T}{T_1 \cdot R}} \right) + A \cdot k \cdot R \cdot T_1 \cdot R \cdot \left(e^{-\frac{t_T}{T_1 \cdot R}} + \frac{t}{\pi \cdot R} - 1 \right) + \\ + \left[\sum_{i=0}^n A_i \cdot \frac{k \cdot R}{\sqrt{T_1^2 \cdot R \cdot \omega_i^2 + 1}} \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_i + \Delta\varphi_i) \right] \quad (2.52)$$

Определив таким образом значение $R(t_T)$, количество гранул, имеющих прочность Π_p большую либо равную допускаемой $[\Pi_p]$ по зоотехническим требованиям, на период времени их производства t_T , можно определить из выражения (2.53):

$$\Pi_p = [100] \cdot (1 - e^{-R(t_T)}) \geq [\Pi_p] \quad (2.53)$$

Тогда крошимость гранул можно представить выражением (2.54):

$$K_p = 100 - \{[\Pi_p] \cdot (1 - e^{-R(t_T)})\} \quad (2.54)$$

2.3 Теоретические основы процесса приготовления кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы

2.3.1 Теоретические основы по обоснованию параметров процесса получения пастообразных продуктов при двухстадийном измельчении

Анализ функциональной зависимости, представленной в виде уравнения (2.7) показывает, что первая его составляющая ($\theta_{И}(t_{И})$), характеризуется прежде всего среднеквадратическим отклонением ($\sigma_{И}$) получаемых частиц (ℓ_i) от их среднего значения ($\ell_{ср}$) и в развернутой форме имеет вид выражения (2.55):

$$\theta_{И}(t_{И}) = 1 - \frac{D^{0,5}}{\ell_{ср}} \geq [\theta_{И}] \quad (2.55)$$

где $D^{0,5} = \sigma_{И}$; $[\theta_{И}]$ – допускаемое по требованиям значение однородности гранулометрического состава пасты.

Из условия (2.55) следует, что допускаемое значение среднеквадратического отклонения по размеру получаемых частиц, должно быть равно:

$$[\sigma_{И}] = \ell_{ср} - [\theta_{И}] \cdot \ell_{ср} \quad (2.56)$$

Процесс получения частиц требуемых размеров в пастах на основе животного, растительного и гидробионтного сырья, может быть осуществлен различными способами.

При этом выбор способа получения пасты обусловлен затратами энергии на процесс дезинтеграции, применительно к тому сельскохозяйственному сырью, которое принято в качестве основного для получения кормовых добавок для сельскохозяйственной птицы. Как показывает практика, для получения

пасты избранных видов сырья необходимо обеспечить как минимум двухстадийное измельчение.

Данный подход позволяет на первой стадии получить кормовой материал определенной длины (L_1), например, с помощью наклонного резания, а на второй стадии – путем использования, например, решетчато-ножевого типа, довести предварительно полученные частицы до пастообразного состояния с размером ($\ell_{чi}$).

Анализ данных, приведенных С. В. Мельниковым [96], показывает, что распределение частиц определенного размера в измельчителях с барабанным рабочим органом (типа Волгарь-5, КДУ-2 и др.), а также в пастоизготовителе Н. Т. Кузьмова подчиняется нормальному закону.

В этой связи, задавшись требуемым допустимым размером частиц ($\ell_ч$) в пасте, возникает необходимость определения вероятности (p) ее попадания в заданный интервал значений, находящийся в области ($\ell_1 - \ell_2$) [45].

Для вычисления этой вероятности воспользуемся общей формулой вероятности (2.57):

$$P(\ell_1 < \ell_ч < \ell_2) = F(\ell_1) - F(\ell_2) \quad (2.57)$$

где $F(\ell)$ – функция распределения величины $\ell_ч$.

Найдем функцию распределения $F(\ell)$ случайной величины $\ell_ч$, распределенной по нормальному закону с параметрами центра рассеивания (m) и среднеквадратичного отклонения ($\sigma \leq [\sigma_{ч}]$). Плотность распределения величины $\ell_ч$ определяется выражением (2.58):

$$f(\ell) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ell-m)}{2D}} \quad (2.58)$$

где D – дисперсия случайной величины ℓ .

Из выражения найдем функцию распределения (2.59):

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

$$\Phi(\ell) = \int_{-\infty}^{\ell} f(\ell) dl = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\ell} e^{-\frac{(\ell-m)^2}{2D}} dl \quad (2.59)$$

Сделаем замену переменной:

$$\frac{(\ell - m)}{\sigma} = t \quad (2.60)$$

Приведем интеграл в равенстве к виду выражения (2.61):

$$\Phi(\ell) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\frac{\ell-m}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (2.61)$$

Этот интеграл не выражается через элементарные функции, однако его можно вычислить через интеграл вероятностей, для которого составлены таблицы. В качестве табличной функции выберем интеграл (2.62):

$$\Phi(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\ell_ч} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (2.62)$$

Для данной функции $\sigma = 1, m = 0$.

Выразим функцию распределения выражением (2.63):

$$\Phi(l) = \Phi\left(\frac{\ell_ч - m}{\sigma}\right) \quad (2.63)$$

Исходя из этого можно найти вероятность попадания размера частицы пасты ($\ell_ч$) в зону ($\ell_1 \ell_2$), заданную требованиями технологии:

$$P(\ell_1 < \ell_ч < \ell_2) = \Phi\left(\frac{\ell_2 - m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\ell_1 - m}{\sigma}\right) \quad (2.64)$$

Данное равенство и принятый подход позволили определить максимальную вероятность (P_{max}) попадания заданного размера частиц пасты ($\ell_ч$) в зону

$(\ell_1 \ell_2)$. Решение данной задачи сводится к определению некоторого значения σ , при котором $P = P_{max} = \varphi(\sigma)$, то есть имеет место:

$$P_{max} = P(\ell_1 < \ell_ч < \ell_2) = \Phi\left(\frac{\ell_2 - m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\ell_1 - m}{\sigma}\right) = \varphi(\sigma) \quad (2.65)$$

Продифференцируем функцию:

$$\varphi'(\sigma) = \left[\Phi\left(\frac{\ell_2 - m}{\sigma}\right) \right]'_{\sigma} - \left[\Phi\left(\frac{\ell_1 - m}{\sigma}\right) \right]'_{\sigma} \quad (2.66)$$

Учитывая:

$$\Phi(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\ell_ч} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (2.67)$$

Применим правило дифференцирования интеграла по переменной, которая входит в его предел, и получим выражение (2.68):

$$\left[\Phi\left(\frac{\ell_2 - m}{\sigma}\right) \right]'_{\sigma} = \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\frac{\ell_2 - m}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \right\}'_{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ell_2 - m)^2}{2D}} \cdot \left(-\frac{\ell_2 - m}{D} \right) = \frac{\ell_2 - m}{D\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ell_2 - m)^2}{2D}} \quad (2.68)$$

Аналогично получим выражение (2.69):

$$\left[\Phi\left(\frac{\ell_1 - m}{\sigma}\right) \right]'_{\sigma} = -\frac{\ell_1 - m}{D\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ell_1 - m)^2}{2D}} \quad (2.69)$$

Для определения экстремума функции запишем выражение (2.70):

$$\varphi'(\sigma) = \frac{1}{D\sqrt{2\pi}} \cdot \left\{ (\ell_1 - m) \cdot e^{-\frac{(\ell_1 - m)^2}{2D}} - (\ell_2 - m) \cdot e^{-\frac{(\ell_2 - m)^2}{2D}} \right\} \quad (2.70)$$

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

При $\sigma = \infty$, $\varphi'(\sigma) = 0$ и $P = P_{min}$, $P = P_{max}$ находится из следующего условия (2.71):

$$(\ell_1 - m) \cdot e^{-\frac{(\ell_1 - m)^2}{2D}} - (\ell_2 - m) \cdot e^{-\frac{(\ell_2 - m)^2}{2D}} = 0 \quad (2.71)$$

Выражение (2.71) решается численно и графически относительно дисперсии (D), характеризующей однородность гранулометрического состава пасты.

Расчетное значение размера частицы пасты ($\ell_ч$), как случайной величины для принятой схемы получения пастообразных продуктов, определим через пропускную способность первой ($Q_{изм}$) и второй многоножевой ($Q_{мн}$) ступеней измельчения (2.72):

$$Q_{изм} \leq Q_{ш} \geq Q_{мн} \quad (2.72)$$

$$\text{или } 0,16a_{max} \cdot b \cdot L_1 \cdot \rho_{изм} \cdot z_б \cdot \omega_б \leq \pi(D_{ш}^2 - d_{ш}^2) \cdot S_{ш} \cdot \rho_{ш},$$

$$\text{или } 0,16a_{max} \cdot b \cdot L_1 \cdot \rho_{изм} \cdot z_б \cdot \omega_б \leq 0,125 \cdot F_k \cdot z_k \cdot \ell_ч \cdot \rho_{пн} \cdot \omega_n \cdot z_n \cdot z_{п}.$$

Откуда длина частиц после второй ступени измельчителя-пастоизготовителя, с учетом параметра L_1 определяется выражением (2.73):

$$\ell_{ч.ср}^в = \frac{1,28a_{max} \cdot b \cdot L_1 \cdot \rho_{изм} \cdot z_б \cdot \omega_б}{F_k \cdot z_k \cdot \rho_{пн} \cdot \omega_n \cdot z_n \cdot z_{п}} \leq [\ell_ч] \quad (2.73)$$

где a_{max} – превышение оси барабана над противорезающей пластиной;

b – ширина горловины;

L_1 – начальная длина резки;

$\rho_{изм}$ – плотность измельчаемого сырья;

$z_б$ – число ножей на барабане;

$\omega_б$ – угловая скорость барабана;

$D_{ш}, d_{ш}$ – диаметры шнека, соответственно витков и вала;

$S_{ш}$ – шаг винтов шнека;

$\rho_{ш}$ – плотность продукта, перемещаемого шнеком;

F_k – площадь поперечного сечения камеры для прохождения массы продукта в пастоизготовителе;

z_k – число камер;

$[\ell_ч]$ – требуемая длина частиц в пастообразном продукте;

$\rho_{пн}$ – плотность продукта в пастоизготовителе;

ω_n – угловая скорость вращения ножей пастоизготовителя;
 z_n – число ножей пастоизготовителя;
 z_p – число режущих лезвий на активном ноже.

Анализ данного выражения показывает, что для получения частиц с размером $l \rightarrow \min$ необходимо стремиться к уменьшению численных значений такого параметра как L_1 , за счет увеличения числа ножей (z_6) барабана и его угловой скорости (ω_6), а также за счет увеличения следующих параметров аппарата вторичного резания: число ножей двухпорного резания (z_n) и угловой скорости их вращения (ω_n).

Графическая интерпретация рассмотренного выше подхода может быть представлена в виде рисунка 2.4.

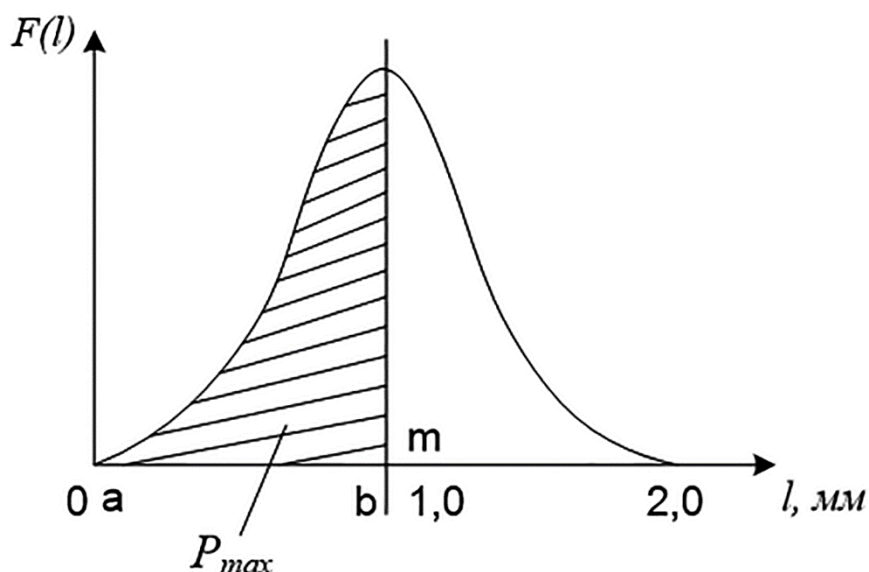


Рисунок 2.4 – К обоснованию максимальной вероятности (P_{max}) попадания длины частиц (l_q) в пастообразном продукте в зону ($a b$)

В отношении мощности, затрачиваемой на процессы измельчения кормового сырья первой и второй многоножевой ступенями, проведенный анализ показывает, что значение нормальных удельных давлений по принятому нами сырью $q_i^{изм}$ и $q_i^{мн}$ также подчиняется нормальному закону распределения.

Кроме этого соблюдаются условия (2.74)–(2.75):

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

$$q_{max}^{изм} = \frac{M_{рез}}{\Delta S_{ср} \cdot R} \geq q_i^{изм}, \quad (2.74)$$

$$q_{max}^{мн} = \frac{A_{уд}}{1 + f' \cdot tg \cdot \tau_{ч}} \geq q_i^{мн} \quad (2.75)$$

где $M_{рез}$ – момент резания на валу;

$\Delta S_{ср}$ – площадь разреза;

R – радиус барабана (диска);

$A_{уд}$ – удельная работа резания;

f' – коэффициент скользящего резания;

$\tau_{ч}$ – угол скольжения.

Сравнение расчетных значений $q_{max}^{изм}$ и $q_{max}^{мн}$ со значениями $q_i^{изм}$ и $q_i^{мн}$, полученными для конкретного вида сырья животного или растительного происхождения, позволяет выбрать способ резания и машину из ряда существующих для реализации такого способа или разработать новый способ.

На рисунке 2.5 представлены конструктивно-технологические схемы барабанно-винтового (а) и дисково-винтового (б) измельчителей-пастоизготовителей (а – для нативного сырья, б – для замороженного сырья в блоках).

В процессе его работы исходное сырье вначале уплотняется транспортером 2, затем измельчается ножами барабана 4, а затем, попадая в многоножевой аппарат вторичного резания 6, трансформируется в пасту [29, 33]. Представим объем пор и пустот до уплотнения мясокостного сырья (МКС), рыбokостного сырья (РКС) и растительного сырья (РС) в механизме питателя измельчителя-пастоизготовителя, согласно рисунку 2.5 а), в виде выражений (2.76)–(2.77):

$$V_H = \frac{1}{1 + \gamma_H} \cdot B_{г} \cdot B_{пп} \cdot H_0, \quad (2.76)$$

$$\text{после уплотнения: } V_K = \frac{1}{1 + \gamma_K} \cdot B_{г} \cdot B_{пп} \cdot h_y \quad (2.77)$$

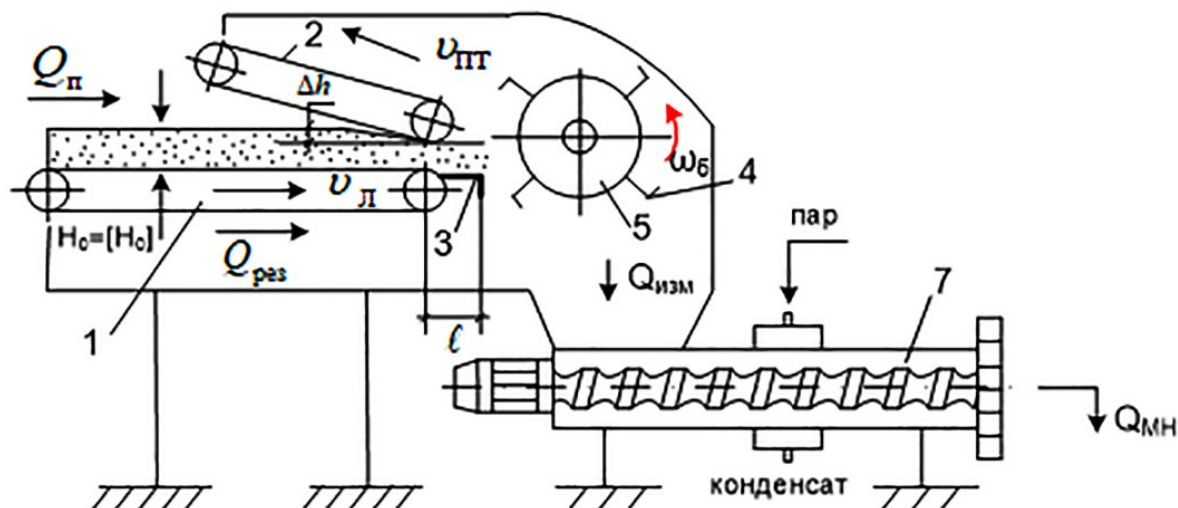
где γ_H, γ_K – коэффициент пористости МКС, РКС и РС;

$B_{г}$ – ширина горловины;

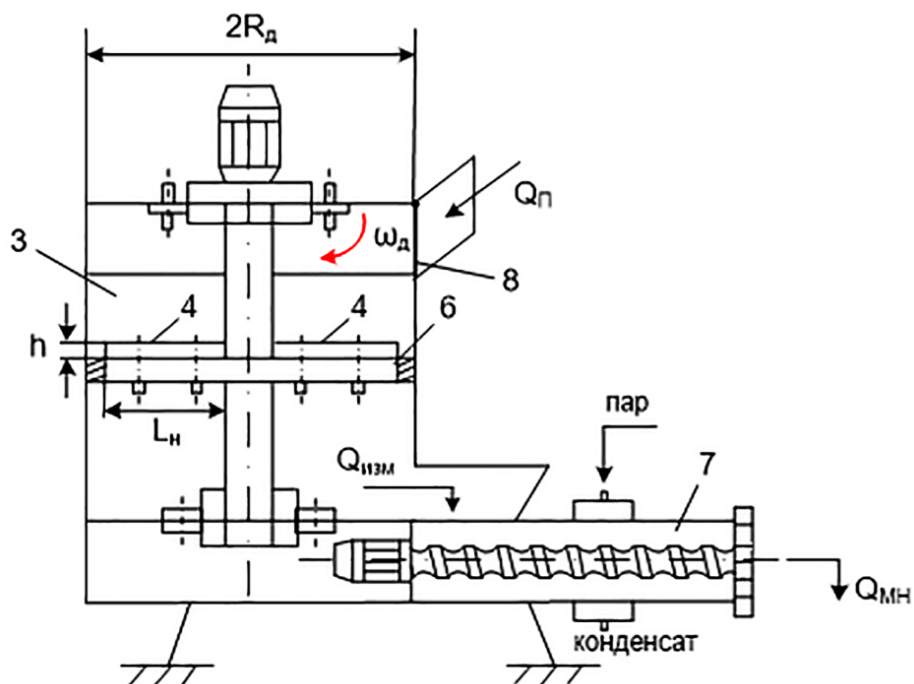
$B_{\text{пп}}$ – ширина противорежущей пластины (принимается равной радиусу звездочки прессующего транспортера ($B_{\text{пп}} = D_{\text{птр}}/2 = R_{\text{п}}$);

H_0 – начальная высота слоя сырья;

h_y – высота слоя сырья после уплотнения.



а)



б)

а) барабанно-винтовой; б) дисково-винтовой; 1, 2 – подающий и прессующий транспортеры; 3 – противорежущая пластина; 4 – ножи; 5 – барабан; 6 – диск; 7 – винтовой пастоизготовитель (многоножевой); 8 – заслонка

Рисунок 2.5 – Расчетные схемы к обоснованию параметров измельчителей-пастоизготовителей

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

Из условия равенства в объемах V_H и V_K объемов твердых частиц сырья имеем выражение (2.78):

$$h_y = H_0 \cdot \frac{1 + \gamma_K}{1 + \gamma_H} \quad (2.78)$$

При этом, согласно рисунка 2.5, величина изменения высоты слоя сырья определяется выражением (2.79):

$$\Delta h = H_0 \cdot \frac{\gamma_H - \gamma_K}{1 + \gamma_H} \quad (2.79)$$

где $\gamma_H - \gamma_K = \Delta\gamma$ – изменение пористости в процессе уплотнения.

Принимаем гипотезу о существовании линейной зависимости между параметром ($\Delta\gamma$) и давлением (P) прессующего транспортера в виде зависимости (2.80):

$$\Delta\gamma = k_1 \cdot P, \quad (2.80)$$

$$\Delta h = H_0 \cdot \left[\frac{k_1 \cdot P}{1 + \gamma_H} \right] \quad (2.81)$$

где k_1 – коэффициент пропорциональности, определяемый из выражения (2.81).

В выражении (2.81): $k_1/(1 + \gamma_H) = k_2$ – величина относительной сжимаемости мясокостного и рыбокостного сырья.

Из равенства (2.81) имеем:

$$H_0 = \frac{\Delta h \cdot (1 + \gamma_H)}{k_1 \cdot P} \leq [H_0] \quad (2.82)$$

где Δh – высота уплотненной части слоя продукта;

k_1 – коэффициент пропорциональности;

$[H_0]$ – допускаемая высота слоя продукта на подающем транспортере.

Умножив обе части равенства на площадь основания, по которому размещается исходное сырье, и решив полученное равенство относительно P , получим выражение (2.83):

$$P = \frac{\Delta h \cdot (1 + \gamma_H)}{k_1 \cdot [H_0] \cdot B_r \cdot B_{пп}} \quad (2.83)$$

где B_r – ширина горловины;
 $B_{пп}$ – ширина противорежущей пластины;
 $[P]$ – допускаемое значение давления.

Ширину горловины определяем по формуле (2.84):

$$B_r = \frac{Q_{рез}}{(0,16 \cdot \omega \cdot h \cdot \ell_{ч.ср}^n \cdot z \cdot \rho_{изм})} \quad (2.84)$$

где $Q_{рез}$ – производительность измельчителя;
 h – высота горловины;
 $\ell_{ч}$ – длина резки;
 z – число ножей на барабане;
 $\rho_{изм}$ – плотность измельченного сырья;
 ω – угловая скорость барабана.

Подача исходного продукта ограничивается параметром $[H_0]$ и определяется выражением (2.85):

$$Q_{птр} = B \cdot [H_0] \cdot \rho_0 \cdot v_{птр} \quad (2.85)$$

где B – ширина подающего транспортера ($B = B_r$);
 ρ_0 – плотность мясокостного и рыбкокостного сырья;
 $v_{птр}$ – скорость движения подающего транспортера.

Производительность измельчителя, с учетом параметров режущего аппарата, устанавливается зависимостями (2.86)–(2.87):

$$Q_{рез} = 0,16 \cdot \omega \cdot B_r \cdot h \cdot \ell_{ч.ср}^n \cdot z \cdot \rho_{изм}, \quad (2.86)$$

$$\text{или } Q_{рез} = 0,16 \cdot \omega \cdot B_r \cdot [H_0] \cdot \left(\frac{1 + \gamma_K}{1 + \gamma_H} \right) \cdot \ell_{ч.ср}^n \cdot z \cdot \rho_{изм} \quad (2.87)$$

Длину частиц после аппарата первичного резания определим из выражения (2.88):

$$\ell_{ч.ср}^n = \frac{Q_{рез}}{0,16 \cdot \omega \cdot B_r \cdot [H_0] \cdot \left(\frac{1 + \gamma_K}{1 + \gamma_H} \right) \cdot z \cdot \rho_{изм}} \quad (2.88)$$

где γ_K – конечная пористость продукта.

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

Длина частиц, получаемых после аппарата вторичного резания ($l_{ч.сп}^B$), зависит от числа ножей аппарата, определяется технологическими требованиями и должна находиться в пределах: $l_{ч.сп}^B \leq [l_{ч.сп}^B] \leq 0,5 - 1,0$ мм. При постоянном количестве ножей она зависит от угловой скорости барабана, что в конечном итоге влияет на неоднородность гранулометрического состава пасты согласно выражения (2.55).

Влияние неоднородности гранулометрического состава пасты от скорости ножей аппарата вторичного резания представлено на рисунке 2.6.

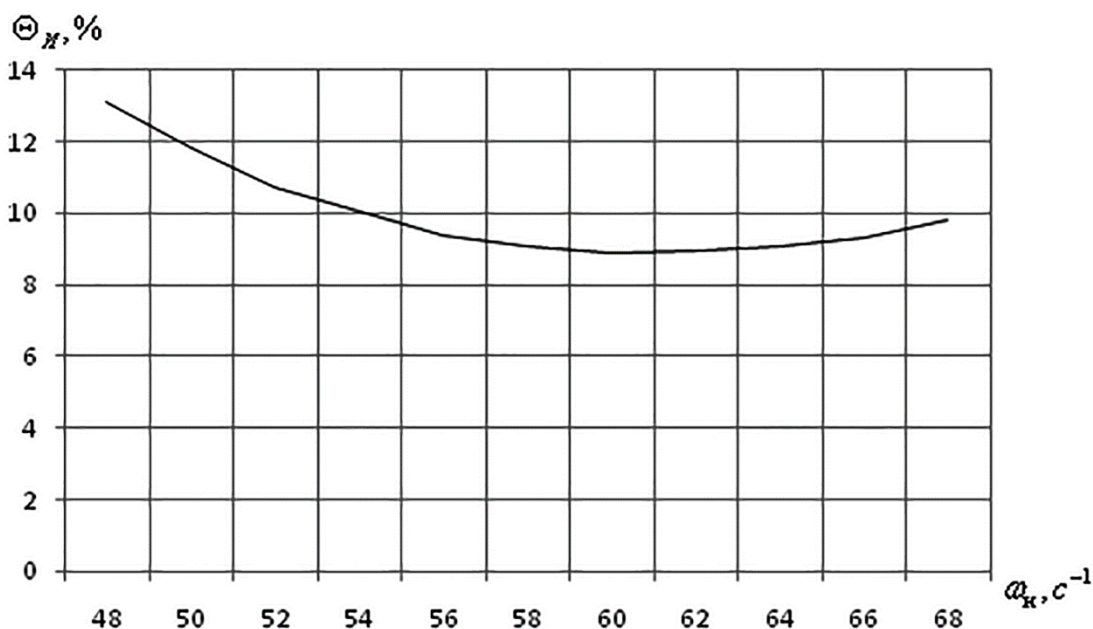


Рисунок 2.6 – Зависимость неоднородности гранулометрического состава пасты от скорости ножей аппарата вторичного резания

В результате теоретического исследования установлено, что неоднородность гранулометрического состава пасты меняется с 13 % при скорости ножей аппарата вторичного резания ($\omega_{н}$) $48 c^{-1}$ до 10 % при $\omega_{н} = 68 c^{-1}$. При этом наименьшая неоднородность наблюдается при $\omega_{н} = 60 c^{-1}$ и составляет 9 %. С учетом этого: $l_{ч.сп}^B \leq \frac{[l_{ч.сп}^B]}{n} \leq 0,5 - 1,0$ мм.

Высоту уплотненной массы сырья определим из выражения (2.89):

$$\Delta h = [H_0] \cdot \left(\frac{1 + \gamma_K}{1 + \gamma_H} \right) \leq h \quad (2.89)$$

где h – высота горловины.

С учетом данного условия получены выражения для расчета радиуса измельчающего барабана (2.90) и радиуса диска (2.91):

$$R_6 = 0,16 \cdot \left\{ Q_{\text{рез}} \cdot \text{tg} \tau / \left[0,16 \cdot [H_0] \cdot \left(\frac{1 + \gamma_K}{1 + \gamma_H} \right) \cdot \ell_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{изм}} \cdot \omega \right] + z \cdot [H_0] \cdot \left(\frac{1 + \gamma_K}{1 + \gamma_H} \right) \right\} \quad (2.90)$$

$$R_d = \left[0,318 \cdot Q_{\text{изм}} / (h \cdot \omega_d \cdot \rho \cdot z_H \cdot k_H \cdot k_c) \right]^{0,5} \quad (2.91)$$

Для высоты «стружки» (h_c) имеем:

$$h_c = 1,274 \cdot Q_{\text{изм}} / (D_d^2 \cdot \omega_d \cdot \rho \cdot z_H \cdot k_H \cdot \Theta_{\text{И}}) \quad (2.92)$$

где ω_d – угловая скорость диска;

ρ – плотность продукта;

z_H – число ножей на диске;

k_H – коэффициент учитывающий соотношение между длиной ножа (L_H) и радиусом диска (R_d);

$\Theta_{\text{И}}$ – коэффициент, учитывающий однородность гранулометрического состава измельченного продукта: $\Theta_{\text{И}} = \left(1 - \frac{[\sigma_{\text{И}}]}{\ell_{\text{ч.ср}}} \right)$, где $\sigma_{\text{И}}$ – среднеквадратическое отклонение длины частиц.

Момент резания на валу определим из выражения (2.93):

$$M_{\text{рез}} = q \cdot B \cdot R = q \cdot \Delta S_{\text{ср}} \cdot R \quad (2.93)$$

где q – нормальное удельное давление;

$\Delta S_{\text{ср}}$ – средняя длина разреза;

R – радиус барабана или диска.

Мощность привода определяется выражением (2.94):

$$N_{\text{и-п}} = k_3 \cdot \left[(1,67 \cdot M_{\text{рез}} \cdot \omega) + N_{\text{в}} + N_{\text{а}} \right] / \eta_{\text{изм}} \cdot \eta_{\text{а}} \quad (2.94)$$

где $(1,67 \cdot M_{\text{рез}} \cdot \omega)$ – мощность электродвигателя привода;

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

N_B, N_A – мощность привода винтового питателя и аппарата вторичного резания;

$\eta_{изм}, \eta_a$ – коэффициент полезного действия привода измельчителя и пастоизготовителя.

2.3.2 Теоретические основы по обоснованию смешивающе-усредняющей способности подсистемы «смеситель-усреднитель – пресс-гранулятор»

Показатель, характеризующий качество смешивания и усреднения влаги в композициях в принятой подсистеме «смеситель-усреднитель – пресс-гранулятор» (СУ–ПГ) в соответствии с рисунком 2.2 и обуславливающий величину параметра (t_T) (2.8), представим в виде выражения (2.95):

$$\theta_{СУ}^I(t_{СУ}^I) = 1 - \frac{\sigma_{СУ}}{W_{ср}} \geq [\theta_{СУ}^I] \quad (2.95)$$

где $\sigma_{СУ}$ – среднеквадратическое отклонение влажности от средней величины $W_{ср}$;

$[\theta_{СУ}^I]$ – допустимое по требованиям значение однородности распределения влаги в композициях.

Требуемое значение параметра $\sigma_{СУ}$, с учетом показателя $[\theta_{СУ}^I]$ составит:

$$[\sigma_{СУ}] = W_{ср} - [\theta_{СУ}^I] \cdot W_{ср} \quad (2.96)$$

При обосновании параметров процесса усреднения влаги в продуктовой системе «необезжиренная соевая мука (НСМ) – мясокостная паста» либо «необезжиренная соевая мука – рыбкокостная паста», либо «необезжиренная соевая мука – травяная паста», либо «необезжиренная соевая мука – ламинариевая паста», с помощью технических средств подсистемы СУ–ПГ постоянного действия рассмотрим его, как процесс в котором осуществляется переход молекул воды от компонента с повышенной концентрацией воды (W_P), к продукту с меньшей концентрацией воды (W_M). Движущей силой этого процесса будет являться разность концентраций воды в продуктах:

$$\Delta W = W_{\Pi} - W_{\text{м}} \quad (2.97)$$

Скорость перераспределения молекул воды между компонентами в бинарной соево-мясокостной или соево-рыбокостной композициях описывается дифференциальным уравнением вида (2.98):

$$v = \frac{dx}{dt} = k(W_0 - X)(W_1 - X) \quad (2.98)$$

где W_0 и W_1 – исходные концентрации влаги соответственно в соевом и мясокостном или рыбокостном компонентах;

X – количество влаги, перешедшей в соевый компонент из мясокостного или рыбокостного компонента бинарной композиции к моменту времени t .

Если $W_0 = W_1$, то уравнение имеет вид (2.99):

$$v = \frac{dx}{dt} = k(W_0 - X)^2 \quad (2.99)$$

Качество смешивания во многом зависит от влажности – выражение (2.95) и скорости перераспределения влаги между компонентами смеси – уравнение (2.97), а также от их массовых долей.

Зависимость неоднородности усреднения влаги от влажности соево-пастовой композиции представлена на рисунке 2.7.

Как показали теоретические исследования (рис. 2.7) наименьшая неоднородность достигается в диапазоне влажности от 30 до 40 %, при этом с уменьшением массовой доли необезжиренной соевой муки неоднородность гранулометрического материала уменьшается до 5,8 %.

Разделив переменные и интегрируя данное уравнение на интервале от 0 до t , а также от 0 до X получим выражения (2.100)–(2.101):

$$k = \frac{1}{t_{\text{cy}}} \cdot \frac{X}{W_0(W_0 - X)} \quad (2.100)$$

$$\text{если } W_0 \neq W_1: k = \frac{1}{t_{\text{cy}}(W_0 - W_1)} \cdot \ln \frac{W_1(W_0 - X)}{W_0(W_1 - X)} \quad (2.101)$$

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

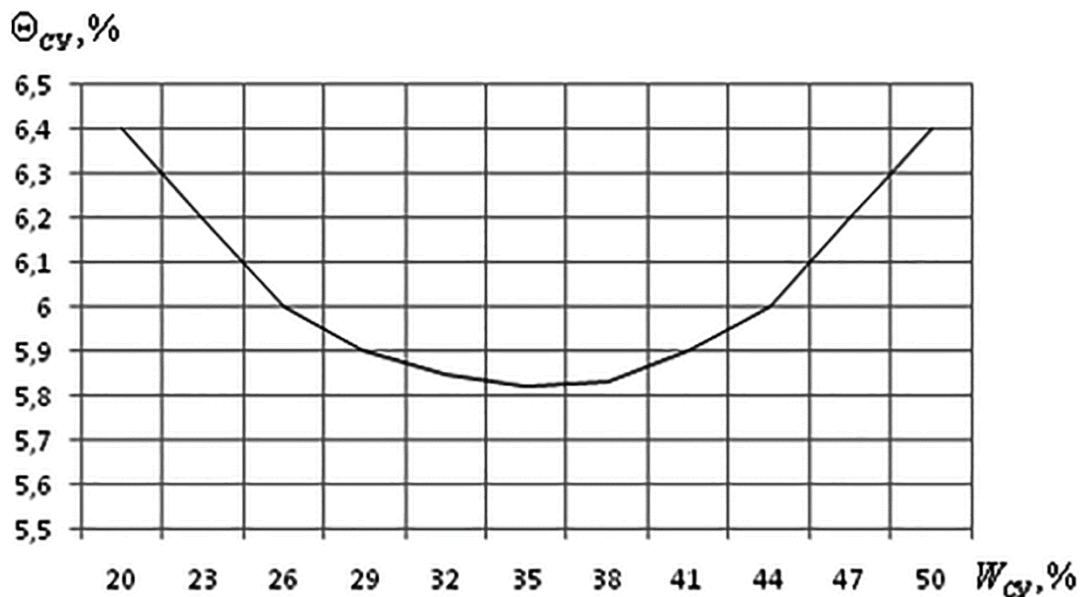


Рисунок 2.7 – Зависимость неоднородности усреднения влаги от влажности соево-пастовой композиции

В результате, время движения молекул воды из мясокостного или рыбьего компонента в соевый компонент, определим из выражения (2.102):

$$t_{cy} = \left\{ \left[\frac{1}{t(W_0 - W_1)} \cdot \ln \frac{W_1(W_0 - X)}{W_0(W_1 - X)} \right] W_0 \right\}^{-1} \quad (2.102)$$

Проанализировав это выражение, становится ясно, что его можно считать трансцендентным и поэтому возможно решить, применив следующий подход.

Принимаем во внимание, что перераспределение влаги среди компонентов должно выполняться за промежуток времени равный либо меньший чем: $t_{cy} \leq [t_{cy}]$, где $[t_{cy}]$ – предельно допустимое время усреднения влажности в смесителе-усреднителе, длина которого соответствует Z_{cy} .

Поэтому значение $[t_{cy}]$ можно определить по выражению (2.103):

$$[t_{cy}] = Z_{cy} / v_{cy} \quad (2.103)$$

где v_{cy} – скорость перемещения бинарной композиции внутри смесителя-усреднителя.

Подставив величину $[t_{cy}]$ в уравнение (2.102) получим выражение (2.104):

$$t_{cy} = \left\{ \left[\frac{v_{cy}}{Z_{cy}(W_0 - W_1)} \cdot \ln \frac{W_1(W_0 - X)}{W_0(W_1 - X)} \right] W_0 \right\}^{-1} \leq [t_{cy}] \quad (2.104)$$

В случае использования, например, трех компонентов соевого, мясокостного и т. д., каждый из которых имеет различную влажность, дифференциальное уравнение скорости усреднения влаги в компонентах можно представить как выражение (2.105):

$$v = \frac{dx}{dt} = k(W_0 - X)(W_1 - X)(W_3 - X) \quad (2.105)$$

где W_3 – влажность третьего компонента.

В этом случае получим:

$$\frac{dx}{dt} = k(W_0 - X)^3, \quad (2.106)$$

$$t_{cy} = k^{-1} \left[\frac{X}{2W_0^2} \cdot \frac{2(W_0 - X)}{(W_0 - X)^2} \right] \quad (2.107)$$

Для случая когда усреднение влаги идет в прямом и обратном направлениях получим выражение (2.108), для состояния равновесия – выражение (2.109):

$$\frac{dW}{dt} = k_1(W_0 - W) - k_2W, \quad (2.108)$$

$$\frac{dW}{dt} = 0 = k_1(W_0 - W) - k_2W \quad (2.109)$$

Приняв, что равновесная влажность компонентов равна W_p , получаем выражения (2.110)–(2.111):

$$k_1(W_0 - W_p) = k_2W_p, \quad (2.110)$$

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

$$\text{или } k_2 = \frac{k_1(W_0 - W_p)}{W_p} = k_1 \left(\frac{W_0}{W_p} - 1 \right) \quad (2.111)$$

Подставляя значение k_2 в уравнение (2.108) и преобразуя его, имеем выражение (2.112):

$$\frac{dW_c}{dt} = k_1 \cdot W_0 - \frac{k_1 \cdot (W_0 - W)}{W_p} \quad (2.112)$$

После интегрирования имеем выражение (2.113):

$$k_1 = \frac{W_p}{W_0 \cdot t} \cdot \ln \frac{W_p}{(W - W_p)} \quad (2.113)$$

В состоянии равновесия, при котором существует равенство (2.114):

$$-\frac{dW_1}{dt} = \frac{dW_2}{dt} = k_1 W - k_2 W \quad (2.114)$$

имеем уравнение (2.115):

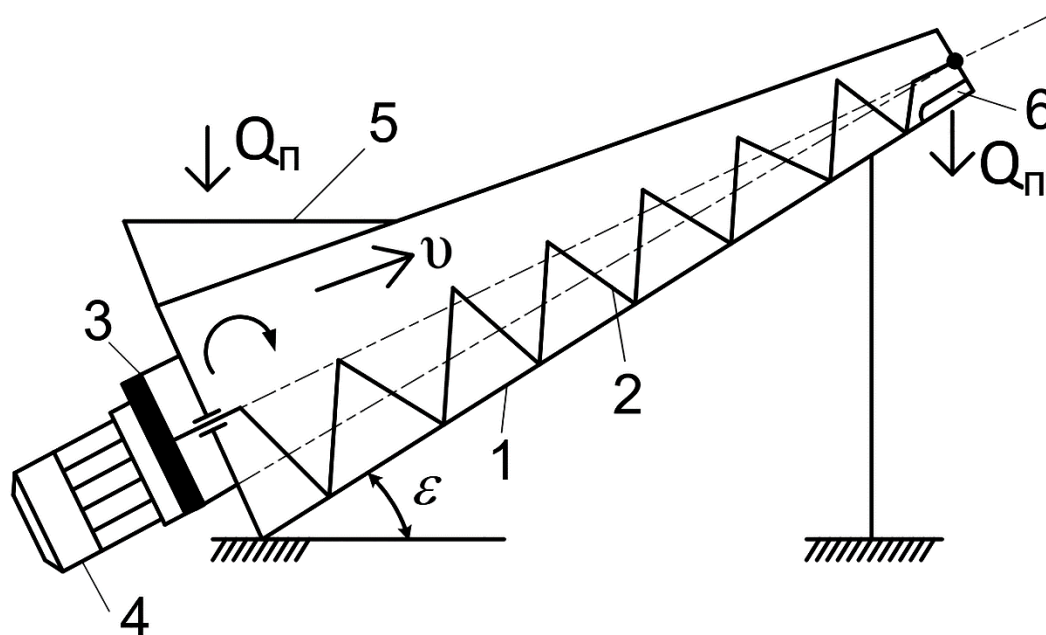
$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{W_2}{W_1} \quad (2.115)$$

В соответствии с анализом, проведенным в разделе 1, выявлено, что на процесс блендирования мучных и пастообразных элементов сухой и увлажненной физической формы, значительное влияние оказывает способ воздействия.

Один из подобных способов, который обеспечивает увеличение эффективности блендирования компонентов разной физической формы, к примеру, муки и пасты, считается способ, реализуемый при помощи устройства, схема которого представлена на рисунке 2.8 [40].

Смеситель-усреднитель влаги (авторское свидетельство № 1253541) содержит корпус 1, который размещен под острым углом к продольной оси шнека 2 и получает вращение с помощью планетарной передачи от электродвигателя 4.

Корпус 1 сделан в форме усеченного конуса. Угол от стенки до продольной оси равен углу наклона винта 2 к продольной оси корпуса 1 смесителя. Диаметр корпуса 1 в любом поперечном сечении должен быть не менее диаметра окружности вращения около продольной оси корпуса 1 кромки винта шнека 2. Кормовые компоненты загружаются в смеситель-усреднитель влаги непосредственно через приемный бункер 5, а выгружаются через окно 6.



1 – корпус; 2 – винт; 3 – привод; 4 – электрический двигатель;
5 – приемный бункер; 6 – окно для выгрузки

Рисунок 2.8 – Конструктивно-технологическая схема шнекового смесителя-усреднителя влаги, в котором смещена ось вращения винта

Загруженные через приемный бункер 5 компоненты корма, поступают в полость конического корпуса 1, а затем подвергаются обработке в виде перемешивания их шнеком 2. Из-за того, что винт 2 стоит под острым углом к продольной оси корпуса 1, а его стенки образуют между собой такой же угол, то исключается водообразование и кормовые компоненты перемешиваются по всему объему корпуса. В связи с этим винт 2 как бы *обега*ет стенки своего конического корпуса 1.

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

За счет того, что ось вращения винта смещена на некоторую величину эксцентриситета (e_c) (рис. 2.9), композиция, с содержанием муки и пасты, дополнительно имеет колебательное воздействие, которое обеспечивает дополнительное перераспределение единичных порций и частиц кормовых компонентов между собой.

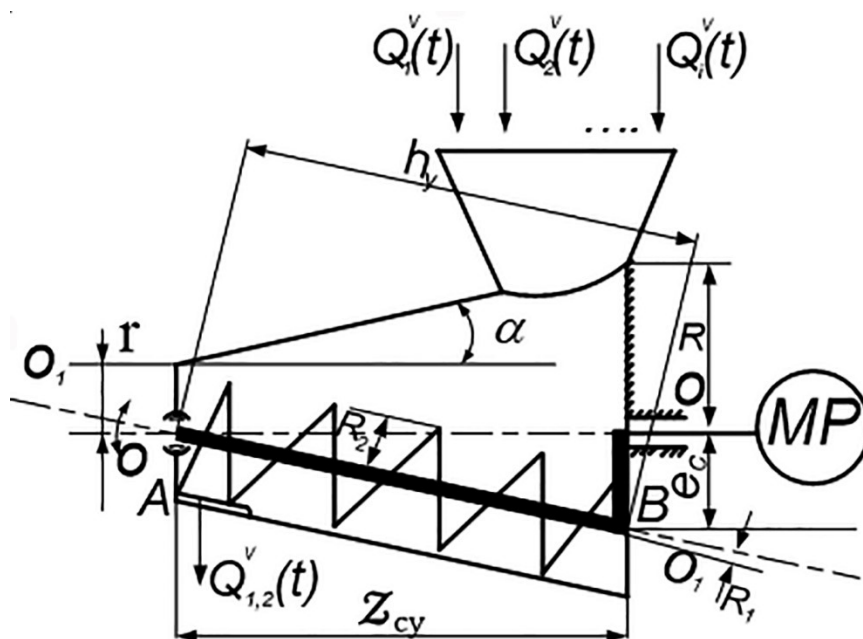


Рисунок 2.9 – Расчётная схема к определению параметров смесителя-усреднителя влаги

В соответствии с приведенной на рисунке 2.9 схемой параметры предложенного смесителя-усреднителя влаги определяются выражениями (2.116)–(2.117) [40]:

$$Z_y = h_y \cdot \cos\alpha \quad (2.116)$$

$$e_c = Z_y \cdot \operatorname{tg}\alpha, e_c = h_y \cdot \sin\alpha = \frac{Z_y}{\operatorname{ctg}\alpha} \quad (2.117)$$

При анализе рабочего процесса смесителя-усреднителя влаги принимаем установившийся режим его работы.

Расчетная объемная подача смесителем-усреднителем данного типа может быть представлена выражением (2.118):

$$Q_{\text{cy}}^v = \frac{V \cdot \varphi}{t_{\text{cy}}} \quad (2.118)$$

где V – объем корма, который обрабатывается за определенный промежуток времени;

φ – коэффициент, который учитывает фактический объем, подвергаемый обработке либо механическому воздействию;

t_{cy} – время механического влияния на кормовые элементы.

Проведенный анализ работы шнекового смесителя-усреднителя влаги показывает, что его коэффициент наполнения (φ), в отличие от обычного горизонтального смесителя, является переменной величиной в течение периода $\varphi_{\text{ср}}$ установившегося режима работы.

В этой связи необходимо вести речь о среднем значении подачи смесителя-усреднителя за период t_{cy} .

На рисунке 2.10 представлена схема к расчету параметров смесителя-усреднителя влаги [106].

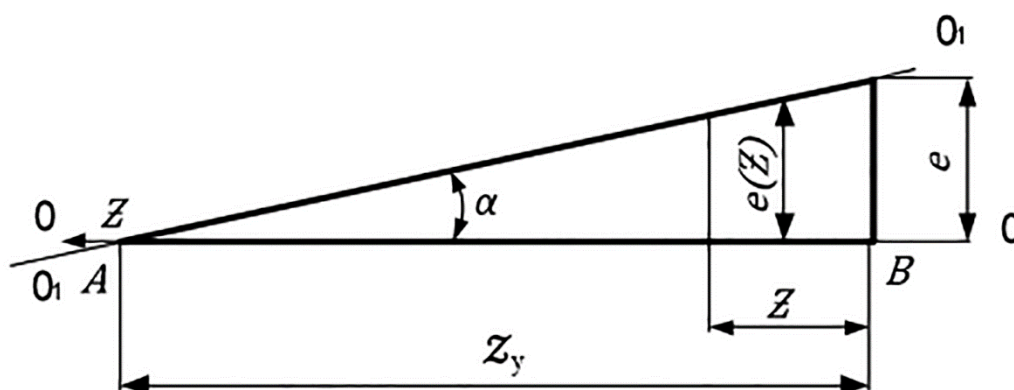


Рисунок 2.10 – Схема к определению шнекового смесителя-усреднителя

Согласно приведенной схеме имеем следующее равенство (2.119):

$$\frac{e(Z)}{e} = \frac{Z_y - Z}{Z_{\text{cy}}} \quad (2.119)$$

или $e(Z) = \frac{Z_y - Z}{Z_y} e$

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

Покажем поперечное сечение шнека для момента времени t , когда вектор $e(Z)$ находится под углом $\gamma = \omega t$ к оси X (рис. 2.11).

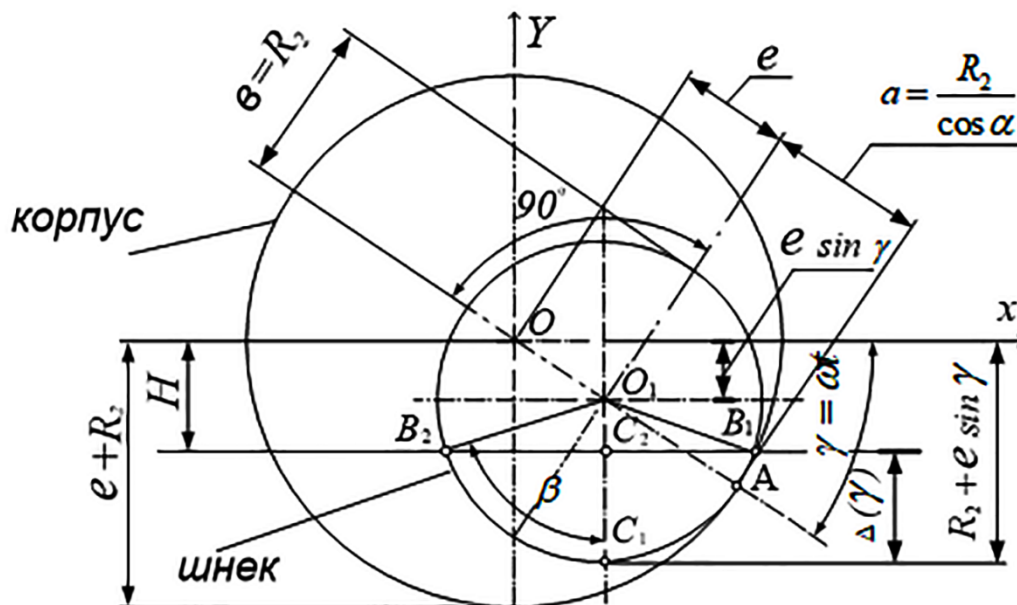


Рисунок 2.11 – Схема к определению коэффициента объемного наполнения винта шнека [106]

Согласно рисунку 2.11 имеем цилиндрическую поверхность с осью O_1O_1 и радиусом R_2 , которая включает винтовую поверхность шнека. Так как ось O_1O_1 цилиндрической плоскости находится под углом α к оси OO , то пересечение плоскости, перпендикулярной к оси OO , с цилиндрической поверхностью, образует эллипс с полуосями $a = \frac{R_2}{\cos \alpha}$ вдоль $e(Z)$ и $b = R_2$ вдоль оси перпендикулярной $\overline{e(Z)}$. В силу малости угла α эллипс является слабо вытянутым, с очень малым эксцентриситетом (2.120):

$$e = \frac{f}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} = \frac{\sqrt{\frac{R_2^2}{\cos^2 \alpha} - R_2^2}}{\frac{R_2}{\cos \alpha}} = \sin \alpha \quad (2.120)$$

где f – расстояние от центра эллипса до его фокуса.

В дальнейшем вместо эллипса с полуосями $a = \frac{R_2}{\cos \alpha}$, $b = R_2$ будем рассматривать окружность радиуса R_2 .

Верхний уровень продукта в сечении $Z = 0$ примем равным H , определяемым расстоянием от оси OO до верхнего уровня массы продукта.

Примем $H > R_1$.

Определим значение объемного коэффициента наполнения φ (γ) при заданных величинах γ и H .

Примем отрезок, равный $\Delta(\gamma)$, определяющий глубину погружения нижней кромки винтовой поверхности шнека 2 в продукт. Обозначим B_1 и B_2 точки пересечения окружности радиуса R_2 с нижней горизонтальной прямой, которая проведена на расстоянии H от оси OO (рис. 2.11).

Отметим точку C_2 , которая делит отрезок B_1B_2 пополам, а также точку C_1 , которая расположена на окружности радиуса R_2 и располагается на продолжении O_1C_2 .

Рассмотрим сегмент $B_1C_2B_2C_1B_1$ высотой $C_1C_2 = \Delta(\gamma)$ с радиусом R_2 . Площадь сегмента $B_1C_2B_2C_1B_1$ определяет активную площадь поперечного сечения шнека, воздействующего посредством нее на продукт.

Согласно рисунку 2.11, получаем:

$$\Delta(\gamma) = R_2 + (e \cdot \sin \gamma) - H \quad (2.121)$$

При этом, угол β определяется по зависимости (2.122):

$$\cos \beta = \frac{O_1C_2}{O_1B_2} = \frac{R_2 - C_1C_2}{R_2} = \frac{R_2 - \Delta(\gamma)}{R_2} \quad (2.122)$$

Площадь сектора $O_1B_1C_1B_2O_1$ находится из выражения (2.123):

$$S = \frac{1}{2} (2\beta) \cdot R_2^2 = \beta \cdot R_2^2 \quad (2.123)$$

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

Площадь треугольника (S_{Δ}) определяется выражением (2.124):

$$\begin{aligned}
 S_{\Delta} &= \frac{1}{2} (2 \cdot B_2 C_2) \cdot O_1 C_2 = (R_2 \cdot \sin \beta) \cdot (R_2 \cdot \cos \beta) = \\
 &= R_2^2 \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta = R_2^2 \cdot \frac{R_2 - \Delta(\gamma)}{R_2} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{R_2 - \Delta(\gamma)}{R_2}\right)^2} = \\
 &= (R_2 - \Delta(\gamma)) \cdot \sqrt{R_2^2 - (R_2 - \Delta(\gamma))^2} = (R_2 - \Delta(\gamma)) \cdot \\
 &\quad \cdot \sqrt{2R_2 \cdot \Delta(\gamma) - \Delta^2(\gamma)}
 \end{aligned} \tag{2.124}$$

Площадь сегмента $B_1 C_2 B_2 C_1 B_1$ определим как разность площадей сектора $O_1 B_1 C_1 B_2 O_1$ и треугольника $B_2 O_1 B_1 C_2 B_2$:

$$S_{B_1 C_2 B_2 C_1 B_1} = S_{O_1 B_1 C_1 B_2 O_1} - S_{B_2 O_1 B_1 C_2 B_2} \tag{2.125}$$

В конечном итоге получаем выражение (2.126):

$$S_{\Delta} = \beta R_2^2 - (R_2 - \Delta(\gamma)) \sqrt{2R_2 \cdot \Delta(\gamma) - \Delta^2(\gamma)} \tag{2.126}$$

На основании уравнения (2.123) имеем:

$$\beta = \arccos \frac{R_2 - \Delta(\gamma)}{R_2} \tag{2.127}$$

Тогда получаем выражение (2.128):

$$\begin{aligned}
 S &= \arccos \frac{R_2 - (R_2 + e \sin \gamma - H)}{R_2} \cdot R_2^2 - \\
 &\quad - (R_2 - \Delta(\gamma)) \cdot \sqrt{2R_2 \Delta(\gamma) - \Delta^2(\gamma)}
 \end{aligned} \tag{2.128}$$

С учетом значения $\Delta(\gamma)$ в равенстве (2.127) имеем выражение (2.129):

$$\begin{aligned}
 S &= \arccos \frac{R_2 - (R_2 + e \sin \gamma - H)}{R_2} \cdot R_2^2 - (R_2 - (R_2 + e \sin \gamma - H)) \cdot \\
 &\quad \cdot \sqrt{2R_2 \cdot (R_2 + e \sin \gamma - H) - (R_2 + e \sin \gamma - H)^2} = \left[\arccos \frac{H - e \sin(\gamma)}{R_2} \right] \cdot R_2^2 + \\
 &\quad + [H - e \sin(\gamma)] \cdot \sqrt{2R_2 \cdot (R_2 + e \sin(\gamma) - H) - (R_2 + e \sin(\gamma) - H)^2}
 \end{aligned} \tag{2.129}$$

Примем, что:

$$\left[\arccos \frac{H - e \sin(\gamma)}{R_2} \right] \cdot R_2^2 = A, \quad (2.130)$$

$$[H - e \sin(\gamma)] = B \quad (2.131)$$

Тогда преобразование радикала A правой части данного выражения, дает выражение (2.132):

$$S = A + B \cdot \sqrt{R_2^2 - [H - e \sin(\gamma)]^2}, \quad (2.132)$$
$$\sqrt{R_2^2 - [H - e \sin(\gamma)]^2} = C$$

В равенствах (2.129) и (2.132) угол γ принимает соответствующие значения через ωt , то есть $\gamma = \omega t$. Тогда:

$$S = A + B \cdot C \quad (2.133)$$

Это равенство является окончательным для определения площади сегмента S по заданным величинам ωt и H , и с учетом этого коэффициент объемного наполнения в зависимости от угла поворота шнека будет равен (2.134):

$$\varphi(\omega t) = \frac{S}{\pi(R_2^2 - R_1^2)} \quad (2.134)$$

где $\pi(R_2^2 - R_1^2)$ – полная площадь поперечного сечения шнека.

Данное выражение преобразуем к следующему виду (2.135):

$$\varphi(\omega t) = A + B \cdot C / [\pi(R_2^2 - R_1^2)] \quad (2.135)$$

При значениях $\gamma = \omega t = \pi/2 + k \cdot 2\pi$, где $k=0; 1; 2; 3\dots$ и при $k=0$, $\sin \pi/2=1$ и тогда $\varphi(\pi/2) \rightarrow \max$.

При значениях $\gamma = \omega t = \frac{3}{2}\pi + k \cdot 2\pi$, где при $k=0$ $\sin \frac{3}{2}\pi \varphi(\frac{3}{2}\pi) \rightarrow \min$.

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

Среднее значение коэффициента объемного наполнения за период времени T составит (2.136):

$$\varphi_{\text{cp}}(\varphi t) = \frac{\int_0^T \varphi(\omega t) dt}{T} \quad (2.136)$$

$$\varphi_{\text{cp}}(\omega t) = \{[\pi(R_2^2 - R_1^2)] \cdot T\}^{-1} \cdot \int_0^T (A + B \cdot C) dt$$

С учетом данного значения коэффициента объемного наполнения подача смесителя-усреднителя определится выражением (2.137):

$$Q_{\text{cy}}^V = \frac{V \cdot \varphi_{\text{cp}}(\omega t)}{t_{\text{cy}}} \quad (2.137)$$

Примем объем V равным объему усеченного конуса (рис. 2.9):

$$V = \frac{1}{3} h_y (r^2 + rR + R^2) \quad (2.138)$$

Тогда получим выражение (2.139):

$$Q_{\text{cy}}^V = \frac{h_y (r^2 + rR + R^2) \cdot \int_0^T (A + B \cdot C) dt}{3 \cdot [\pi(R_2^2 - R_1^2)] T \cdot t_{\text{cy}}} \quad (2.139)$$

Для определения массовой подачи имеем:

$$Q_{\text{cy}}^m = \frac{h_y (r^2 + rR + R^2) \cdot \varphi_{\text{cp}}(\omega t) \cdot v_{\text{cy}} \cdot \rho_{kk}}{3 \cdot Z_{\text{cy}} \cdot t_{\text{cy}}} =$$

$$= (r^2 + rR + R^2) \cdot v_{\text{cy}} \cdot \rho_{kk} \cdot \varphi_{\text{cp}}(\omega t) \cdot tg\alpha \quad (2.140)$$

где ρ_{kk} – плотность кормосмеси в шнековом смесителе-усреднителе влаги;

Z_{cy} – длина образующей усеченного конуса, равная длине корпусу устройства;

v_{cy} – скорость движения кормовой композиции по шнековому смесителю-усреднителю влаги.

При этом по формуле (2.141) определим максимальную подачу смесителя-усреднителя влаги, а минимальную производительность устройства по выражению (2.142):

$$Q_{cy\ max}^m = v_{cy} \cdot \rho_{kk} \cdot \left\{ \frac{(A + B \cdot C)}{[\pi(R_2^2 - R_1^2)]} \right\} \quad (2.141)$$

$$Q_{cy\ min}^m = v_{cy} \cdot \rho_{kk} \left[\left(\arccos \frac{H + e}{R_2} \right) \cdot R_2^2 + (H + e) \cdot [R_2^2 - (H + e)^2]^{0,5} \right] \quad (2.142)$$

Средняя производительность смесителя-усреднителя влаги с бинарной композицией, например, *НСМ + мясокостная паста*, находится по выражению (2.143):

$$Q_{cy\ ср}^m = \frac{1}{T} \int_0^T v_{cy} \cdot \rho_{kk} \left\{ \frac{A + B \cdot C}{[\pi(R_2^2 - R_1^2)]} \right\} dt \quad (2.143)$$

где $v_{cy} = \frac{z_y}{t_{cy}}$ – скорость движения кормовой композиции в смесителе-усреднителе влаги.

При значениях H , определяемых по условию: $H \leq -(R_2 - e)$, имеем выражения (2.144)–(2.145):

$$Q_{cy\ max}^m = \frac{\pi \cdot Z_{cy} \cdot R_2^2 \cdot \rho_{kk} \cdot \varphi_{ср}(\omega t)}{t_{cy}}, \quad (2.144)$$

$$Q_{cy\ min}^m = \frac{\pi \cdot Z_{cy} \cdot R_2^2 \cdot \rho_{kk} \cdot \varphi_{ср}(\omega t)}{t_{cy}} \quad (2.145)$$

Это означает, что теоретический анализ рабочего процесса смесителя-усреднителя выполнен верно.

Объемную подачу рассчитаем с учетом выражения (2.102) для бинарной композиции *НСМ + мясокостная паста* по выражению (2.146):

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

$$Q_{cy}^V = \frac{h_y \cdot (r^2 + rR + R^2) \varphi_{cp}(\omega t)}{3 \cdot \left\{ \left[\frac{v_{cy}}{Z_{cy}(W_0 - W_1)} \cdot \ln \frac{W_1(W_0 - X)}{W_0(W_1 - X)} \right] \cdot W_0 \right\}^{-1}} =$$

$$= 0,33 h_y \varphi_{cp}(\omega t) \cdot (r + rR + R^2) \cdot \left[\frac{v_{cy}}{Z_{cy}(W_0 - W_1)} \cdot \ln \frac{W_1(W_0 - X)}{W_0(W_1 - X)} \right] \cdot W_0 \quad (2.146)$$

С учетом формулы (2.107) определим объемную подачу для тринарной кормовой композиции при помощи выражения (2.147):

$$Q_{cy}^V = 0,33 h_y \cdot \varphi_{cp}(\omega t) \cdot (r + rR + R^2) \cdot k^{-1} \left[\frac{X}{2W_0^2} \cdot \frac{2(W_0 - X)}{(W_0 - X)^2} \right] \quad (2.147)$$

По аналогии рассчитаем массовую подачу, используя выражения (2.148)–(2.149):

$$Q_{cy}^{m2} = \pi \cdot Z_{cy} \cdot R_2^2 \cdot \rho_{kk} \cdot \varphi_{cp}(\omega t) \cdot \left[\frac{v_{cy}}{Z_{cy}(W_0 - W_1)} \cdot \ln \frac{W_1(W_0 - X)}{W_0(W_1 - X)} \right] \cdot W_0, \quad (2.148)$$

$$Q_{cy}^{m3} = \pi \cdot Z_{cy} \cdot R_2^2 \cdot \rho_{kk} \cdot \varphi_{cp}(\omega t) \cdot k^{-1} \left[\frac{X}{2W_0^2} \cdot \frac{2(W_0 - X)}{(W_0 - X)^2} \right] \quad (2.149)$$

В общем случае затраты мощности для смесителя-усреднителя влаги определим по выражению (2.150):

$$N_{cy} = 0,01 \cdot k_{cy} \cdot Z_{cy} \cdot Q_{cy}^m \quad (2.150)$$

где k_{cy} – коэффициент пропорциональности, который зависит от угла наклона шнекового смесителя-усреднителя (рис. 2.8).

2.3.3 Теоретические предпосылки к обоснованию способа повышения качественных показателей процесса усреднения влаги в подсистеме СУ–ПГ

При подачи кормовых компонентов в гранулирующий узел, как было установлено экспериментально, смесь должна быть однородной по своему составу, характеризуемая показателем θ_{cm} , при влажности от 30 до 35 % [96, 122].

При этом влага должна распределяться равномерно по всему объему формуемых гранул, имеющих заданную длину ($l_{гр}$).

Только в соответствии с этими условиями создаются хорошие предпосылки к формированию гранул с необходимой прочностью (P_p), а также с требуемым значением крошимости: $K_p = 100 - P_p$.

Таким образом, существует зависимость, которая в общем виде запишется выражением (2.151):

$$P_p = f\{W_K; [\theta_{см} = f(t_{ПГ})]; \dots d_{гр}\} \quad (2.151)$$

где $t_{ПГ}$ – период времени перераспределения частиц при смешивании и уплотнении компонентов в пресс-грануляторе;

$d_{гр}$ – диаметр формуемых гранул.

В процессе работы пресс-гранулятор должен обеспечивать выравнивание колебаний влажности в блендированных компонентах, которые могут быть в реальных обстоятельствах и которые обусловлены воздействием множества разных управляемых и неуправляемых факторов. Составить и решить дифференциальные уравнения, описывающие реально происходящий технологический процесс и учесть при этом все без исключения факторы не представляется возможным.

Используя положения теории вероятности [45, 80] к рассматриваемому процессу (рис. 2.12), можно учесть смену колебаний влажности, преобразовывая при этом потоки продуктов на входе определенными способами.

Перемены колебаний влаги на входе и выходе потока (рис. 2.13), возможно рассмотреть как постоянный случайный процесс, который обладает свойством эргодичности (подобие всей совокупности вероятных реализаций процесса).

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

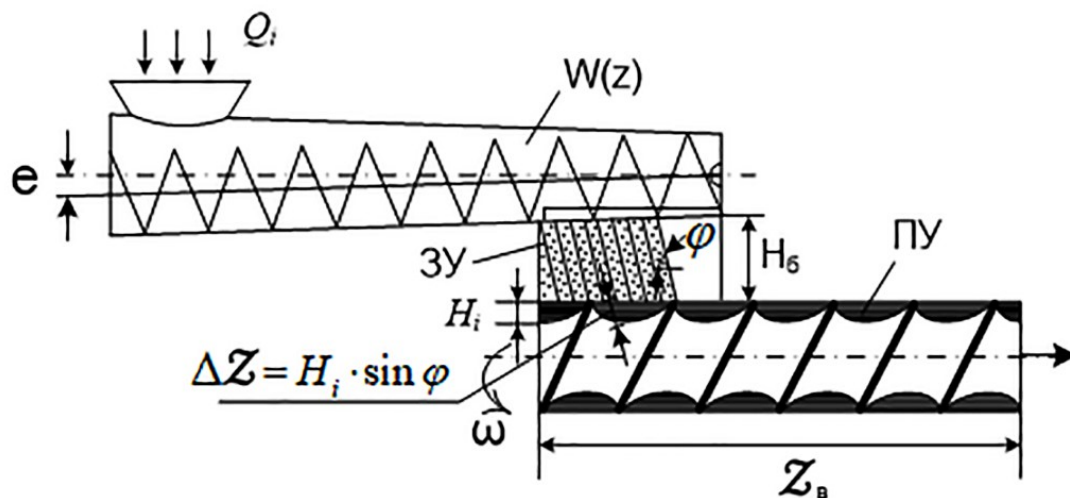


Рисунок 2.12 – Схема к определению параметров процесса выравнивания колебаний влаги в кормовых композициях с помощью загрузочного устройства пресс-гранулятора

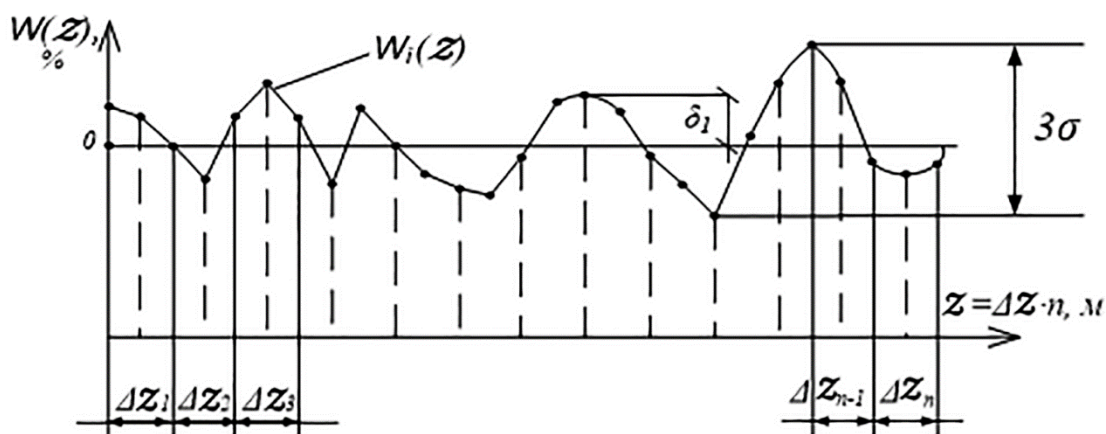


Рисунок 2.13 – Реализация случайной функции $W = f(Z)$ колебаний влаги в потоке

Проанализируем стационарную случайную функцию рассредоточения влаги ($W = f(Z)$) по длине преобразованного с помощью загрузки материального потока $Z = \Delta Z \cdot n$, где ΔZ – длина преобразованного в слои потока; n – количество слоев.

Среднюю величину содержания влаги, соответствующую отдельной реализации на длине материального потока Z , рассчитаем по выражению (2.152):

$$\bar{W}(Z) = \frac{1}{Z} \int_0^Z W_i(Z) dZ \quad (2.152)$$

В соответствии с рисунком 2.13 получим выражение (2.153):

$$\bar{W} = W_p(1 \pm \Delta W) \quad (2.153)$$

где ΔW – разность относительной расчетной и действительной массы влаги по длине реализации случайного процесса Z .

Чтобы определить величину ΔW , зададимся условием при котором величина \bar{W} рассредотачивается по нормальному закону, поэтому вероятность P определим из выражения (2.154):

$$P \cdot (\bar{W} - 2 \cdot \sigma) < 2 \cdot |\Delta| < (W_0 + 2 \cdot \sigma) = 0,95 \quad (2.154)$$

где σ – среднеквадратичное отклонение;

$\pm \Delta = (\bar{W} - W_p)$ – абсолютное отклонение действительного содержания влаги от теоретического.

Согласно условию (2.152) запишем:

$$\Delta \leq 2\sigma \text{ и } \Delta W = \frac{\sigma}{W_p} \quad (2.155)$$

Отсюда следует выражение (2.156):

$$\sigma = \frac{\Delta W \cdot W_p}{2} \quad (2.156)$$

Для заданных условий и закона распределения, определим дисперсию D_M для случайной величины \bar{W} входящего потока по выражению (2.157):

$$D_M = \sigma^2 = \frac{\Delta W^2 \cdot W_p^2}{4} \quad (2.157)$$

В то же время дисперсию можно выразить через корреляционную функцию и математическое ожидание случайной величины выражением (2.158):

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

$$D_M = M_X \left\{ \left[\frac{1}{2} \int_0^Z W(Z) dZ - W_p \right]^2 \right\} = \frac{1}{Z^2} \int_0^Z \int_0^Z R_Z(\Delta Z) dZ_1 dZ_2 \quad (2.158)$$

где $R_Z(\Delta Z)$ – корреляционная функция;
 W_X – математическое ожидание случайной величины;
 $\Delta Z = Z_1 - Z_2$ – заданный участок потока.

Используя выражения (2.157) и (2.158), получим выражение (2.159):

$$\frac{\Delta W^2 \cdot W_p^2}{4} = \frac{2D_M \Delta Z_0}{Z} + R_Z(\Delta Z) \quad (2.159)$$

Корреляционную функцию R_Z аппроксимируем выражением (2.160):

$$R_Z(\Delta Z) = D_M l^{-\alpha \Delta Z_0} \cos \beta \Delta Z_0 \quad (2.160)$$

где α и β – характеристики корреляционной функции, которые учитывают характер ее уменьшения и колебаний.

В данном случае получаем выражение (2.161):

$$|\Delta W| = \frac{2}{W_p} \left[\frac{2D_M \cdot \Delta Z_0 + D_M \cdot Z \cdot l^{-\alpha \Delta Z_0} \cdot \cos \beta \cdot \Delta Z_0}{Z} \right]^{0,5} \quad (2.161)$$

В соответствии с начальным условием $\Delta Z_0 / Z = \frac{1}{n}$, где n – преобразованный поток с определенным количеством формируемых слоев, получим:

$$|\Delta W| = \frac{2}{W_p} \left[\frac{2 \cdot D_M + D_M \cdot l^{-\alpha \Delta Z_0} \cdot \cos \beta \cdot \Delta Z_0}{n} \right]^{0,5} \quad (2.162)$$

При условии $\Delta Z_0 \approx 0$, получим выражение (2.163):

$$|\Delta M| = \frac{2[2D_M + D_M]^{1/2}}{\bar{M}_p} = \bar{M}_p^{-1} \cdot (12D_M)^{0,5} \quad (2.163)$$

С учетом зависимости (2.164):

$$Z_B = \sum_{l=1}^m l_{rp} \quad (2.164)$$

Для двух либо трехкомпонентной кормовой композиции можно рассчитать отклонение содержания влажности в преобразованном с помощью устройства потоке по выражению (2.165):

$$W = W_p \pm (12D_M)^{0,5} \quad (2.165)$$

Эти отклонения не могут быть выше допустимых значений, так как в этом случае гранулы не будут заданной формы, а поэтому будут разрушаться при выходе из формующей решетки.

В результате этого среднее значение влажности в кормосмеси определяется из выражения (2.166):

$$W_p = \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{n} \quad (2.166)$$

где W_i – масса влаги в различных компонентах (соевом и пастовом).

Частным опытом определена величина дисперсии D_M колебаний влаги в потоке двухкомпонентной кормовой композиции при параллельной загрузке в бункер пресс-гранулятора [106].

Во время выполнения опытов скорость движения потока составляла 1 м/с , что соответствовало подаче кормового продукта $0,028 \text{ кг/с}$.

При движении кормового потока, среднее содержание влаги составило $W_{\text{ср}} = 28 \text{ г/м} \cdot 0,7 = \frac{19,6 \text{ г/м}}{2} = 9,8 \text{ г/м}$, а дисперсия колебаний влаги в движущемся потоке – $D_M = 0,02 \text{ г/м}$.

В результате полученных данных, относительное действительное отклонение ΔW , рассчитанное в соответствии с формулой (2.163), равно:

$$\Delta W = \frac{1}{W_{\text{ср}}} \sqrt{12D_M} = \frac{1}{9,8} \sqrt{12 \cdot 0,02} = \frac{1 \cdot 0,489}{9,8} = \frac{0,489}{9,8} = 0,0499 \text{ или } 4,99\%$$

2.3.4 Обоснование параметров процесса

дополнительного усреднения влаги в пресс-грануляторе

При производстве гранулированной кормовой добавки однородного состава важную роль играет фактор $t_{\text{ПГ}}$, с учетом параметра $t_{\text{су}}$.

Пресс-гранулятор (рис. 2.14), перемещая частицы НСМ размером 28 мкм и частицы влажного компонента – пасты из рыбкостного либо мясокостного сырья, либо травы, либо ламинарии также обеспечивает молекулярно-диффузионный режим работы, как и смеситель. Беспорядочно взаимодействуя между собой в передвигающемся потоке, влага от частиц пасты окончательно переходит к частицам НСМ, поэтому влага кормовой композиции дополнительно выравнивается путем ее усреднения (2.167):

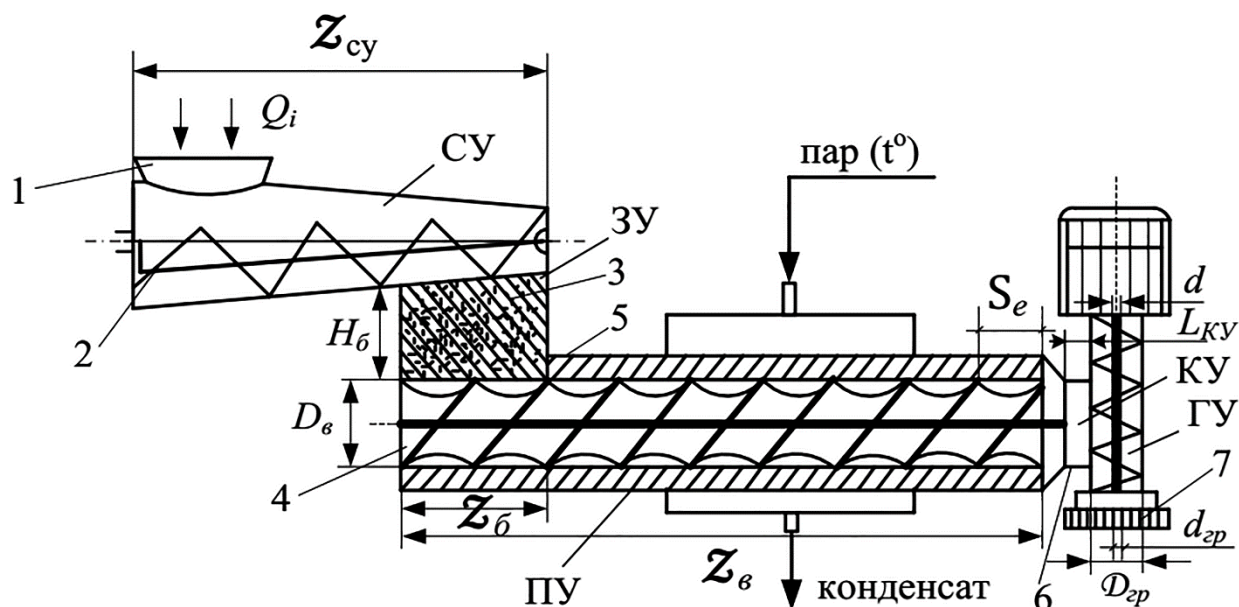
$$W_{\text{ср}} = \frac{W_1 \cdot \alpha_1 + W_2 \cdot \alpha_2 + W_i \cdot \alpha_i + \dots}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_i + \dots} \quad (2.167)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_i$ – массовая доля кормовых компонентов в композиции;
 W_1, W_2, W_i – влажность различных кормовых компонентов.

Согласно схемы пресс-гранулятора (рис. 2.14), параметр Z_s будет неизвестным. Его величина определяется явлениями, которые проходят при взаимодействии частиц пасты, размером 0,5–1 мм и частиц необезжиренной соевой муки. Эти параметры задаются технологией получения гранулята и являются исходными [36].

Согласно схеме совместной работы подсистемы в виде смесителя-усреднителя и пресс-гранулятора, компоненты параллельно подаются, в виде мясокостной или рыбкостной пасты с влажностью от 60 до 80 % и НСМ с первоначальной влажностью до 10 %, в смеситель-усреднитель с соотношением (1:1), а затем в пресс-гранулятор через загрузочное устройство.

При этом, концентрацию воды в необезжиренной соевой муке, на данном этапе усреднителем обозначим как C_m , а концентрацию воды в частицах пасты – $C_{\text{п}}$.



- 1 – загрузочный бункер смесителя-усреднителя влажности компонентов;
 2 – винт смесителя-усреднителя влаги; 3 – бункер для загрузки пресс-гранулятора;
 4 и 5 – винт и корпус пресс-гранулятора; 6 – компрессионная камера
 пресс-гранулятора; 7 – формующая решетка

Рисунок 2.14 – Схема пресс-гранулятора для определения параметров

Разница концентраций воды ΔC в композиции, проходящей расстояние, равное Z_B , является силой движения молекулярного диффузионного процесса переноса массы молекул воды из мясокостной или рыбокостной пасты к частицам обезжиренной соевой муки. Количество воды $M_{ПГ}$, продиффундировавшее за время $t \geq t_{ПГ}$, находится из выражения (2.168):

$$M_{ПГ} = (D + \varepsilon_D) \frac{F \cdot \Delta C \cdot t_{ПГ}}{\delta} \quad (2.168)$$

где D – коэффициент диффузии, который зависит от температуры среды, давления, концентрации, а также от свойств диффундирующего вещества;

ε_D – коэффициент, который учитывает влияние перемешивания, то есть конвективной диффузии;

F – площадь слоя продукта, через который протекает диффундирующее вещество.

Время, которое необходимо для протекания процесса перехода частиц воды из одного элемента в другой, в перемещающихся двух смежных по фазе

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

потоках, с учетом времени заполнения бункера 3 ($t_{3у}$) (рис. 2.14), можно представить как выражение (2.169):

$$t_{пг} = \frac{Z_B}{v_{пг}} = t_{3у} \quad (2.169)$$

где Z_B – длина корпуса пресс-гранулятора;

$v_{пг}$ – скорость движения смешиваемых компонентов в камере пресс-гранулятора.

При этом подачу пресс-гранулятора представим в виде выражения (2.170) [96]:

$$Q_{пу} = \frac{(D_B^2 - d_B^2)S_B \cdot \omega_B \cdot \rho_{пг} \cdot \varphi_B}{8} \quad (2.170)$$

где D_B, d_B – диаметры винта и вала;

S_B – шаг винта;

ω_B – угловая скорость винта;

$\rho_{пг}$ – плотность кормовой композиции в камере пресс-гранулятора;

φ_B – коэффициент, учитывающий заполнение межвиткового пространства.

Продолжительность заполнения бункера 3 (рис. 2.14) определим из условия: $Q_{пу} \geq Q_{3у} \geq Q_{су}$, где $Q_{3у}$ – пропускная способность емкости загрузочного устройства.

Значения данного параметра связаны зависимостью (2.171):

$$Q_{3у} = \frac{B_6 \cdot Z_6 \cdot H_6 \cdot \rho_{3у}}{t_{3у}} \quad (2.171)$$

где $\rho_{3у}$ – плотность кормовой композиции в емкости бункера пресс-гранулятора;

Z_6, B_6, H_6 – длина, ширина и высота емкости загрузочного бункера пресс-гранулятора, соответственно.

Время заполнения бункера ($t_{3у}$) выразим из уравнения (2.171) с учетом величин, приведенных в равенстве (2.170):

$$t_{3у} = \frac{8 \cdot B_6 \cdot Z_6 \cdot H_6 \cdot \rho_3}{(D_B^2 - d_B^2)S_B \cdot \omega_B \cdot \rho_{пг} \cdot \varphi_B} \quad (2.172)$$

Выразив параметр $t_{\text{ПГ}}$ из равенства (2.168), а скорость ($v_{\text{ПГ}}$) из равенства (2.169), а также приравняв их на основании условия $Q_{\text{ПГ}} \geq Q_{\text{ЗУ}}$ и решив относительно $Z_{\text{В}}$, получим выражение (2.173):

$$Z_{\text{В}} = \frac{(D_{\text{В}}^2 - d_{\text{В}}^2)S_{\text{В}} \cdot \omega_{\text{В}} \cdot \rho_{\text{КК}} \cdot \varphi_{\text{В}} \cdot M_{\text{П}} \cdot \delta}{8 \cdot B_{\text{Г}} \cdot Z_{\text{Г}} \cdot H_{\text{Г}} \cdot \rho_{\text{З}} \cdot (D + \varepsilon_D) \cdot F \cdot \Delta W} \quad (2.173)$$

Отношение $\rho_{\text{ПГ}}/\rho_{\text{ЗУ}}$ представляет собой величину обратную степени уплотнения кормового продукта в загрузочном бункере пресс-гранулятора, равную $1/\lambda$, следовательно имеем (2.174):

$$Z_{\text{В}} = \frac{(D_{\text{В}}^2 - d_{\text{В}}^2)S_{\text{В}} \cdot \omega_{\text{В}} \cdot \varphi_{\text{В}} \cdot 0,125 \cdot M_{\text{П}} \cdot \delta}{B_{\text{Г}} \cdot Z_{\text{Г}} \cdot H_{\text{Г}} \cdot (D + \varepsilon_D) \cdot \lambda \cdot F \cdot \Delta W} \quad (2.174)$$

На протекающий процесс усреднения влаги в кормовой композиции *НСМ + паста* оказывают влияние величины, взаимосвязь которых показывает выражение (2.174).

Пропускная способность емкости загрузочного устройства ($Q_{\text{ЗУ}}$) с учетом (2.174) запишется в виде выражения (2.175):

$$Q_{\text{ЗУ}} = \frac{Z_{\text{В}} \cdot B_{\text{Г}} \cdot Z_{\text{Г}} \cdot H_{\text{Г}} \cdot (D + \varepsilon_D) \cdot \lambda \cdot F \cdot \Delta C}{M_{\text{П}} \cdot \delta} \quad (2.175)$$

При помощи выражений (2.174) и (2.175) на стадии проектирования и конструирования технических средств, можно рассчитать длину камеры прессующего узла для получения кормового гранулята с двумя либо тремя компонентами, со значительно отличающейся влажностью между ними.

Подставляя значение $Z_{\text{В}}$ из уравнения (2.172) в известное уравнение, для определения мощности, получим выражение (2.176):

$$N_{\text{ПГ}} = \frac{0,01k \cdot (D_{\text{В}}^4 - d_{\text{В}}^4) \cdot S_{\text{В}}^2 \cdot \omega_{\text{В}}^2 \cdot M_{\text{П}} \cdot \delta}{F \cdot \Delta W \cdot (D + \varepsilon_D) \cdot B_{\text{Г}} \cdot Z_{\text{Г}} \cdot H_{\text{Г}} \cdot \lambda} \quad (2.176)$$

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

где k – коэффициент, учитывающий сопротивление перемещению продукта.

При этом значение показателя однородности смеси, с учетом усреднения влаги в ней, определится выражением (2.177):

$$\theta_{\text{су}}^{\text{II}} = 1 - \frac{\sigma_{\text{пу}}}{W_{\text{p}}} \geq [\theta_{\text{су}}^{\text{II}}] \quad (2.177)$$

где W_{p} – средняя влажность в композиции, находящейся в прессующем узле пресс-гранулятора, определяемая по формуле (2.166).

Из выражения (2.177) следует:

$$[\sigma_{\text{пу}}] = W_{\text{p}} - [\theta_{\text{су}}^{\text{II}}] \cdot W_{\text{p}} \quad (2.178)$$

В процессе продвижения из камеры пресс-гранулятора бинарной композиции в виде: *соевая мука + мясокостная паста; соевая мука + рыбокостная паста; соевая мука + паста из травы или ламинарии*, за счет диффузии молекул воды, которые продолжают проникать в состав необезжиренной соевой муки, увеличивается средняя влажность в композиции.

Скорость протекания этого процесса (v) представляет собой функцию концентрации молекул воды в пасте (W), а также интенсивности броуновского движения, которое характеризуется коэффициентом диффузии (D_1) [138].

Представим перемещение молекул воды в перемещаемой среде, находящейся в компрессорной камере, как поток (Π) диффузии частиц радиусом (R) с расстоянием между ними, равным L [36].

Данный поток выразим в соответствии с законом Фика, который для рассматриваемого случая запишется в виде выражения (2.179):

$$\Pi = D_1 \cdot F \cdot \frac{dW}{d\ell} = 12,56 \cdot D_1 \cdot L^2 \cdot \frac{dW}{d\ell} \quad (2.179)$$

где F – площадь потока диффузионной поверхности;
 L – расстояние, преодолеваемое молекулой воды.

Выполнив интегрирование выражение (2.179) на интервале изменения W_0 от 0 при $L = 2R = \ell$ до W при $L = \infty$, получаем выражения (2.180)–(2.181):

$$\Pi = \int_{\ell}^{\infty} \frac{dL}{L^2} = 12,56 \cdot D_1 \cdot \int_0^W dW, \quad (2.180)$$

$$\text{либо } \Pi = 12,56 \cdot \ell \cdot D_1 \cdot W \quad (2.181)$$

Данный поток определяет скорость диффузионного перехода молекул воды из одного в другое смежное элементарное сечение dF :

$$\frac{dW}{dt} = 4 \cdot \pi \cdot \ell \cdot D \cdot W^2, \quad (2.182)$$

$$\text{или } \frac{dW}{dt} = k \cdot W^2 \quad (2.183)$$

Интегрирование уравнения (2.182) при $W = W_0$ и $t = 0$ дает взаимосвязь концентрации воды в простом слое от времени, которую можно записать в виде выражения (2.184):

$$W = \frac{W_0}{1 + k \cdot W_0 \cdot t_{\text{кУ}}} \quad (2.184)$$

где $k \cdot W_0 \cdot t_{\text{кУ}}$ – безразмерная величина, а $k \cdot W_0$ будет иметь размерность, с^{-1} .

Представим параметр $t_{\text{кУ}}$ равный периоду диффузионного перехода частицы воды:

$$t_1 = \frac{1}{k \cdot W_0} \quad (2.185)$$

Тогда имеем выражение (2.186):

$$W = \frac{W_0}{1 + t_{\text{кУ}}/t_1} \quad (2.186)$$

Из уравнения (2.186) следует, что за время $t_{\text{кУ}} = t_1$ начальная концентрация воды W в пределах КУ уменьшается вдвое: $W = 0,5W_0$.

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

Из уравнений (2.183) и (2.185) получаем уравнение (2.187):

$$t_1 = 0,04l \cdot D_1 \cdot W_0 \quad (2.187)$$

Анализ полученного уравнения показывает, что время диффузионного перехода молекул воды t_1 в пределах КУ является зависимостью от коэффициента диффузии (D_1) и величины диффузионного перехода (ℓ) (для элементарных смежных слоев $\ell = 2R$).

С учетом уравнения А. Эйнштейна имеем зависимость (2.188) [138]:

$$D_1 = \frac{K \cdot T}{6\pi \cdot \eta \cdot R} = \frac{0,053K \cdot T}{\eta \cdot R} \quad (2.188)$$

где K – газовая постоянная;

T – температура;

η – вязкость среды.

В результате получим формулу (2.189):

$$t_1 = \frac{3 \cdot \eta}{8 \cdot K \cdot T \cdot W_0} = \frac{0,375 \cdot \eta}{K \cdot T \cdot W_0} \leq t_{\text{ку}} \quad (2.189)$$

где $t_{\text{ку}}$ – время протекания диффузии в процессе выравнивания концентраций влаги в смешиваемых компонентах принятой композиции, находящейся в условиях, создаваемых компрессионным узлом пресс-гранулятора.

В равенстве (2.188) параметр W_0 можно принять равным начальной влажности (W_H).

С учетом этого положения, а также равенства (2.188) и уравнения, описывающего процесс молекулярной конвективной диффузии [138], можно записать выражение (2.190):

$$M_{\text{ку}} = (D_1 + \varepsilon_D) \cdot \frac{0,375 \cdot F \cdot \Delta W \cdot \eta}{\delta \cdot K \cdot T \cdot W_H} \quad (2.190)$$

где $M_{\text{ку}}$ – количество воды, которая продиффундировала в смежный элементарный слой за время $t_{\text{ку}}$ в компрессионном узле пресс-гранулятора;

ΔW – разность концентраций, которая является движущей силой процесса;

δ – толщина элементарного слоя кормовой смеси в компрессионном узле.

Представим продолжительность выравнивания концентраций воды в среде, находящейся в камере КУ, как выражение (2.191):

$$t_{\text{ку}} = t_{\text{пу}} = Z_{\text{в}}/v_{\text{пу}} \quad (2.191)$$

где $Z_{\text{в}}$ – длина винта;

$v_{\text{пу}}$ – скорость движения кормовой композиции в прессующем узле.

Скорость движения ($v_{\text{пу}}$) примем равной в соответствии с рекомендациями профессора А. И. Пелеева [114]:

$$v_{\text{пу}} = r_{\text{в}} \cdot \omega_{\text{в}} \cdot \sin \alpha_{\text{в}} \cdot (\cos \alpha_{\text{в}} + f \cdot \sin \alpha_{\text{в}}) \quad (2.192)$$

где $r_{\text{в}}$ – средний радиус винта ($r_{\text{в}} = 0,35 \cdot \sqrt{D_{\text{в}}^2 - d_{\text{в}}^2}$), $D_{\text{в}}$ и $d_{\text{в}}$ – соответственно внешний и внутренний диаметры винта;

$\omega_{\text{в}}$ – угловая скорость вращения винта;

$\alpha_{\text{в}}$ – средний угол развертки винта ($\operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} = S_{\text{в}}/2\pi \cdot r_{\text{в}}$, где $S_{\text{в}}$ – шаг витков винта).

При этом, однородность смеси, характеризуемая качеством усреднения влаги в композиции, находящейся в КУ, будет определяться выражением (2.193):

$$\theta_{\text{СУ}}^{\text{III}} = 1 - \frac{\sigma_{\text{КУ}}}{M_{\text{СУ}} + M_{\text{ПУ}} + M_{\text{КУ}}} \geq [\theta_{\text{СУ}}^{\text{III}}] \quad (2.193)$$

где $\sigma_{\text{КУ}}$ – среднеквадратическое отклонение содержания влаги в композиции, находящейся в КУ пресс-гранулятора.

Из условия (2.193) следует:

$$[\sigma_{\text{КУ}}] = (M_{\text{СУ}} + M_{\text{ПУ}} + M_{\text{КУ}}) - [\theta_{\text{СУ}}^{\text{III}}] \cdot (M_{\text{СУ}} + M_{\text{ПУ}} + M_{\text{КУ}}) \quad (2.194)$$

2.3.5 Теоретические основы по обоснованию параметров процесса уплотнения физико-химической системы в виде бинарной композиции

Параметр $P_{уп}(t_y)$, входящий в функциональную зависимость (2.8), обуславливает прежде всего плотность $\rho_{ку} = \rho_{гу}$ получаемую в процессе прессующего воздействия на готовые композиции для получения гранул в гранулирующем узле пресс-гранулятора (рис. 2.2).

Прессование продуктов в предлагаемых бинарных композициях, в самом общем смысле, можно представить как процесс сближения поверхностей частиц, с последующим сокращением пор и вытеснением из них воздуха [3, 4, 96].

Во время сближения частицы продукта деформируются в результате выхода из пор частиц продукта молекул воздуха. В связи с этим, гелиевая часть материала, из которой удаляется воздух, испытывает на себе в ходе уплотнения различные деформации (упругие и пластические) [4]. Исследование возможного воздействия разного характера деформаций на результативность уплотнения материала кормовых композиций и выдавливания атмосферного воздуха приводит к выводу о том, что максимальное напряжение сдвига пресуемого продукта, преобладание которого способствует появлению истинно пластичного течения, что должно быть более, чем напряжение давления [46, 47]. Если это не так, то происходит выползание пластичного материала вместе с воздухом. Подразумевается также, что низший порог текучести должен быть минимальным, так как ниже его находятся только лишь упругие деформации.

Промежуточная зона упруго-пластичных деформаций находится между нижним и верхним пределом, и вероятней всего должна быть наибольшей для того, чтобы обеспечить наилучшие условия выдавливания воздуха.

Процесс выдавливания воздуха из бинарной соево, мясо или рыбокостной композиции (по аналогии с жидкостью) запишем в виде дифференциального уравнения движения молекул воздуха в деформирующейся пористой среде, не учитывая влияния силы тяжести (2.195), а также соответствующее ему равенство неразрывности потока (2.196):

$$\nabla^2 \cdot P = \frac{\gamma \cdot \mu}{R \cdot \alpha} \cdot \left[1 + \frac{\alpha}{\gamma + \alpha_1} \right] \frac{\partial P}{\partial t}, \quad (2.195)$$

$$\frac{\partial(\rho \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \cdot v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \cdot W)}{\partial z} + \frac{\gamma \cdot \rho_0}{\alpha} \left[1 + \frac{\alpha}{\gamma + \alpha_1} \right] \frac{\partial P}{\partial t} \quad (2.196)$$

где ∇ – оператор Лапласа [48], выражаемый в декартовых прямоугольных координатах.

Оператор Лапласа запишем выражением (2.197):

$$\left. \begin{aligned} \nabla^2 &= \nabla \cdot \nabla = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \\ \nabla^2 P &= \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} \end{aligned} \right\} \quad (2.197)$$

где γ – пористость среды продукта;

P – давление;

μ – вязкость атмосферного воздуха;

α – модуль объемной упругости атмосферного воздуха;

α_1 – модуль объемной упругости бинарной композиции;

t – время воздействия давлением на продукт;

ρ и ρ_0 – плотности удаляемого атмосферного воздуха, соответственно при величинах P и P_0 ;

u, v, ω – скорости перемещения воздуха, соответственно по осям координат x, y и z .

Давление P – это равнодействующая давлений по осям координат (P_x, P_y, P_z). Представим общий вид уравнения движения только для одной оси x (2.198)–(2.199):

$$\nabla^2 P = \frac{\partial^2 P_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P_x}{\partial z^2} = \frac{\gamma \cdot \mu}{R_x \cdot \alpha} \cdot \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\mu}{R_x + \alpha_1} \cdot \frac{\partial P}{\partial t}, \quad (2.198)$$

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

$$\frac{\partial(\rho \cdot u)}{\partial x} + \frac{\gamma \cdot \rho_o}{\alpha} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\rho_o}{\alpha_1} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (2.199)$$

С учетом введенного множителя подобного преобразования получим выражения (2.200)–(2.201):

$$\begin{aligned} & \frac{d_{P_x}}{d_{1x}} \left[\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} \right] = \\ & = \frac{a_m \cdot a_\mu \cdot a_P}{d_{R_x} \cdot d_\alpha \cdot d_t} \cdot \frac{\gamma \cdot \mu}{R_x \cdot \alpha} \cdot \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{a_\mu \cdot a_P}{d_{R_x} \cdot d_\alpha \cdot d_t} \cdot \frac{\mu}{R_x \cdot \alpha_1} \cdot \frac{\partial P}{\partial t}, \\ & - \frac{d_{\rho_o} \cdot d_\rho}{d_{\alpha_1} \cdot d_t} \cdot \frac{\rho_o}{\alpha_1} \cdot \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{d_P \cdot d_u}{\alpha_{1x}} \cdot \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{a_m \cdot a_\mu \cdot a_P}{d_\alpha \cdot d_t} \cdot \frac{\gamma \rho_o}{\alpha} \cdot \frac{\partial P}{\partial t} \end{aligned} \quad (2.200)$$

Умножим уравнение (2.199) на $\frac{\alpha_{1x}^2}{d_{P_x}}$, а уравнение (2.154) на $\frac{d_{\alpha_1} \cdot d_t}{d_{\rho_o} \cdot d_P}$ и полу-

чим выражения (2.202)–(2.203):

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 P_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P_x}{\partial z^2} = \\ & = \frac{a_m \cdot a_\mu \cdot d_P \cdot d_{1x}^2}{d_{R_x} \cdot d_\alpha \cdot d_t \cdot d_{P_x}} \cdot \frac{\gamma \cdot \mu}{R_x \cdot \alpha} \cdot \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{a_\mu \cdot a_P \cdot d_{1x}^2}{d_{R_x} \cdot d_\alpha \cdot d_t \cdot d_{P_x}} \cdot \frac{\mu}{R_x \cdot \alpha_1} \cdot \frac{\partial P}{\partial t}, \\ & - \frac{\rho_o}{\alpha_1} \cdot \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{d_\rho \cdot d_u \cdot d_{\alpha_1} \cdot d_t}{d_{1x} \cdot d_{\rho_o} \cdot d_P} \cdot \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{a_m \cdot a_{\alpha_1}}{d_\alpha} \cdot \frac{\gamma \rho_o}{\alpha} \cdot \frac{\partial P}{\partial t} \end{aligned} \quad (2.202)$$

Сравнивая уравнения (2.198) и (2.202), а также (2.200) и (2.202), имеем

что $\frac{a_m \cdot a_\mu \cdot d_P \cdot d_{1x}^2}{d_{R_x} \cdot d_\alpha \cdot d_t \cdot d_{P_x}} = 1$; $\frac{a_\mu \cdot d_P \cdot d_{1x}^2}{d_{R_x} \cdot d_{\alpha_1} \cdot d_t \cdot d_{P_x}} = 1$; $\frac{d_\rho \cdot d_u \cdot d_t}{d_{1x} \cdot d_{\rho_o} \cdot d_P} = 1$; $\frac{a_m \cdot a_{\alpha_1}}{d_\alpha} = 1$.

Соответственно из этого имеем и следующие критерии подобия:

$$R_1 = \frac{\gamma \cdot \mu \cdot \alpha_x^2 \cdot P}{R_x \cdot \alpha \cdot t \cdot P_x}; R_2 = \frac{\gamma \cdot \mu \cdot \alpha_x^2 \cdot P}{R_x \cdot \alpha_1 \cdot t \cdot P_x}; R_3 = \frac{\rho \cdot u \cdot \alpha_1 \cdot t}{\alpha_x \cdot \rho_o \cdot P} = \frac{\rho \cdot \alpha_1 \cdot t \cdot R_x \cdot P_x}{\rho_o \cdot \mu \cdot \alpha_x^2 \cdot P}; R_4 = \frac{\gamma \cdot \alpha_1}{\alpha}.$$

С учетом выражения (2.204):

$$\alpha = \frac{\rho_{\text{во}}}{\Delta \rho_{\text{в}}} \cdot P \quad (2.204)$$

Где $\rho_{\text{во}}$ – плотность выдавливаемого воздуха.

Получим, что $R_4 = \frac{\gamma \cdot \alpha_1}{P} \cdot \frac{\Delta \rho_B}{\rho_{B0}}$.

В тоже время $R_4 = \frac{R_1}{R_2}$, и тогда критериальное уравнение может быть записано в виде выражения (2.205):

$$\frac{\gamma \cdot \alpha_1}{P} = f \left(\frac{\mu \cdot \alpha_x^2 \cdot P}{R_x \cdot \alpha_1 \cdot t \cdot P_x}; \frac{\Delta \rho_B}{\rho_{B0}} \right) \quad (2.205)$$

где $\Delta \rho_B = \rho_0 - \rho_{B0}$.

Для трех осей координат критериальное уравнение имеет вид (2.206):

$$\frac{\gamma \cdot \alpha_1}{P} = A \left(\frac{\mu \cdot \alpha_x^2 \cdot P}{R_x \cdot \alpha_1 \cdot t \cdot P_x} \right)^n \cdot \left(\frac{\mu \cdot \alpha_x^2 \cdot P}{R_x \cdot \alpha_1 \cdot P_y} \right)^r \cdot \left(\frac{\mu \cdot \alpha_x^2 \cdot P}{R_x \cdot \alpha_1 \cdot P_z} \right)^s \quad (2.206)$$

Выражение (2.206) представляет уравнение выдавливания воздуха из пористой среды продукта в общем его виде.

Физический смысл входящих в него критериев подобия следующий: R_4 – характеризует соотношение между упругими свойствами выдавливаемого воздуха; R_2 – характеризует соотношение между давлением и упругими свойствами сжимаемого продукта.

Пористость продукта можно выразить выражением (2.207):

$$\gamma = \frac{\rho_{B(t)}}{\rho_B} M_B \quad (2.207)$$

где $\rho_{B(t)}$ – объемная масса воздуха в момент выдавливания t ;

ρ_B – плотность воздуха начальная;

M_B – масса воздуха.

Уравнение (2.205) можно записать в виде выражения (2.208):

$$M_B = A \cdot \frac{P}{\alpha_1} \cdot \frac{\rho_{B(t)}}{\rho_B} \left[\frac{\mu \cdot \alpha_x^2 \cdot P}{R_x \cdot \alpha_1 \cdot t \cdot P_x} \right]^n \quad (2.208)$$

По аналогии с модулем объемной упругости, получим:

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

$$\alpha_1 = \frac{\rho_{B(t=0)}}{\Delta\rho_B} \cdot P \quad (2.209)$$

где $\rho_{B(t=0)}$ – объемная масса воздуха при $t=0$;

P – общее давление, которое равно сумме равнодействующих давлений на воздушную и гелиевую части.

С учетом уравнения (2.209), уравнение (2.208) принимает вид (2.210):

$$M_B = A \cdot \frac{p}{P} \cdot \frac{\Delta\rho_B}{\rho_{B0}} \cdot \frac{\rho_B}{\rho_{B0}} \left(\frac{\mu \cdot \alpha_x^2 \cdot p \cdot \Delta\rho_B}{R_x \cdot t \cdot P_x \cdot \rho_B \cdot P} \right)^n \quad (2.210)$$

Можно предположить, что в процессе выдавливания воздуха сохраняется справедливость равенств (2.211):

$$\frac{p}{p_x} = \frac{P}{P_x}; \quad \frac{p}{p_y} = \frac{P}{P_y}; \quad \frac{p}{p_z} = \frac{P}{P_z} \quad (2.211)$$

В этой связи уравнение (2.205) можно записать в виде выражения (2.212):

$$M_B = A \cdot \frac{p}{P} \cdot \frac{\Delta\rho_B}{\rho_{B0}} \cdot \frac{\rho_B}{\rho_{B0}} \left[\frac{\mu \cdot \alpha_x^2 \cdot p \cdot \Delta\rho_B}{R_x \cdot t \cdot \rho_{B0} \cdot P_x} \right]^n \quad (2.212)$$

Для удобства анализа данного уравнения перепишем его в виде выражения (2.213):

$$M_B = A \cdot \frac{\mu_B}{\rho_B} \cdot \left[\frac{\Delta\rho_B}{\rho_B} \cdot \frac{p}{P} \right]^\alpha \cdot \left[\frac{\mu \cdot \alpha_x^2 \cdot p \cdot \Delta\rho_B}{R_x \cdot t \cdot \rho_{B0} \cdot P_x} \right]^n \quad (2.213)$$

Анализ уравнения (2.213) соответствует общим представлениям о процессе прессования: остаток воздуха в пористой среде продукта зависит от общего и частного давления; толщины слоя деформируемого продукта; вязкости воздуха; степени уплотнения использованного материала; продолжительности выдавливания атмосферного воздуха и воздушной проницаемости деформируемого продукта.

Проанализируем значимость некоторых факторов на процесс получения гранул в виде бинарной композиции, в процессе выдавливания атмосферного воздуха. При рассмотрении значимости давления невозможно упрощать данный вопрос к сведению зависимости остатка атмосферного воздуха от суммарного давления P либо одной из нескольких его составляющих, к примеру, радиальной.

Из уравнения (2.213) следует, что эта зависимость является сложной: при выдавливании воздуха она определяется соотношением величины $(p/P$ и $p/p_v \cdot P)^n$, то есть для удаления воздуха из пор немаловажно не только суммарное давление на гелиевую и воздушную часть продукта, но и величины возникающих пневмодинамических давлений.

Здесь необходимо подчеркнуть, что под P_x имеется в виду пневмодинамическое давление, которое играет роль сопротивления, а не движущей силы, и напор (p).

Как видно из полученных уравнений, важное место принадлежит *толщине продукта*, так как в уравнение входит α_x в степени $2n$.

Роль продолжительности выдавливания воздуха вполне очевидна. Очень важно также знать упругие свойства продукта – бинарной композиции, принятой нами в качестве объекта исследований.

Ее упругие свойства можно изучить по соответствующей графической зависимости прессования координатами которой являются *степень сжатия – удельное давление*.

За степень сжатия (ζ) композиции принимают отношение первоначального объема бинарной соево-мясокостной или соево-рыбокостной композиции к конечному объему.

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

Вполне очевидно, что данная безразмерная величина, учитывает во сколько раз снижается объем композиции под воздействием конкретного давления.

Изучение аналогичных диаграмм показало, то что функция между удельным давлением, которым воздействуют на прессуемый материал, зависит от степени его сжатия при конкретных температуре и влажности, и ее можно описать уравнением степенного вида (2.214):

$$P = A \cdot \zeta^\gamma \quad (2.214)$$

где A и γ – эмпирические коэффициенты.

По этим диаграммам установлено, что между объемом пор и удельным давлением имеется зависимость (2.215):

$$P = X \cdot e^{-Rv} = \frac{X}{e^{Rv}} \quad (2.215)$$

где X , R – эмпирические коэффициенты.

Поэтому, факторы, которые входят в оба этих уравнения, связаны следующим образом:

$$P^2 = \frac{X \cdot A \cdot \zeta^\gamma}{e^{Rv}} \quad (2.216)$$

или $P = \left(\frac{X \cdot A \cdot \zeta^\gamma}{e^{Rv}} \right)^{0,5} \geq P_{уП}$

где $P_{уП}$ – давление прессования.

Анализ этого выражения позволяет сделать заключение, что между давлением прессования и пористостью бинарной кормовой композиции имеется убывающая функциональная взаимозависимость. При этом необходимо отметить, что при увеличенной пористости бинарной кормовой композиции для ее уплотнения до определенной степени, понадобится уменьшенное удельное давление.

Однако величины влажности и пористости бинарной кормовой композиции вызывают у нее способность к формованию сырых гранул.

Поэтому, такой параметр процесса уплотнения как влажность, должен быть заданным, а это значит, что необходимо определить его в ходе проводимых исследований.

На основании теоретических исследований установлено, что с увеличением давления прессовки плотность возрастает.

2.3.6 Обоснование параметров пресс-гранулятора

Обоснование необходимых параметров пресс-гранулятора выполним с учетом сдвиговых качеств бинарной кормовой композиции.

Значение скорости сдвига (v_c), которая характеризует движение бинарной кормовой композиции, как в компрессионном узле, так и в отверстиях пресса, во время формования гранул определим следующим образом:

$$v_c = \frac{32 \cdot Q_{\text{ПГ}}^V}{\pi d^3 \cdot k} \quad (2.217)$$

где $Q_{\text{ПГ}}^V$ – объемная производительность гранулятора;
 d – диаметр компрессионной или формующей камеры;
 k – число формующих отверстий.

Объемную производительность гранулятора ($Q_{\text{ПГ}}^V$) определим из условия неразрывности потока по всем структурным элементам устройства (2.218) (рис. 2.2):

$$Q_{\text{ПГ}}^V \leq Q_{\text{ПУ}}^V \leq Q_{\text{КУ}}^V \leq Q_{\text{ГУ}}^V \quad (2.218)$$

где $Q_{\text{ПГ}}^V$ – объемная производительность винтового пресс-гранулятора;
 $Q_{\text{ПУ}}^V$ – пропускная способность прессующего узла;
 $Q_{\text{КУ}}^V$ – пропускная способность компрессионного узла;
 $Q_{\text{ГУ}}^V$ – пропускная способность гранулирующего узла.

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

Значение $Q_{\text{ПВ}}^V$ определим согласно рисунку 2.15:

$$Q_{\text{ПВ}}^V = \frac{1}{4} [(\pi D_{\text{В}} \sin \varphi - b') \cdot h_{\text{В}} (D_{\text{В}} - h_{\text{В}}) \omega_{\text{В}} \cdot \sin 2\varphi (1 - \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \alpha) m] V^{-1} \quad (2.219)$$

где $D_{\text{В}}$ – внешний диаметр винта прессующего узла;

$h_{\text{В}}$ – углубление нарезки винта шнека;

b' – ширина витка шнека;

$\omega_{\text{В}}$ – угловая частота вращения винта;

V – объем пространства между витками;

m – масса кормового продукта, находящегося в пространстве между витками;

α – угол, находящийся между боковой стенкой канала шнека и направлением перемещения продукта;

φ – подъемный угол винтовой линии.

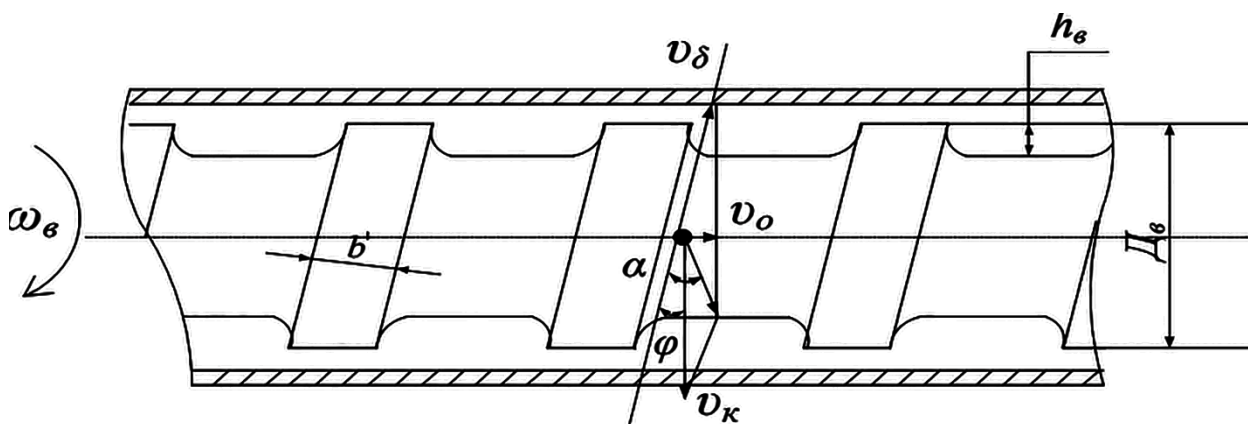


Рисунок 2.15 – Схема к обоснованию скорости движения композиции в камере прессующего узла пресс-гранулятора

Для значения $Q_{\text{ПГ}}^V$ имеем, что по объему показатель определяется выражением (2.220), по массе – выражением (2.221):

$$Q_{\text{ПВ}}^V = \frac{1}{4} [(\pi D_{\text{В}} \sin \varphi - b') \cdot h_{\text{В}} (D_{\text{В}} - h_{\text{В}}) \omega_{\text{В}} \cdot \sin 2\varphi (1 - \operatorname{tg} \varphi \operatorname{ctg} \alpha)] \cdot (1 - \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \alpha), \quad (2.220)$$

$$Q_{\text{ПВ}}^M = \frac{1}{4} [(\pi D_{\text{В}} \sin \varphi - b') \cdot h_{\text{В}} (D_{\text{В}} - h_{\text{В}}) \omega_{\text{В}} \cdot \sin 2\varphi (1 - \operatorname{tg} \varphi \operatorname{ctg} \alpha)] \omega_{\text{В}} \cdot \rho_{\text{В}} \quad (2.221)$$

где $\rho_{\text{В}}$ – плотность продукта в пресс-грануляторе.

Пропускную способность компрессионного узла выразим через скорость сдвига (v_c): по объему – выражением (2.222), по массе – выражением (2.223):

$$Q_{\text{КУ}}^V = \frac{\pi \cdot D_{\text{КУ}}^3 \cdot v_c}{32} = 0,098 D_{\text{КУ}}^3 \cdot v_c, \quad (2.222)$$

$$Q_{\text{КУ}}^M = 0,098 D_{\text{КУ}}^3 \cdot v_c \cdot \rho_{\text{КУ}} \quad (2.223)$$

где $D_{\text{КУ}}$ – диаметр камеры компрессионного узла;
 $\rho_{\text{КУ}}$ – плотность продукта в компрессионном узле.

Учитывая длину камеры компрессионного узла, можно рассчитать ее объемную производительность, используя выражение (2.224):

$$Q_{\text{КУ}}^V = \frac{\pi D_{\text{КУ}}^2 \cdot L_{\text{КУ}}}{4 \cdot t_{\text{КУ}}} \quad (2.224)$$

где $L_{\text{КУ}}$ – длина камеры компрессионного узла;
 $t_{\text{КУ}}$ – время перемещения продукта вдоль камеры компрессионного узла за один оборот шнека, равное $2\pi/\omega$.

Учитывая это обстоятельство, получим выражение (2.225):

$$Q_{\text{КУ}}^V = \frac{D_{\text{КУ}}^2 \cdot L_{\text{КУ}} \cdot \omega_{\text{В}}}{8} = 0,125 D_{\text{КУ}}^2 \cdot L_{\text{КУ}} \cdot \omega_{\text{В}} \quad (2.225)$$

Тогда массовая производительность пресс-гранулятора составит:

$$Q_{\text{ПГ}}^M = 0,125 D_{\text{КУ}}^2 \cdot L_{\text{КУ}} \cdot \rho_{\text{КУ}} \cdot \omega_{\text{В}} \quad (2.226)$$

где $\rho_{\text{КУ}}$ – плотность массы в компрессионном узле.

Пропускную способность гранулирующего узла определим по формуле (2.227):

$$Q_{\text{ГУ}}^V = \frac{d_o^2 \cdot Z_o \cdot h_p \cdot \omega_{\text{ГУ}}}{8} = 0,125 d_o^2 \cdot z_o \cdot h_p \cdot \omega_{\text{ГУ}} \quad (2.227)$$

где d_o – диаметр отверстия формующей решетки;
 Z_o – количество отверстий формующей решетки;
 h_p – величина передвижения продукта в отверстии в течении одного оборота винта гранулирующего узла;
 $\omega_{\text{ГУ}}$ – угловая частота вращения винта гранулирующего узла.

В соответствии с этим, массовая производительность гранулирующего узла определяется по формуле (2.228):

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

$$Q_{\text{ГУ}}^{\text{М}} = 0,125d_0^2 \cdot z_0 \cdot h_p \cdot \rho_{\text{ГУ}} \cdot \omega_{\text{ГУ}} \quad (2.228)$$

где $\rho_{\text{ГУ}}$ – плотность влажных гранул.

Диаметр камеры компрессионного узла найдем, приравняв правую часть уравнения (2.221) к уравнению (2.223) и решив их относительно диаметра компрессионной камеры $D_{\text{к}}$:

$$D_{\text{кУ}} = \sqrt{\frac{(\pi \cdot D_{\text{в}} \cdot \sin\varphi - b') \cdot (D_{\text{в}} - h_{\text{в}}) \cdot h_{\text{в}} \cdot \sin 2\varphi (1 - \text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\alpha) \cdot \omega_{\text{ГУ}}}{0,392 \cdot v_c}} \quad (2.229)$$

Плотность бинарной кормовой композиции в камере компрессионного узла определим, приравняв правые части уравнений (2.223) и (2.228), а затем, решая полученное выражение относительно плотности ($\rho_{\text{кУ}}$):

$$\rho_{\text{кУ}} = 1,275 \cdot d_0^2 \cdot h_p \cdot \rho_{\text{ГУ}} \cdot \omega_{\text{ГУ}} / D_{\text{кУ}}^3 \cdot v_c \geq [\rho_{\text{кУ}}] \quad (2.230)$$

Анализ полученного выражения позволяет сделать вывод, что плотность бинарной композиции в камере компрессионного узла находится в зависимости от сдвиговых свойств кормовой композиции, а также от конструктивных и режимных параметров шнекового гранулирующего узла. Толщина (H_p) формующей решетки конструктивно равна длине ее канала (h_p).

Вместе с тем, длина канала формующей решетки увязана с релаксацией напряжений в сырых гранулах, поэтому материал бинарной композиции должен проходить компрессионный узел и отверстия формующей решетки этого узла по времени $t_{\text{кУ}}$, никак не меньшем, чем период релаксации напряжений ($t_{\text{рел}}$), предопределенный материалом бинарной композиции (2.231):

$$t_{\text{кУ}} \geq t_{\text{рел}} \quad (2.231)$$

При производстве гранул необходимой плотности $[\rho_{\text{кУ}}]$ нужно соблюдать условие (2.232):

$$f_{ст} \cdot \xi \cdot P_{уп} \cdot \Phi \cdot h_p \geq P_{max} \cdot F_0 \quad (2.232)$$

где Φ – периметр равный, сумме всех сторон поперечного сечения канала;
 P_{max} – максимально допустимое давление выдавливания гранулы;
 $f_{ст}$ – статический (постоянный) коэффициент трения;
 $P_{уп}$ – нормальное давление выдавливания гранулы;
 ξ – величина, представляющая коэффициент бокового расширения;
 F_0 – параметр, определяющий площадь поперечного сечения отверстия (гранулы).

С учетом изложенного, получаем выражение (2.233):

$$h_p = \frac{P_{max} \cdot F_0}{f_{ст} \cdot \xi \cdot P_{уп} \cdot \Phi} = H_p \quad (2.233)$$

где H_p – толщина решетки или длина формирующего канала.

В окончательной форме данное выражение имеет вид (2.334):

$$H_p = \frac{P_{max} \cdot \left[\frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \right]}{f_{ст} \cdot \xi \cdot P_{уп} \cdot \frac{\pi \cdot d_0}{2}} = 0,5 P_{max} \cdot d_0 / f_{ст} \cdot \xi \cdot P_{уп} \quad (2.234)$$

Анализ выражения (2.234) показывает, что толщина формирующей решетки и диаметр гранулы связаны линейной зависимостью, характер которой определяется прикладываемым давлением (P_{max}), а также параметрами процесса трения.

На основании анализа деформированного состояния бинарной композиции в компрессионном узле [141, 142], а также с учетом теоремы о взаимности работ [151], получена зависимость, характеризующая процесс уплотнения продукта в композиции с учетом его начальной (γ_H) и конечной (γ_K) пористости, функционально определяющими начальную (ρ_H) и конечную (ρ_K) плотность формируемых влажных гранул (2.235):

$$P_{max} = E \cdot \left(\frac{\gamma_H - \gamma_K}{1 + \gamma_H} \right) \cdot (1 - 2 \cdot \mu) \quad (2.235)$$

где E – модуль упругости первого рода;
 μ – коэффициент Пуассона.

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

Продолжительность обработки продукта определим выражением (2.236):

$$t_{\text{обр}} = 2 \cdot \pi / \omega_{\text{в}} \quad (2.236)$$

где $\omega_{\text{в}}$ – угловая скорость винта.

Длина формирующего канала во многом зависит от скорости перемещения гранулы в решетке ($v_{\text{гр}}$) и времени ее прохождения (обработки):

$$l_{\text{к}} = v_{\text{гр}} \cdot t_{\text{обр}}, \quad (2.237)$$

$$\text{или } l_{\text{к}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot v_0}{\beta \cdot \omega_{\text{в}}} \quad (2.238)$$

где v_0 – осевая скорость движения продукта в камере прессующего устройства.

Затраты мощности необходимые на процессы, которые проходят в смесителе-грануляторе, рассчитываются как сумма всех затрат по каждому структурному элементу устройства (2.239):

$$N = N_{\text{хх}} + N_{\text{сг}} \quad (2.239)$$

где $N_{\text{хх}}$ – мощность холостого хода (принимается в пределах 10–20 % от основных затрат);

$N_{\text{сг}}$ – мощность, затрачиваемая на выполнение процессов смешивания и усреднения, уплотнения в компрессионной камере и формирования гранул.

При этом затраты мощности по соответствующим процессам определяются: по процессу смешивания и усреднения влаги – выражением (2.240); по процессу уплотнения – выражением (2.241); по процессу формирования гранул – выражением (2.242):

$$N_{\text{сy}} = k \cdot Q_{\text{сг}} \cdot Z_{\text{в}}, \quad (2.240)$$

$$N_{\text{y}} = k \cdot Q_{\text{сг}} \cdot L_{\text{кy}}, \quad (2.241)$$

$$N_{\text{ф}} = k \cdot Q_{\text{сг}} \cdot \sum_{i=1}^{z_0} l_{\text{ки}} \quad (2.242)$$

С учетом данных выражений, а также полученных нами результатов, находим выражения (2.243)–(2.244):

$$N_{\text{ПГ}} = (0,1 - 0,2)N_{\text{сг}} + N_{\text{су}} + N_{\text{у}} + N_{\text{ф}}, \quad (2.243)$$

$$\text{или } N_{\text{ПГ}} = P_{\text{max}} \cdot Q_{\text{КУ}}^V / \eta_{\text{ПГ}} \quad (2.244)$$

В результате проведенных теоретических исследований установлено, что наименьшее значение затрат мощности на получение влажных гранул находятся в диапазоне: длина канала формирующей решетки матрицы гранулирующего узла от 12 до 17 мм; угловая скорость винта прессующего узла от 8,9 до 10,1 с⁻¹; угловая скорость винта гранулирующего узла от 13,8 до 16,2 с⁻¹.

2.3.7 Теоретические основы по обоснованию параметров процесса сушки влажного гранулята

Параметр, определяющий количество теплоты ($Q_{\text{max}}(t_c)$), входящий в функциональную зависимость (2.8), и характеризующий условия сушки гранулята с учетом конкретных способов воздействия на него сушильным агентом может быть определен при известных значениях такого кинетического параметра, как продолжительность сушки (t_c).

Процесс сушки гранулята в сушилке камерного типа, с определенными допущениями, рассмотрим как процесс, в котором на протяжении времени сушки, частицы воды, под воздействием градиента температуры, оставляют *скелет гранулы* и удаляются совместно с активно перемещающимся сушильным агентом – атмосферным воздухом, при необходимых для этого затратах количества теплоты, равных Q_{max} .

Дифференциальное уравнение изменения влажности за счет движения молекул воды в данном случае, можно представить выражением (2.245):

$$-d(W_1 - X) = K(W_0 - X) \quad (2.245)$$

где W_1 – фактическая влажность гранул;

W_0 – первоначальная влажность гранул;

X – количество удаленной влаги из гранул за период времени t_c ;

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

$(W_0 - X)$ – влажность гранул к периоду времени, соответствующему $t_c + \Delta t_c$;
 K – постоянная скорости сушки.

Скорость процесса сушки определим выражением (2.246):

$$v_c = \frac{dx}{dt} = K(W_i - X) \quad (2.246)$$

Количество удаленной влаги в различный момент времени сушки можно определить уравнением (2.247):

$$(W_0 - X) = W_0 \cdot e^{-Kt_c} \quad (2.247)$$

После преобразования этого равенства получим выражение (2.248):

$$K = \frac{2,3}{t_c} \cdot \lg\left(1 - \frac{W_0}{X}\right) \quad (2.248)$$

Решая данное уравнение, определим время сушки при известном значении K :

$$t_c = \frac{2,3 \cdot \lg\left(1 - \frac{W_0}{X}\right)}{K} \quad (2.249)$$

В тоже время установлено, что процесс сушки представляет собою тепло массообменный процесс и охватывает три этапа: передвижение влаги внутри высушиваемой гранулы по направлению к ее поверхности; парообразование, а также перемещение пара с поверхности гранулы в окружающую среду.

С учетом выражения (2.249), производительность сушилки камерного типа определим уравнением (2.250):

$$Q_{СК} = \frac{k_l \cdot F_l \cdot H_c \cdot \rho_{гр} (1 - \varepsilon)}{t_c} \quad (2.250)$$

где k_l – количество лотков в сушильном устройстве;

F_l – площадь лотка из сетчатого материала;

H_c – высота слоя гранулята;

$\rho_{гр}$ – плотность высушиваемых гранул;

ε – коэффициент порозности;

t_c – период сушки гранул, определяемый формулой (2.249).

Составляющая выражения (2.250) представляет собой произведение величин, которые находятся в числителе и определяют единую сухую массу гранулы (2.251):

$$G_{гр}^c = k_l \cdot F_l \cdot H_c \cdot \rho_{гр}(1 - \varepsilon) \quad (2.251)$$

Количество удаленной (испарившейся) влаги в процессе сушки будет определяться на основе первого уравнения материального баланса (2.252):

$$W_{уд} = G_{гр}^И - G_{гр}^c \quad (2.252)$$

где $G_{гр}^И$ – масса сырых гранул.

На основе концентрации сухих веществ в грануляте составляется второе уравнение материального баланса (2.253):

$$G_{гр}^И \cdot G_{И} = G_{гр}^c \cdot G_{С} = (G_{гр}^И - W_{уд})G_{С} \quad (2.253)$$

где $G_{И}$, $G_{С}$ – концентрация сухих веществ в первоначальном и готовом (сухом) грануляте.

Взяв за основу количество влаги в грануляте, составляем третье уравнение материального баланса (2.254):

$$G_{гр}^И(100 - W_{гр}^И) = G_{гр}^c(100 - W_{гр}^С) \quad (2.254)$$

где $W_{гр}^И$, $W_{гр}^С$ – содержание влаги в первоначальном и готовом (сухом) грануляте.

Из выражения (2.254) найдем параметр $G_{гр}^И$:

$$G_{гр}^И = \frac{G_{гр}^c(100 - W_{гр}^С)}{100 - W_{гр}^И} \quad (2.255)$$

В окончательном виде получим выражение (2.256):

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

$$G_{\text{гр}}^{\text{И}} = k_{\text{л}} \cdot F_{\text{л}} \cdot H_{\text{с}} \cdot \rho_{\text{гр}} (1 - \varepsilon) \frac{(100 - W_{\text{гр}}^{\text{С}})}{(100 - W_{\text{гр}}^{\text{И}})} \quad (2.256)$$

Анализ выражений (2.250) и (2.256) показывает, что неизвестными величинами процесса сушки гранулята являются время сушки гранул, а также плотность *сухих гранул*. Для определения их значений необходимо проведение специальных экспериментальных исследований. Величина перепада давления действующего в слое гранул Δh и определяющая подбор вентиляционного устройства, находится с учетом производительности сушилки:

$$\Delta h = \frac{Q_{\text{СК}} \cdot t_{\text{с}}}{k_{\text{л}} \cdot F_{\text{л}}} \quad (2.257)$$

Анализируя выражение (2.257) имеем, что в ходе сушки параметры постоянно изменяются, а это значит, что система должна работать с обратной связью по температуре. Необходимым в реализации данного процесса является способ регулирования подачи воздуха с помощью вентиля, клапанов или задвижек – путем введения этих устройств в нагнетающую магистраль. Однако он весьма неэкономичен, поскольку изменение Q – H характеристик в трубопроводе достигается за счет увеличения потерь на задвижке, а не за счет снижения мощности электродвигателя центробежного механизма.

На сегодняшний день более перспективным регулированием подачи воздуха в процессе сушки является изменение скорости вращения асинхронного двигателя (АД) в энергосберегающем режиме. При таком подходе экономический эффект появляется за счет улучшения эксплуатационных характеристик технологического оборудования сушилки и снижения в среднем до 30 % потребления электроэнергии электроприводом.

Технически это может быть обеспечено включением между сетью и электродвигателем управляемого полупроводникового преобразователя, который

будет воздействовать на скорость электродвигателя, то есть на мощность, подводимую к нагрузке, в результате чего исключается необходимость применения других регулирующих устройств:

$$P = M \cdot \omega \quad (2.258)$$

где M – момент на валу электродвигателя;

ω – угловая скорость вращения вала электродвигателя.

В качестве электрических преобразователей возможно применение тиристорных регуляторов напряжения (ТРН) и преобразователей частоты (ПЧ) [21].

Количество теплоты, передаваемое от трубчатых электронагревателей (ТЭН) в камеру сушилки за время dt_c , определяется уравнением теплового баланса (2.259):

$$Q = k_T \cdot S_T \cdot (t_{ТЭН}^0 - t_K^0) \cdot dt \quad (2.259)$$

где k_T – коэффициент теплопередачи;

S_T – площадь нагрева;

$t_{ТЭН}^0$, t_K^0 – температура ТЭН и воздуха в камере.

Тепло, передаваемое от ТЭН, расходуется на их нагрев, нагрев металла в камере, на ликвидацию потерь тепла в лотках и на теплообмен с гранулятом.

Уравнение теплового баланса запишем выражением (2.260):

$$k_T \cdot S_T \cdot (t_{П0}^0 \pm \Delta t_{ТЭН}^0 - t_K^0) \cdot dt_c = C_T \cdot M_T \cdot dt_T^0 + C_K \cdot M_K \cdot dt_C^0 + C_{Л} \cdot k_{ог} \cdot S_{ог} \cdot (t_K^0 - t_{0C}^0) \cdot dt_c + \varepsilon_{гр} \cdot F_{гр} \cdot (t_T^0 - t_K^0) \cdot dt_c \quad (2.260)$$

Разделив обе части уравнения на dt_c , имеем уравнение теплового баланса в следующем виде (2.261):

$$k_T \cdot S_T \cdot (t_{П0}^0 \pm \Delta t_{П}^0 - t_C^0) \cdot dt_c = C_T \cdot M_T \cdot \frac{dt_T^0}{dt_c} + C_K \cdot M_K \cdot \frac{dt_C^0}{dt_c} + k_{ог} \cdot S_{ог} \cdot (t_K^0 - t_{внс}^0) + \varepsilon_{гр} \cdot F_{гр} \cdot (t_K^0 - t_{гр}^0) \quad (2.261)$$

где C_T , C_K – теплоемкость металла ТЭН, камеры и лотков;

$k_{ог}$ – коэффициент теплопередачи ограждений;

M_T , M_K – масса металла в ТЭН, в камере и лотках;

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

$S_{ог}$ – площадь ограждений;
 $\varepsilon_{гр}$ – коэффициент теплообмена гранулята;
 $F_{гр}$ – поверхность гранулята;
 $t_{гр}^0$ – температура гранулята;
 $t_{внс}^0$ – температура внешней среды.

Установившийся период процесса сушки характеризуется условием, когда $dt_{ТЭН}^0/dt_c = 0$, а $t_{гр}^0 = const$. В связи с этим можно записать выражение (2.262):

$$k_T \cdot S_T \cdot (t_{п0}^0 - t_{с0}^0) = k_{ог} \cdot S_{ог} \cdot (t_{с0}^0 - t_{внс}^0) + \varepsilon \cdot F \cdot (t_K^0 - t_{гр}^0) \quad (2.262)$$

Из уравнений (2.259) и (2.260) получим выражение (2.263):

$$\frac{C_T \cdot M_T}{k_T \cdot S_T + k_{ог} + \varepsilon_{гр} \cdot F_{гр}} \cdot \frac{d\Delta t_K^0}{dt_c} + \frac{C_K \cdot M_K}{k_T \cdot S_T + k_{ог} \cdot S_{ог}} \cdot \frac{d\Delta t_c^0}{dt_c} + \Delta t_c^0 = \frac{k_T \cdot S_T}{k_K \cdot S_K + k_{ог} \cdot S_{ог} + \varepsilon_{гр} \cdot F_{гр}} \cdot t_{п}^0 \quad (2.263)$$

Обозначим: $\frac{k_T \cdot S_T}{k_K \cdot S_K + k_{ог} \cdot S_{ог} + \varepsilon_{гр} \cdot F_{гр}} = k_o \cdot \frac{\Delta t_c^0}{\Delta t_{п}^0}$.

Тогда при значениях $\Delta t_c^0 = \Delta t_{п}^0$, $\frac{dt_K^0}{dt_c} = \frac{1}{k_o} \cdot \frac{d\Delta t_c^0}{dt_c}$ уравнение (2.263) примет

вид выражения (2.264):

$$T \cdot \frac{d\Delta t_c^0}{dt_c} + \Delta t_c^0 = k_o \cdot \Delta t_{п}^0, \quad (2.264)$$

$$\text{где } T = \frac{C_T \cdot M_T}{k_T \cdot S_T} + \frac{C_K \cdot M_K}{k_T \cdot S_T + k_{ог} \cdot S_{ог} + \varepsilon_{гр} \cdot F_{гр}} \quad (2.265)$$

где T – постоянная времени сушки;

C_T ; M_T ; C_K ; M_K – соответственно теплоемкость и масса металла нагревательных элементов (НЭ);

k_T , $k_{ог}$ – коэффициент теплопередачи нагревательных элементов и стенок ограждающей камеры, соответственно;

S_T , $S_{ог}$ – площадь поверхности нагревательных элементов и ограждений камеры, соответственно;

$\varepsilon_{гр}$ – коэффициент теплообмена использованного материала гранул;

$F_{гр}$ – поверхность гранул.

Результативность процесса сушки гранулята обуславливается оптимальным распределением температуры в теле высушиваемых гранул.

Построение модели этого процесса выполним в соответствии с установленными условиями (рис. 2.16). Проведем ось OX перпендикулярно к плоскости размещения единичной гранулы на лотке.

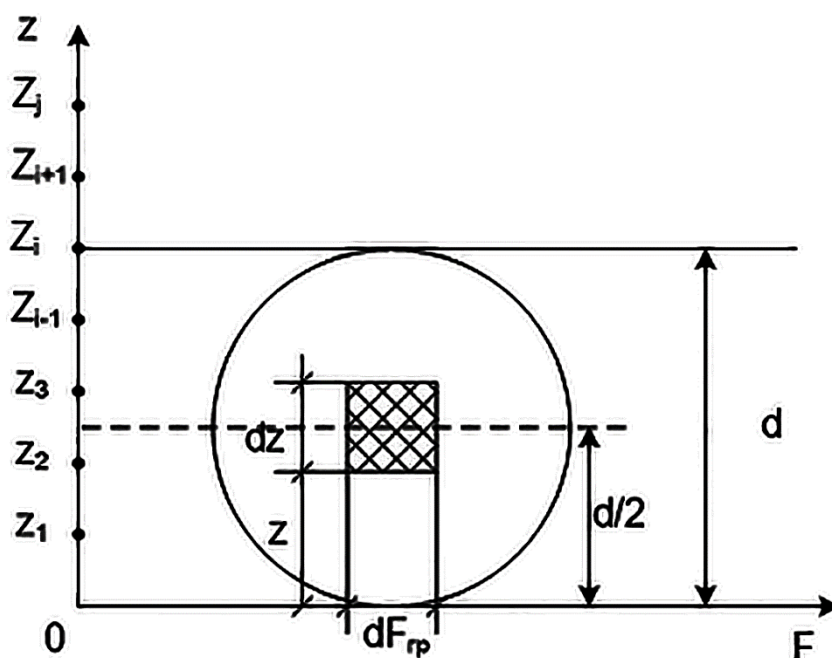


Рисунок 2.16 – Схема к определению параметров процесса сушки гранулята в лотковой сушилке

В соответствии с рисунком 2.16, температура t^0 , в каждой точке оси OZ , зависит от времени t_c и координаты Z . В этой связи выделим элементарный участок в теле гранулы с площадью $dF_{гр}$. Через сечение этого участка за промежуток времени dt_c проходит количество тепла, определяемое выражением (2.266):

$$Q = -\varepsilon'_{гр} \cdot dF_{гр} \cdot \frac{dt^0}{dz} \cdot dt_c \quad (2.266)$$

где $\varepsilon'_{гр}$ – коэффициент теплопроводности гранулы;

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

t^0 – температура;

z – расстояние;

t_c – продолжительность нагрева и сушки.

В то же время количество тепла, проходящее за время dt_c на участок гранулы между координатами Z и $Z + dz$, находим из выражений (2.267)–(2.268):

$$Q - dQ = -\varepsilon'_{гр} \cdot dF_{гр} \cdot \left[\frac{dt^0}{dz} + d \cdot \frac{dt^0}{dz} \right] \cdot dt_c, \quad (2.267)$$

$$\text{или } dQ = \varepsilon'_{гр} \cdot dF_{гр} \cdot \frac{d^2 t^0}{dz} \cdot dz \cdot dt_c \quad (2.268)$$

Это количество тепла идет на повышение температуры t^0 на величину dt^0 .

Уравнение (2.268) перепишем в следующем виде (2.269):

$$dQ = \alpha \cdot \rho_{гр} \cdot dF_{гр} \cdot dz \cdot dt^0 \quad (2.269)$$

где α – удельная теплоемкость материала гранулы;

$\rho_{гр}$ – плотность гранулы.

Приравняв уравнения (2.268) и (2.269) и выполнив соответствующие сокращения, получим выражения (2.270)–(2.271):

$$\varepsilon'_{гр} \cdot \frac{d^2 t^0}{dz} \cdot dt_c = \alpha \cdot \rho_{гр} \cdot dt_c, \quad (2.270)$$

$$\text{или } \frac{dt^0}{dt_c} = \frac{\varepsilon'_{гр}}{\alpha \cdot \rho_{гр}} \cdot \frac{d^2 t^0}{dz^2} \quad (2.271)$$

Частная производная температуры t^0 по времени равна:

$$\frac{\partial t^0}{\partial t_c} = c \cdot \frac{\partial^2 t^0}{\partial z^2} \quad (2.272)$$

где $c = \varepsilon'_{гр} / \alpha \cdot \rho_{гр}$.

Для любой из точек Z на оси OZ с координатой z_j имеем:

$$\frac{\partial t^0(z_j; t_c)}{\partial t_c} = \frac{c \cdot \partial^2(z_j; t^0)}{\partial z^2} \quad (2.273)$$

Переходя от обозначения $t^0(z_j; t^0)$ к $(t_j^0; t^0)$, получим выражение (2.274):

$$\frac{\partial t^0(z_j; t_c)}{\partial t_c} \approx \frac{dt_j^0(t_c)}{dt_c} \quad (2.274)$$

Частную производную: $\frac{\partial^2 t^0(z_j; t_c)}{\partial z^2}$, выразим через значения функции $t^0(z; t_c)$ в точке Z_j и в двух соседних с ней точках $j+1$ и $j-1$ при помощи выражения (2.275):

$$\frac{\partial^2 t^0(z_j; t_c)}{\partial z^2} = \frac{1}{S^2} \cdot [t_{j+1}^0(t_c) - 2 \cdot t_j^0(t_c) + t_{j-1}^0(t_c)] \quad (2.275)$$

где $t_{j+1}^0(t_c) = t^0(z_{j+1}; t_c)$;
 $t_j^0(t_c) = t^0(z_j; t_c)$;
 $t_{j-1}^0(t_c) = t^0(z_{j-1}; t_c)$.

С учетом данных выражений, уравнение (2.275) можно записать как выражение (2.276):

$$\begin{aligned} \frac{dt_j^0(t_c)}{dt_c} &= \eta \cdot [t_{j+1}^0 - 2 \cdot t_j^0 + t_{j-1}^0] \\ t_j^0(0) &= t^0(z_j) \\ \eta &= \frac{\varepsilon'_{гр}}{\alpha \cdot \rho_{гр} \cdot S^2} = c/S^2 \end{aligned} \quad (2.276)$$

где $\rho_{гр}$ – плотность слоя гранул.

Таким образом, процесс сушки гранулята может быть представлен в виде дифференциального уравнения (2.277):

$$T \cdot \frac{d[(t_i^0 - t_{i-1}^0)/t_o^0]}{dt_c} + [(t_i^0 - t_{i-1}^0)/t_o^0] = \beta \cdot \eta(t_c) \quad (2.277)$$

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

где $(t_i^0 - t_{i-1}^0)/t_0^0$ – коэффициент, учитывающий степень повышения температуры;

t_i^0, t_{i-1}^0 – текущее и мгновенные значения температуры;

t_0^0 – номинальное значение температуры;

β – коэффициент теплоотдачи гранул;

$\eta = Q_i - Q_{i-1}/Q_{max}$ – коэффициент, учитывающий степень увеличения количества теплоты.

Тогда уравнение (2.277) можно записать в следующем виде:

$$T \cdot \frac{d[(t_i^0 - t_{i-1}^0)/t_0^0]}{dt_c} + [(t_i^0 - t_{i-1}^0)/t_0^0] = \frac{\beta \cdot (Q_i - Q_{i-1})}{Q_{max}} \quad (2.278)$$

Принимая, что $(t_i^0 - t_{i-1}^0)/t_0^0 = \Delta t_i$ и $Q_i - Q_{i-1} = \Delta Q_i$, и решая уравнение

(2.278) относительно Q_{max} имеем выражение (2.279):

$$Q_{max} = \frac{\beta \cdot \Delta Q_i \cdot dt_c}{T \cdot d[\Delta t_i] + [\Delta t_i] \cdot dt_c} \quad (2.279)$$

Как показали теоретические исследования, крошимость во многом зависит от количества тепла, подведенного к продукту, которое в конечном итоге зависит от температуры сушки (рис. 2.17).

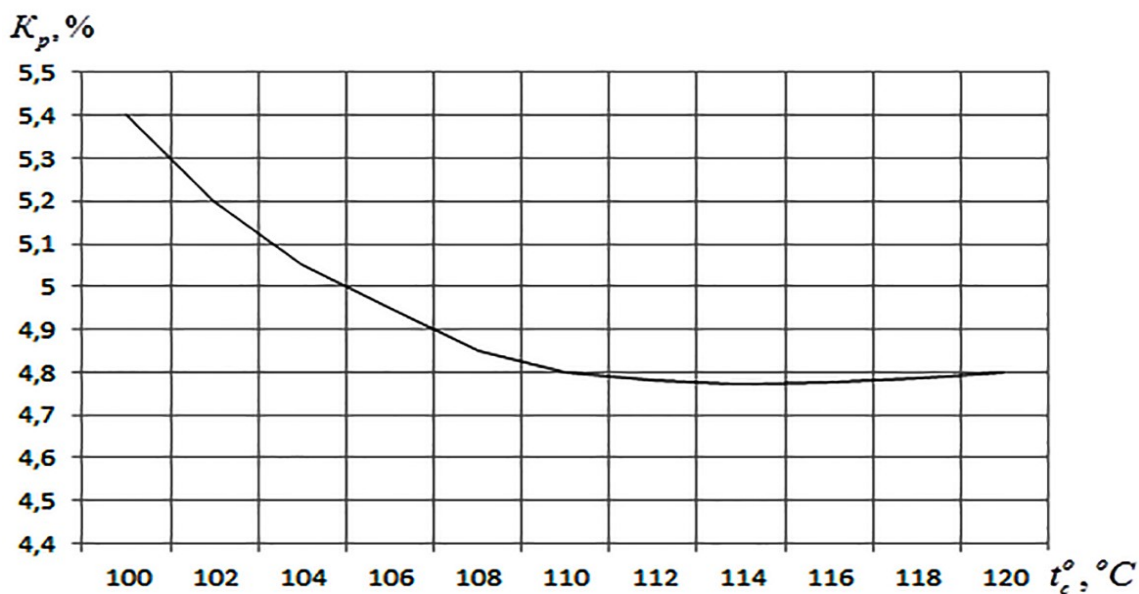


Рисунок 2.17 – Зависимость крошимости от температуры сушки

В результате проведенных теоретических исследований установлено, что на величину крошимости большое влияние оказывает температура сушки. Так при увеличении температуры сушки со 100 до 120 °С, крошимость снизилась в 1,12 раза (рис. 2.17). При этом установлено, что оптимальная крошимость достигается в диапазоне температуры сушки от 110 до 120 °С.

Выводы

1. На основании проведенных исследований разработана структурно-функциональная схема линии приготовления кормовой добавки в виде гранулята, получаемого на основе композиций, содержащих растительный, соевый белковый компонент в сочетаниях с белково-минеральным и витаминным компонентами животного и растительного происхождения.

2. В результате полученной экономико-математической модели оценки функционирования линии производства гранулированного корма для сельскохозяйственной птицы на стадии проектирования можно проводить обоснованный выбор рациональных вариантов и схем технологического процесса производства с учетом показателя крошимости, принятого состава и свойств.

3. В результате теоретического анализа получена математическая модель процесса приготовления белково-минерального и белково-витаминного кормового продукта в виде сушеного гранулята с крошимостью не выше допустимой по зоотехническим требованиям. Предложенная модель учитывает относительную напряженность фактора смешивания и усреднения влаги в бинарных композициях, относительную напряженность фактора однородности гранулометрического состава пасты, относительную напряженность фактора уплотнения полученной бинарной композиции, а также относительную напряженность фактора условий сушки гранулята.

2 Теоретические основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием сырья животного и растительного происхождения различной влажности

4. В результате теоретических исследований обоснованы параметры измельчителя-пастоизготовителя, учитывающие пористость исходного сырья, а также предложена модель оценки показателя однородности гранулометрического состава.

5. На основе анализа кинетики процесса усреднения влаги в бинарных композициях обоснованы параметры смесителя-усреднителя и получена модель оценки качества его работы.

6. На основании теоремы о взаимности работ и явления взаимной диффузии обоснованы параметры процесса уплотнения бинарных композиций, а также усреднения влаги в пресс-грануляторе по соответствующим узлам пресующего устройства и компрессионного узла с получением моделей оценки их работы.

7. В результате теоретических исследований установлена зависимость показателя крошимости корма от количества тепла, подведенного к продукту и температуры сушки.

3 ПРАКТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ

3.1 Результаты исследований по определению физико-механических свойств исходного сырья

В соответствии с поставленной целью и разработанной программой проводились экспериментальные исследования на оборудовании, которое было изготовлено непосредственно для данных целей.

Исследования проводились с использованием различных сочетаний сырья, представленного в таблице 3.1. В результате исследований установлено, что в составе термообработанной полножирной муке при переработке вторичного сырья семян сои содержатся следующие компоненты (фракции): 50 % – дробленые семядоли; 40 % – оболочка семян сои; 10 % – зародыш семени сои [15, 16, 90].

Таблица 3.1 – Выход и физико-механические свойства исходного сырья и компонентов

Сырье и компоненты	Выход, %	Влажность, %	Плотность, кг/м³	Средне-взвешенный размер, мкм	Угол естественного откоса, град.
Необезжиренная соевая мука	80–85	8–10	450–500	до 28	40–42
Вторичное соевое сырье, в том числе:	15,0–20,0	8–10	250–255	2–3	40–45
оболочка	40,0	8–10	50,0–60,0	3–3,5	45–50
зародыш	10,0	8–10	600–610	0,5–0,6	35–38
дробленые семядоли	50,0	8–10	620–625	2,1–2,2	39–42
Мука из вторичного сырья	15,0	8–10	500–530	до 28	40–42
Мясокостное сырье:					
головы птицы	–	60–65	–	–	–
шеи	–	60–65	–	–	–
ноги	–	50–55	–	–	–
композиция	–	58–61	400–450	75–100	45–55
Рыбокостное сырье:					
сельдевые	–	50–55	–	–	–

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы

Продолжение таблицы 3.1

Сырье и компоненты	Выход, %	Влажность, %	Плотность, кг/м ³	Средне-взвешенный размер, мкм	Угол естественного откоса, град.
лососевые	–	50–55	–	–	–
композиция	–	52–53	520–530	200–300	48–52
Кровь убойных животных и птицы	–	75–82	1 080–1 100	–	–
Ламинария	–	60,0–70,0	650–660	50–100	70–75

Рассев исследуемых фракций выполняли на специальном изготовленном решетном классификаторе.

В таблице 3.1 приводится выход продуктов, а также вторичного сырья (оболочка, зародыш и т. д.) от общей массы обрабатываемых семян сои, которые входят в состав растительного, мясо-костного и рыбо-костного сырья. При этом определялись их физико-механические свойства.

Анализируя полученные данные, необходимо отметить, что для приготовления пасты мясо-костное и рыбо-костное сырье необходимо подвергать дополнительной обработке. С этой целью проведены экспериментальные исследования по определению массовой доли несъедобной части сырья и необходимого усилия резания.

Результаты исследований по определению массовой доли несъедобной части сельскохозяйственной птицы представлены в таблицах 3.2 и 3.3.

Результаты исследований по определению необходимого усилия для наклонного резания и резания пуансоном мясо-костного и рыбо-костного сырья на экспериментальной установке приведены в таблицах 3.4 и 3.5.

Анализ полученных данных показывает, что для измельчения принятого к использованию мясо-костного и рыбо-костного сырья может быть использован барабанно-винтовой измельчитель-пастоизготовитель, аппарат первичного резания которого выполнен по типу «Волгарь-5», а также дисково-винтовой измельчитель-пастоизготовитель, первая ступень которого выполнена в соответствии с патентом Российской Федерации № 2124283.

Таблица 3.2 – Результаты экспериментальных данных по определению массовой доли несъедобных частей сельскохозяйственной птицы

Субпродуктовое сырье кур	Массовая доля части продукта	
	граммов	%
Головы:		
мякоть	330	34,9
кости	615	65,1
Ноги:		
мякоть	305	30,8
кости	685	69,2
Шеи:		
мякоть	720	75,4
кости	235	24,6

Таблица 3.3 – Результаты экспериментальных данных по определению массовой доли несъедобных частей рыбы

Название части продукта	Массовая доля части продукта	
	граммов	%
Сельдевые:		
головы	145	12,5
кости	80	6,9
кожа	50	4,3
Лососевые:		
головы	170	45,2
кости	80	7,1
кожа	195	17,4

Таблица 3.4 – Результаты экспериментальных исследований по определению усилия резания мясо-костного сырья от убоя сельскохозяйственной птицы

Наименование части продукта	Масса в опыте, кг			Среднее значение массы, кг	Усилие, Н
	1	2	3		
Наклонное резание					
Головы	3,0	2,5	2,9	2,8	28,0
Ноги	5,2	5,405	6,1	5,6	56,0
Шеи	6,0	7,0	9,43	7,5	75,0
Резание пуансоном					
Головы	3,0	3,1	3,9	3,3	33,0
Ноги	6,7	7,5	7,6	7,3	73,0
Шеи	5,0	5,8	6,8	5,9	59,0

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы

Таблица 3.5 – Результаты экспериментальных исследований по определению усилия резания костей и голов сельдевых и лососевых ($\bar{X} \pm p; p \leq 0,05$)

Вид рыбного сырья	Наименование части продукта	Масса в опыте, кг			Среднее значение массы, кг	Усилие, Н
		1	2	3		
Наклонное резание						
Лососевые	кость позвоночная	4,20	3,90	4,00	4,03	40,30
	голова	8,26	7,84	8,32	8,14	81,40
Сельдевые	кость позвоночная	2,73	3,15	2,82	2,90	29,00
	голова	7,93	8,24	7,26	7,81	78,10
Резание пуансоном						
Лососевые	кость позвоночная	2,40	2,60	2,85	2,62	26,20
	голова	5,60	4,93	5,53	5,35	53,55
Сельдевые	кость позвоночная	2,90	2,0	2,83	2,58	25,80
	голова	8,95	4,57	9,91	6,76	67,62
	голова	5,60	4,93	5,53	5,35	53,55

3.2 Результаты исследований процесса получения пастообразных компонентов на основе исходного сырья животного и растительного происхождения

3.2.1 Влияние конструктивно-технологических параметров измельчителя на величину неоднородности состава пасты и энергоёмкость процесса измельчения

Получение пасты из мясокостного, рыбокостного и травяного сырья осуществлялось за счет его измельчения на модернизированных барабанно-винтовом и дисково-винтовом измельчителях-пастоизготовителях, которые показаны на рисунках 3.1–3.12.

Общий вид исходного сырья и полученного гранулята представлен на рисунках 3.13–3.14.



Рисунок 3.1 – Общий вид лабораторного питающе-измельчающего аппарата барабанно-винтового типа

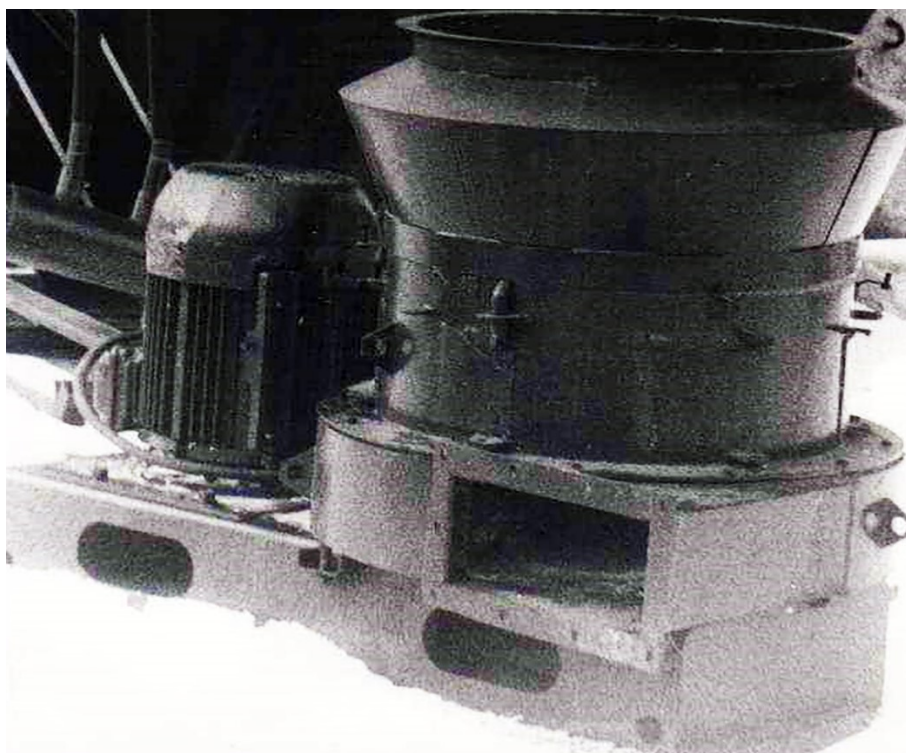


Рисунок 3.2 – Общий вид дисково-винтового измельчителя (сбоку)

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы

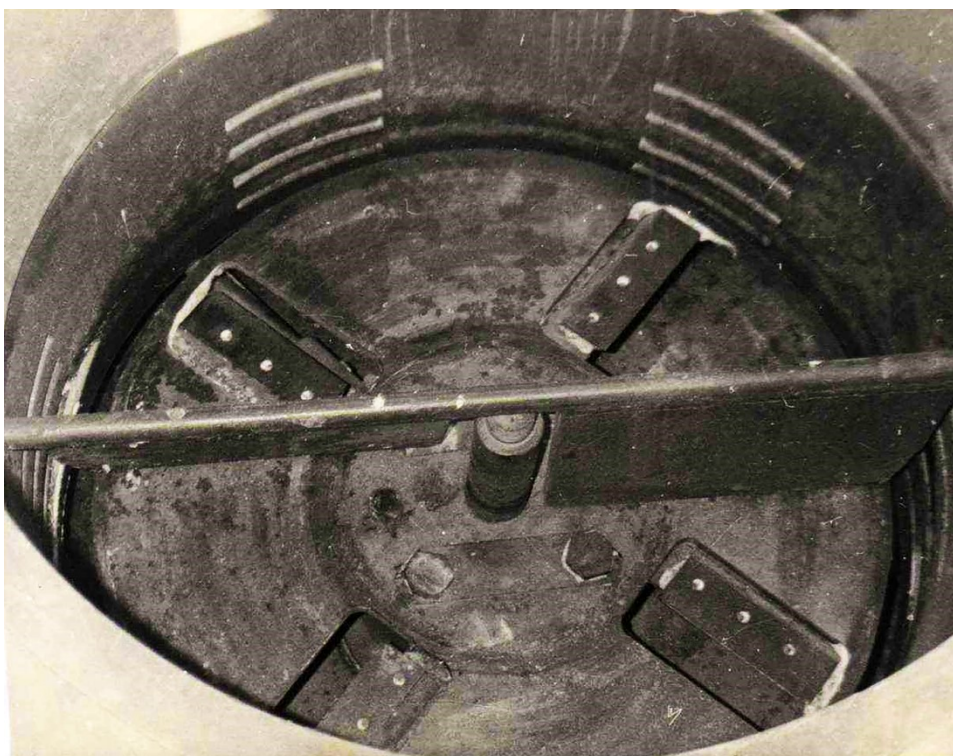


Рисунок 3.3 – Общий вид дисково-винтового измельчителя (сверху)



Рисунок 3.4 – Общий вид измельчителя-пастоизготовителя

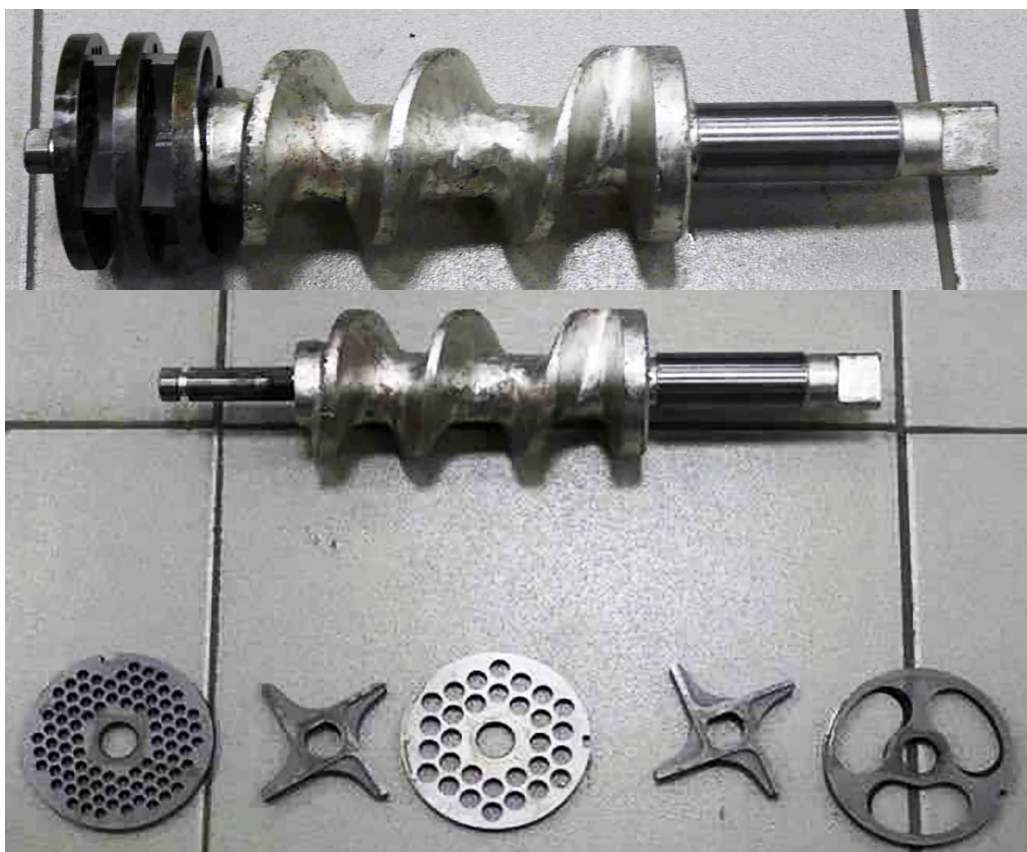


Рисунок 3.5 – Рабочий орган измельчителя-пастоизготовителя



a)

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы



б)



в)



г)

а) с фаршем МКС; б) с фаршем РКС;
в) с пастой хвойных растений; г) с пастой из ламинарии

Рисунок 3.6 – Общий вид установки по изучению рабочего процесса получения пасты из исходного сырья животного и растительного происхождения



Рисунок 3.7 – Общий вид смесителя-усреднителя



Рисунок 3.8 – Общий вид загрузочного устройства

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы



Рисунок 3.9 – Общий вид пресс – гранулятора



Рисунок 3.10 – Общий вид лабораторного парогенератора



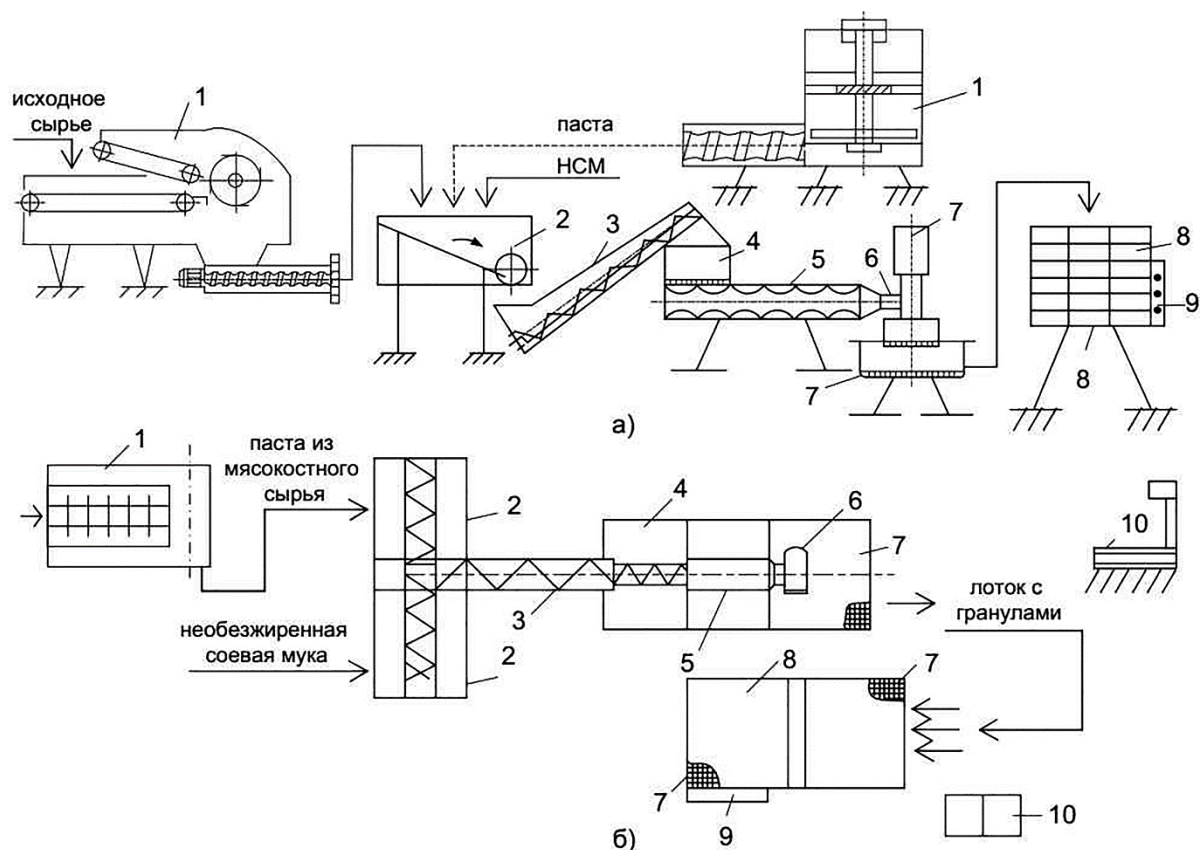
а)



а) пресс-гранулятор; б) сушильный шкаф

Рисунок 3.11 – Общий вид используемого лабораторного оборудования

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы



а) вид сбоку; б) вид сверху

- 1 – измельчители-пастоизготовители; 2 – питатели измельченного мясокостного, рыбнокостного и травяного сырья; 3 – смеситель-усреднитель; 4 – загрузочный узел пресс-гранулятора; 5 – камера прессующего узла; 6 – гранулирующий узел; 7 – сетчатый лоток; 8 – сушильный шкаф ЭСПИС-4 «Универсал»; 9 – блок управления; 10 – весы

Рисунок 3.12 – Конструктивно-технологическая схема экспериментального комплекса



а)



б)



в)



г)

а) мясокостное сырье; б) рыбокостное сырье; в) сырье хвойных растений; г) ламинария

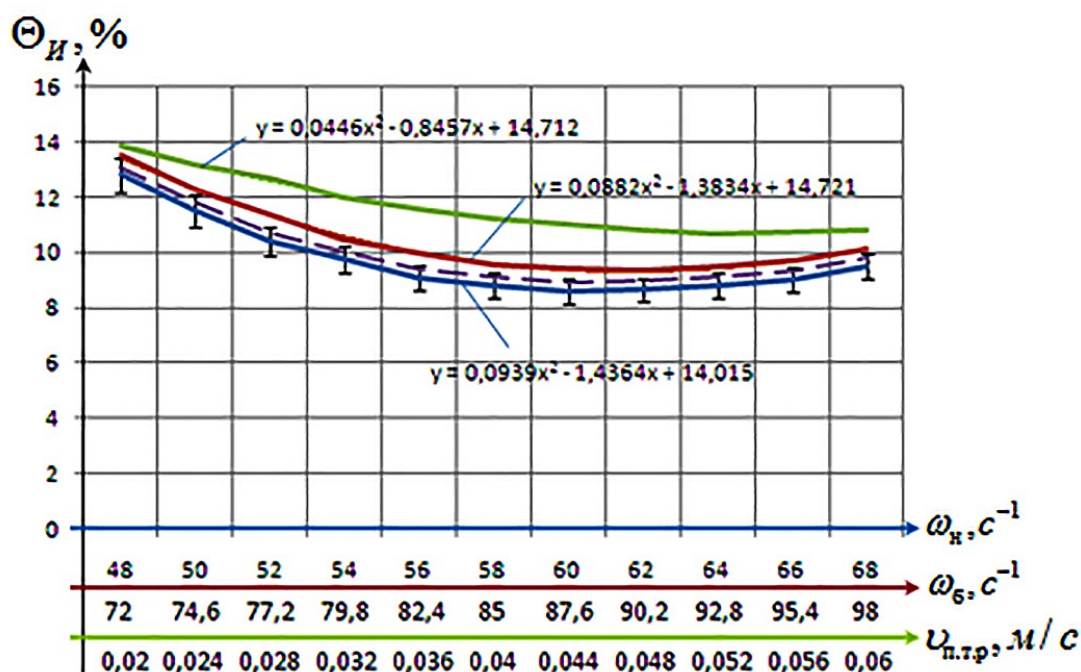
Рисунок 3.13 – Общий вид исходного сырья



Рисунок 3.14 – Общий вид гранулята, полученного в лабораторных условиях

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы

Для подтверждения ранее полученных теоретических исследований (раздел 2.3.1), нами выполнены экспериментальные исследования по выявлению влияния конструктивно-технологических параметров (угловая скорость барабана в аппарате первичного резания (ω_6), скорость движения полотна подающего транспортера ($v_{п.тр}$), угловая скорость ножей аппарата вторичного резания (ω_n)) предложенного барабанно-винтового измельчителя-пастоизготовителя по типу «Волгарь-5» на неоднородность гранулометрического состава пасты (рис. 3.15).



зеленый цвет – зависимость $\Theta_{И} = f(v_{п.тр})$ при $\omega_6 = 0,22$;

красный цвет – зависимость $\Theta_{И} = f(\omega_6)$ при $\omega_n = 0$;

синий цвет – зависимость $\Theta_{И} = f(\omega_n)$ при $v_{п.тр} = 0,68$;

оранжевый цвет (пунктир) – теоретическая зависимость

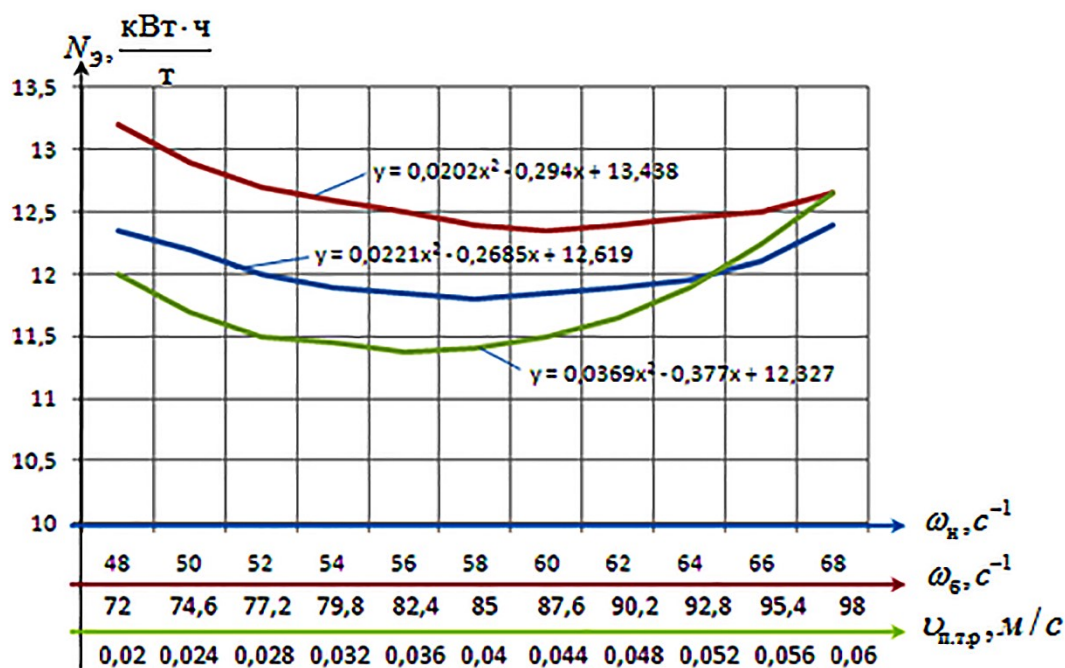
Рисунок 3.15 – Влияние конструктивно-технологических параметров измельчителя-пастоизготовителя на неоднородность гранулометрического состава пасты

Как показали исследования (рис. 3.15), с увеличением скорости вращения барабана в аппарате первичного резания (ω_6) от 72 до 98 c^{-1} неоднородность гранулометрического состава пасты уменьшается с 13,8 до 10 %. При увеличении скорости движения полотна подающего транспортера ($v_{п.тр}$) с 0,02 до

0,06 м/с неоднородность уменьшается в 1,5 раза, и при увеличении скорости ножей аппарата вторичного резания (ω_n) с 48 до 68 с⁻¹ неоднородность уменьшается с 13 до 9,5 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что на величину неоднородности гранулометрического состава пасты большое влияние оказывают конструктивно-технологические параметры измельчителя-пастоизготовителя.

Известно, что эффективность любого технологического процесса во многом зависит от энергоемкости (рис. 3.16).



зеленый цвет – функция $N_э = f(v_{п.тр})$ при $\omega_b = 0,26$;
 красный цвет – функция $N_э = f(\omega_b)$ при $\omega_n = 0,32$;
 синий цвет – функция $N_э = f(\omega_n)$ при $v_{п.тр} = -0,16$

Рисунок 3.16 – Зависимость энергоемкости процесса производства пасты от конструктивно-технологических параметров измельчителя-пастоизготовителя

Наименьшая величина энергоемкости процесса измельчения (рис. 3.16) при определенных конструктивно-технологических параметрах, возможна:

- 1) для аппарата первичного резания при изменении угловой скорости вращения барабана в пределах 82,4–92,8 с⁻¹;

2) для подающего транспортера при изменении линейной скорости движения полотна от 0,028 до 0,044 м/с;

3) для аппарата вторичного резания при изменении угловой скорости вращения ножей в пределах 52–64 с⁻¹.

Анализ проведенных исследований показал, что разработанный измельчитель-пастоизготовитель позволяет измельчать сырье рыбного и животного происхождения с минимальными энергетическими затратами при определенных конструктивно-технологических параметрах.

В ходе проведения исследований было установлено, что полученные теоретические и экспериментальные значения находятся в границах доверительного интервала. Данный факт говорит о достоверности выполненных исследований (рис. 3.15).

3.2.2 Обоснование влияния конструктивно-технологических параметров измельчителя-пастоизготовителя на физико-механические свойства пасты

Для определения влияния конструктивно-технологических параметров измельчителя-пастоизготовителя на физико-механические свойства пасты были определены основные факторы, влияющие на критерии оптимизации изучаемого процесса, а также уровни их варьирования.

В качестве таких факторов определены следующие:

$X_1 (\omega_6, c^{-1})$ – угловая скорость барабана в аппарате первичного резания;

$X_2 (v_{п.тр}, м/с)$ – скорость движения полотна подающего транспортера;

$X_3 (\omega_n, c^{-1})$ – угловая скорость ножей аппарата вторичного резания.

За критерии оптимизации приняты следующие показатели:

$Y_1 (\Theta_n, \%)$ – неоднородность гранулометрического состава пасты;

$Y_2 (N_э, \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}})$ – энергоемкость процесса получения пастообразных продуктов.

Предварительные опыты показали, что наибольшие затраты энергии наблюдаются при получении мясо-костной пасты на основе композиции *ноги* + *шеи* + *головы*. В этой связи исследования проводились на мясо-костном исходном сырье.

Уровни и факторы их варьирования по 15 опытам представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Уровни и факторы их варьирования

Факторы	Факторы		
	$X_1/\omega_6, \text{с}^{-1}$	$X_2/v_{\text{п.тр}}, \text{м/с}$	$X_3/\omega_{\text{н}}, \text{с}^{-1}$
Верхний уровень	98,0	0,06	68,0
Основной уровень	85,0	0,04	58,0
Нижний уровень	72,0	0,02	48,0
Интервал варьирования	13,0	0,02	10,0

В результате проведенного трехуровневого плана эксперимента и получения данных проведена их обработка, а также регрессионный анализ зависимостей в их общем виде:

$$Y_1 = f(X_1; X_2; X_3) \rightarrow \min;$$

$$Y_2 = f(X_1; X_2; X_3) \rightarrow \min.$$

На основании регрессионного анализа построены математические модели оценки процесса измельчения мясо-костного сырья.

Полученные модели для оценки неоднородности гранулометрического состава пасты будут иметь следующий вид в кодированной форме (3.1), (3.3) и в раскодированной форме (3.2), (3.4):

$$Y_1 = 9,154 - 0,658 \cdot X_1 - 1,425 \cdot X_2 - 0,750 \cdot X_1 \cdot X_2 + 2,687 \cdot X_1^2 + 1,163 \cdot X_2^2 + 2,010 \cdot X_3^2 \rightarrow \min, \quad (3.1)$$

$$\theta_{\text{И}} = 193,6 - 2,6 \cdot \omega_6 - 58,7 \cdot v_{\text{п.тр}} - 2,3 \cdot \omega_{\text{н}} - 2,8 \cdot \omega_6 \cdot v_{\text{п.тр}} + 0,01 \cdot \omega_6^2 + 2908,1 \cdot v_{\text{п.тр}}^2 + 0,02 \cdot \omega_{\text{н}}^2 \rightarrow \min, \quad (3.2)$$

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы

$$Y_2 = 11,174 - 0,1474 \cdot X_1 + 0,320 \cdot X_2 - 0,303 \cdot X_3 - 0,262 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,451 \cdot X_1^2 + 0,959 \cdot X_2^2 + 0,586 \cdot X_3^2 \rightarrow \min, \quad (3.3)$$

$$N_3 = 46,1 - 0,3 \cdot \omega_6 - 175,8 \cdot v_{п.тр} - 0,5 \cdot \omega_H - 0,002 \cdot \omega_6 \cdot \omega_H + 0,002 \cdot \omega_6^2 + 2398,5 \cdot v_{п.тр}^2 + 0,005 \cdot \omega_H^2 \rightarrow \min \quad (3.4)$$

Оптимальные величины факторов $\omega_6 = 87,86 \text{ с}^{-1}$; $v_{п.тр} = 0,0536 \text{ М/с}$; $\omega_H = 58 \text{ с}^{-1}$, в результате которых $\Theta_{И} = 8,66\%$.

Оптимальные величины факторов $\omega_6 = 88,38 \text{ с}^{-1}$; $v_{п.тр} = 0,0368 \text{ М/с}$; $\omega_H = 61,2 \text{ с}^{-1}$, в результате которых $N_3 = 11,08 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}}$.

Тогда оптимальные значения полученных величин принимаем равными $\omega_6 = 87,86 - 88,38 \text{ с}^{-1}$; $v_{п.тр} = 0,0368 - 0,0536 \text{ М/с}$; $\omega_H = 58 - 61,2 \text{ с}^{-1}$.

Области экстремальных значений полученных величин для критериев Y_1 и Y_2 , по которым построены поверхности откликов Y_1 и Y_2 , а также сечения этих поверхностей представлены на рисунках 3.17–3.22.

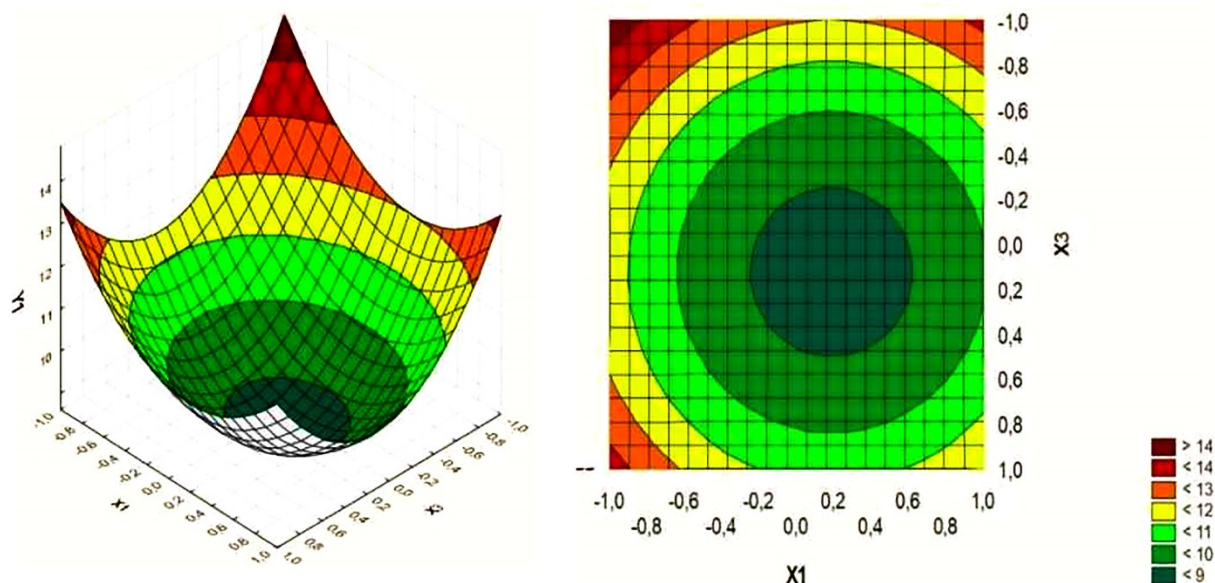


Рисунок 3.17 – Поверхность функции отклика $Y_1 = f(X_1; X_2 = 0,68; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

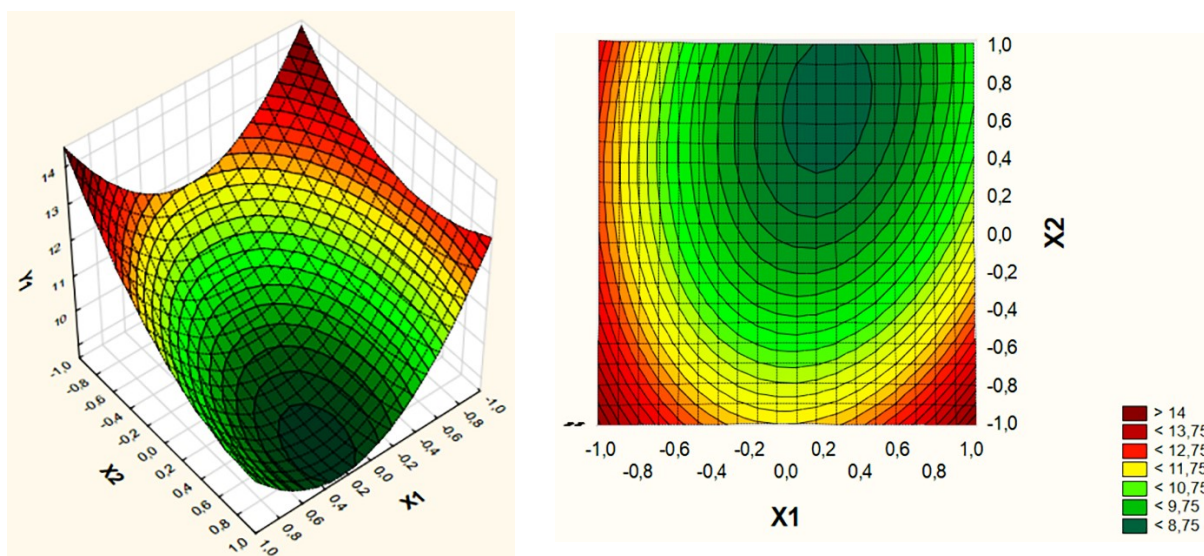


Рисунок 3.18 – Поверхность функции отклика $Y_1 = f(X_1; X_2; X_3 = 0, 00) \rightarrow \min$ и ее сечения

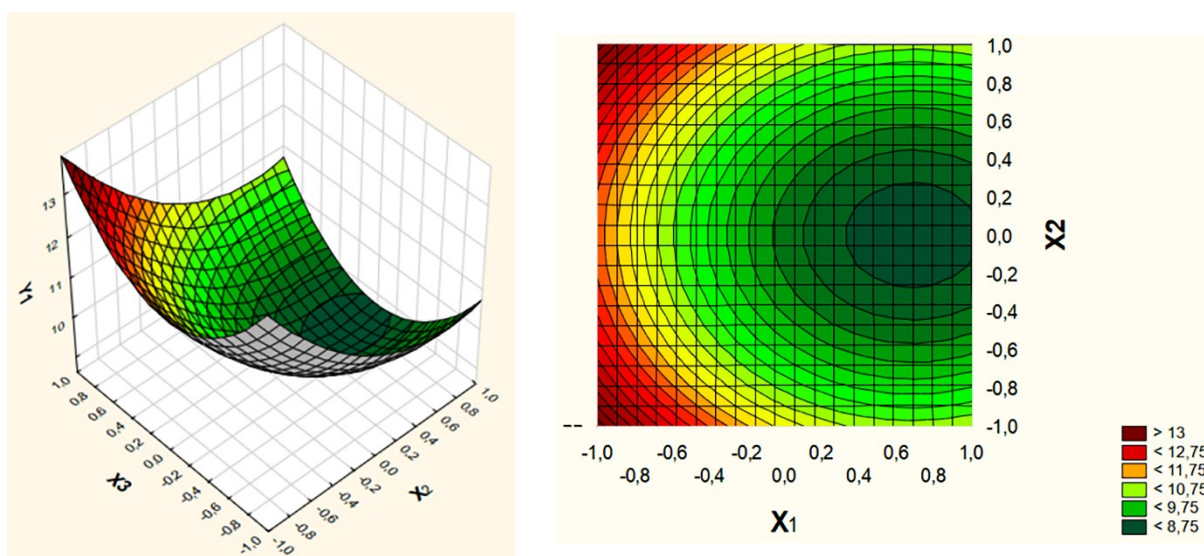


Рисунок 3.19 – Поверхность функции отклика $Y_1 = f(X_1 = 0, 22; X_2; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

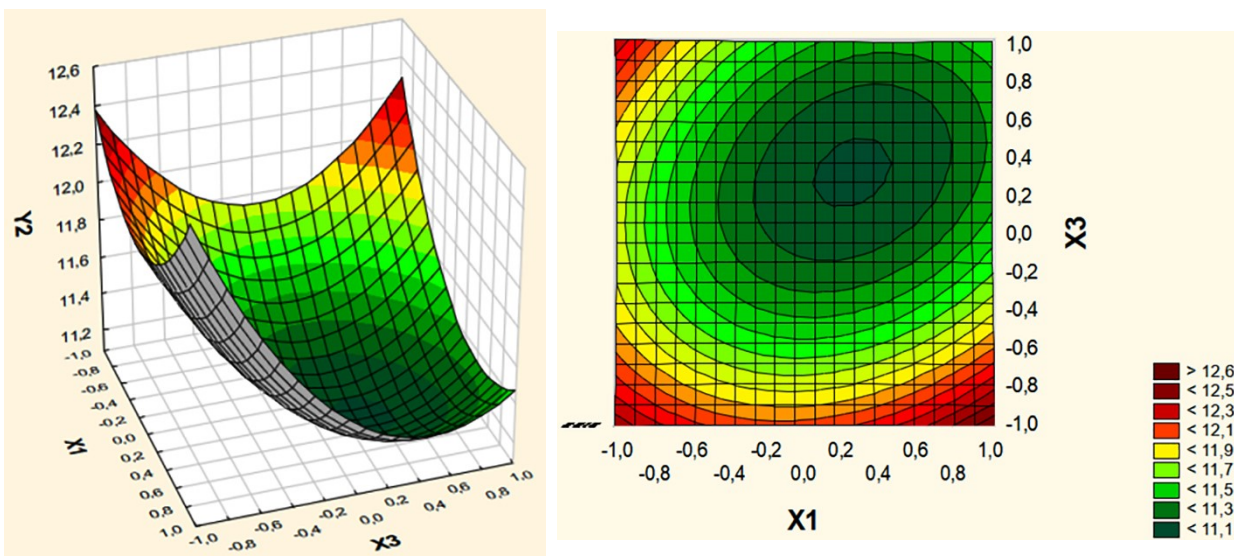


Рисунок 3.20 – Поверхность функции отклика $Y_2 = f(X_1; X_2 = -0,16; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

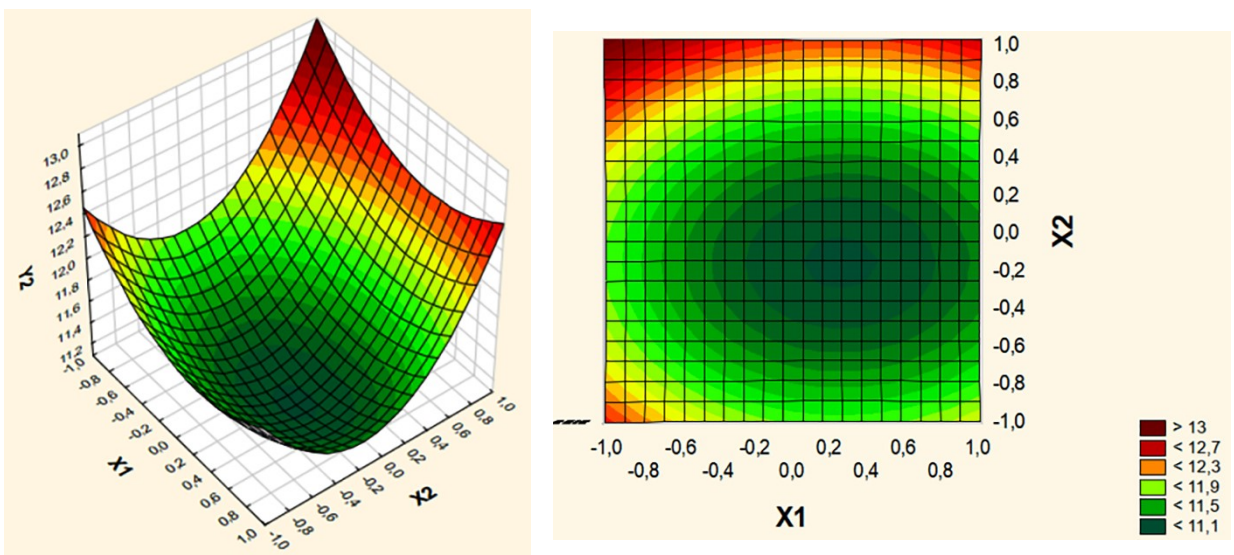


Рисунок 3.21 – Поверхность функции отклика $Y_2 = f(X_1; X_2; X_3 = 0,32) \rightarrow \min$ и ее сечения

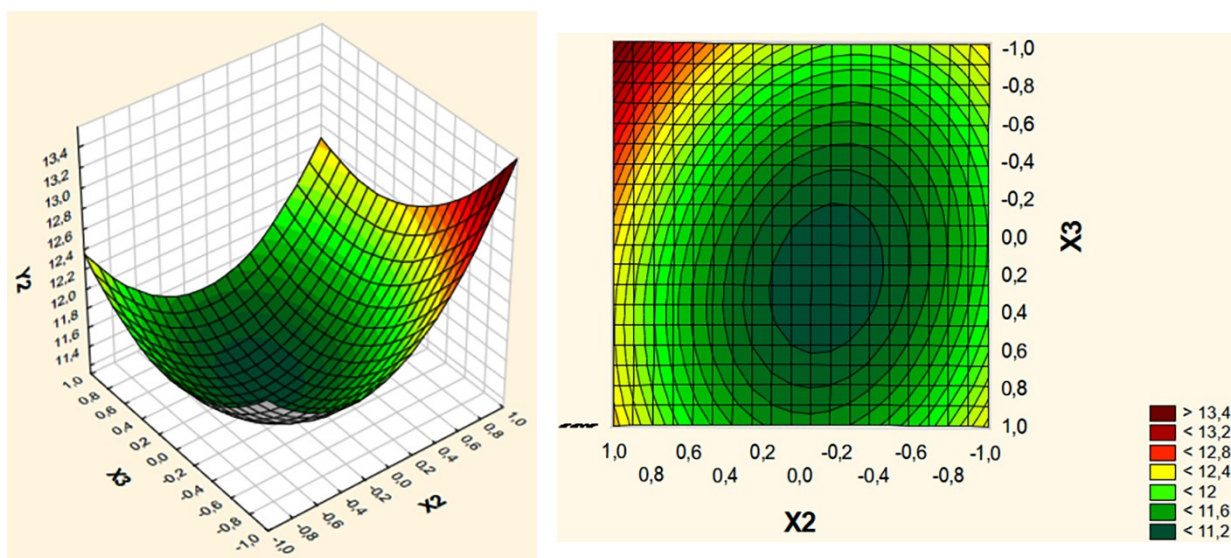


Рисунок 3.22 – Поверхность функции отклика $Y_2 = f(X_1 = 0,26; X_2; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

На основании проведенных исследований были определены физико-механические характеристики пастообразных продуктов, полученных с помощью измельчителя-пастоизготовителя барабанно-винтового типа, которые представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Выход пастовых продуктов из исходного сырья и их характеристика

Продукты	Выход, %	Влажность, %	Плотность, кг/м ³	Средне-взвешенный размер, мм	Угол естественного откоса, град
Паста мяско-костная	99,0	58–61	580–585	1,0–2,0	30–36
Паста рыбо-костная	99,0	52–53	520–530	1,0–2,0	29–35
Паста травяная	99,0	55–70	670–740	1,0–2,0	25–27
Паста из ламинарии	99,0	55–60	700–710	1,0–2,0	65–70

Установлено, что применение предложенного барабанно-винтового измельчителя-пастоизготовителя с обоснованными оптимальными параметрами дает возможность получить однородный пастовый продукт, что в дальнейшем отразится на однородности смеси.

3.3 Исследование функциональных и реологических характеристик бинарных композиций на основе соевого и животного сырья

При исследовании функциональных и реологических характеристик бинарных композиций на основе соевого и животного сырья ставилась задача по определению функциональных и реологических характеристик получаемых композиций, которые приготавливались на основе рыбо-костной или мясо-костной пасты из сырья животного происхождения и НСМ.

Для бинарных композиций определялись:

1. Технологическая характеристика, представленная показателем водосвязывающей способности соевой муки в пастообразном продукте (ВСС) (Y_3).

2. Реологические характеристики, в виде двух основных показателей: предельного напряжения сдвига (ПНС) (Y_4); пластической вязкости (η) (Y_5).

Зная, как изменяются данные показатели, можно определить граничные значения этих факторов, которые влияют на структурные показатели полученных продуктов и степень их воздействия на качественные показатели работы разрабатываемых технических средств.

Применив априорное ранжирование факторов, влияющих на структурно-реологические характеристики получаемого продукта, выделены:

X_1 ($\rho_{\text{ч}}$) – размер частиц измельченного мясо-костного и рыбо-костного сырья в виде гомогенизированной пасты;

X_2 ($\Theta_{\text{н}}$) – неоднородность гранулометрического состава пасты;

X_3 ($M_{\text{д}}$) – массовая доля соевого компонента (СК) в пастовой бинарной композиции.

В результате поисковых опытов для оценки композиций с компонентом животного происхождения выявлены уровни варьирования рассматриваемых факторов.

В таблице 3.8 приводятся факторы, которые оказывают влияние на процесс и уровни их варьирования.

Таблица 3.8 – Факторы и уровни их варьирования для оценки ВСС, ПНС и η сырья животного происхождения

Уровни и интервал	Факторы		
	размер измельченного продукта	неоднородность гранулометрического состава	массовая доля НСМ
	$X_1/\ell_{\text{ч}}$, мм	$X_2/\Theta_{\text{и}}$, %	$X_3/M_{\text{д}}$, %
Верхний уровень (+)	0,8	15,0	70,0
Основной уровень (о)	0,5	10,0	50,0
Нижний уровень (-)	0,2	5,0	30,0
Интервал варьирования	0,3	5,0	20,0

Эксперимент проводился в виде трехфакторного эксперимента по матрице, по пятнадцати опытам.

После реализации трехфакторного эксперимента по матрице планирования и получения данных была проведена математическая обработка и получены следующие математические модели оценки, которые характеризуют процесс приготовления композиций, с указанными технологическими и реологическими показателями, которые после отсеивания незначимых коэффициентов имеют следующий вид: в кодированной форме – выражения (3.5)–(3.7); в раскодированной форме – выражения (3.8)–(3.10):

$$Y_3 = 96,55 - 0,91 \cdot X_1 + 1,09 \cdot X_2 + 0,58 \cdot X_3 - 1,37 \cdot X_2 \cdot X_3 - 5,63 \cdot X_1^2 - 5,32 \cdot X_2^2 - 4,51 \cdot X_3^2 \rightarrow opt, \quad (3.5)$$

$$Y_4 = 286,48 - 16,55 \cdot X_1 - 6,64 \cdot X_2 - 13,14 \cdot X_3 - 13,75 \cdot X_1 \cdot X_3 + 44,53 \cdot X_1^2 + 36,11 \cdot X_2^2 + 27,29 \cdot X_3^2 \rightarrow opt, \quad (3.6)$$

$$Y_5 = 5,20 - 0,75 \cdot X_1 - 0,35 \cdot X_2 - 1,27 \cdot X_3 + 0,25 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,75 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,25 \cdot X_2 \cdot X_3 + 1,98 \cdot X_1^2 + 1,74 \cdot X_2^2 + 1,60 \cdot X_3^2 \rightarrow opt, \quad (3.7)$$

$$ВСС = 20,41 + 63,5 \cdot \ell_{\text{ч}} + 5,21 \cdot \Theta_{\text{и}} + 1,33 \cdot M_{\text{д}} - 0,01 \cdot \Theta_{\text{и}} \cdot M_{\text{д}} - 62,58 \cdot \ell_{\text{ч}}^2 - 0,21 \cdot \Theta_{\text{и}}^2 - 0,01 \cdot M_{\text{д}}^2 \rightarrow opt, \quad (3.8)$$

$$ПНС = 753,82 - 460,38 \cdot \ell_{\text{ч}} - 31,47 \cdot \Theta_{\text{и}} - 6,32 \cdot M_{\text{д}} - 2,29 \cdot \ell_{\text{ч}} \cdot M_{\text{д}} + 494,79 \cdot \ell_{\text{ч}}^2 + 1,44 \cdot \Theta_{\text{и}}^2 + 0,07 \cdot M_{\text{д}}^2 \rightarrow opt, \quad (3.9)$$

$$\eta = 31,75 - 19,91 \cdot \ell_{\text{ч}} - 1,97 \cdot \Theta_{\text{и}} - 0,43 \cdot M_{\text{д}} + 0,17 \cdot \ell_{\text{ч}} \cdot \Theta_{\text{и}} - 0,13 \cdot \ell_{\text{ч}} \cdot M_{\text{д}} + 21,99 \cdot \ell_{\text{ч}}^2 + 0,07 \cdot \Theta_{\text{и}}^2 + 0,004 \cdot M_{\text{д}}^2 \rightarrow opt \quad (3.10)$$

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы

Адекватность полученных математических моделей, в результате регрессионного анализа, с вероятностью $P=0,95$, при коэффициентах корреляции $R_3=0,964$, $R_4=0,962$ и $R_5=0,983$ соответствует неравенству $F_R > F_T$. Достоверность предлагаемых математических моделей оценивалась по уровню значимости критерия Фишера (не более 0,05): $p_3 = 0,02$, $p_4 = 0,02$ и $p_5 = 0,03$, что означает значимость полученных моделей. Коэффициент детерминации (R^2) характеризует степень точности описания моделью процесса. Так как он находится в пределах больших, чем 0,80–0,95, то можно утверждать о высокой точности аппроксимации (предложенная математическая модель точно описывает процесс).

В таблице 3.9, приводятся области экстремальных значений рассматриваемых факторов X_1 , X_2 и X_3 , при которых $Y_{3-5} \rightarrow opt$.

Таблица 3.9 – Области экстремальных значений

Критерий	$X_1/\ell_ч$	$X_2/\Theta_{и}$	$X_3/M_{д}$	Y_{3-5}
$Y_3 \rightarrow opt$	0,26/0,52	0,34/12,14	0,4/28,3	95,0/95,0
$Y_4 \rightarrow opt$	0,44/0,65	0,36/11,09	0,7/40,77	290,0/290,0
$Y_5 \rightarrow opt$	0,45/0,78	0,26/11,53	0,65/47,57	4,99/4,95

На основе полученных данных построены зависимости в виде поверхностей и их сечений (рис. 3.23–3.31).

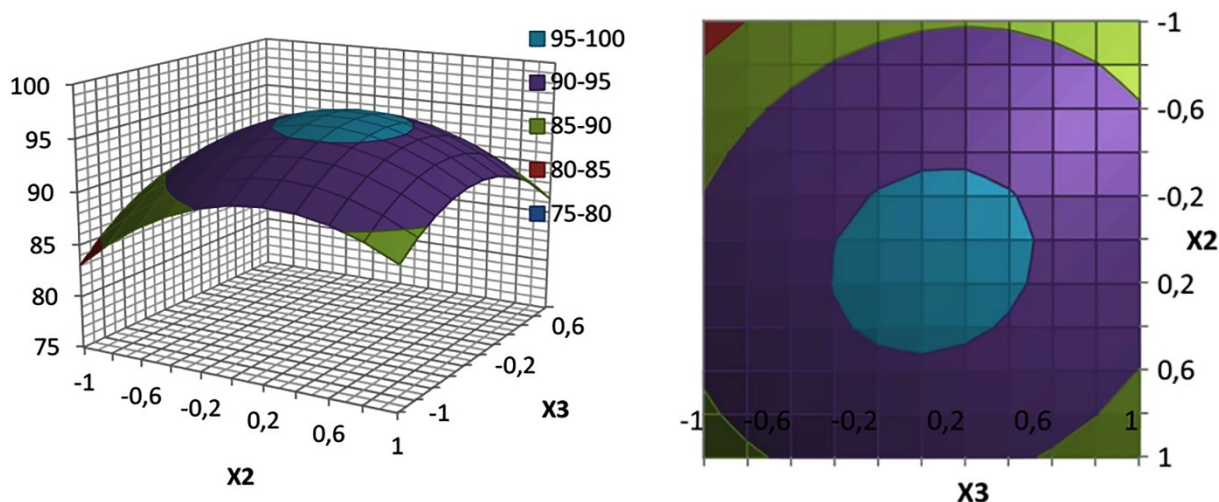


Рисунок 3.23 – Поверхность функции отклика $Y_3 = f(X_1 = 0,26; X_2; X_3) \rightarrow opt$ и ее сечения

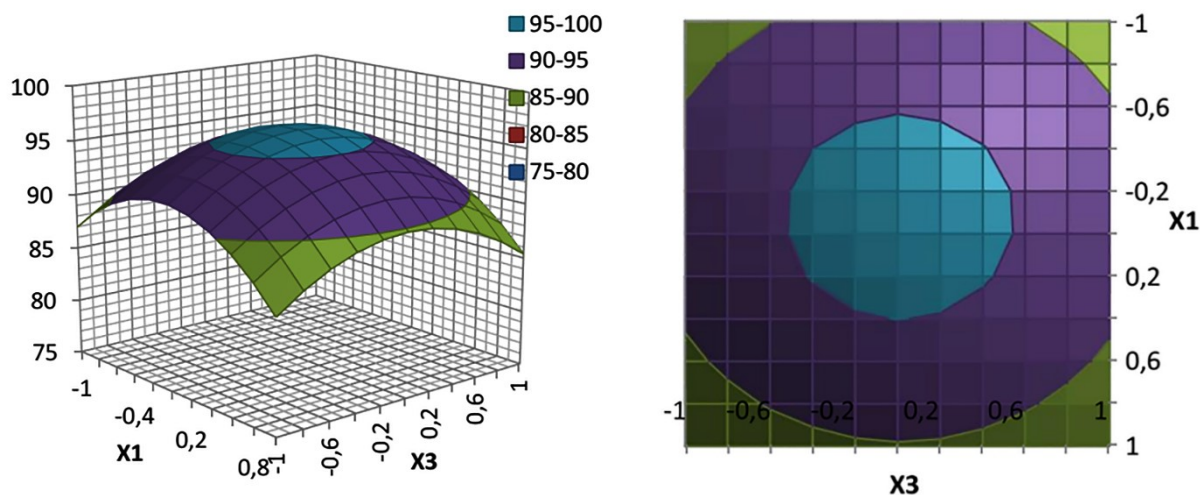


Рисунок 3.24 – Поверхность функции отклика $U_3 = f(X_1; X_2 = 0,34; X_3) \rightarrow opt$ и ее сечения

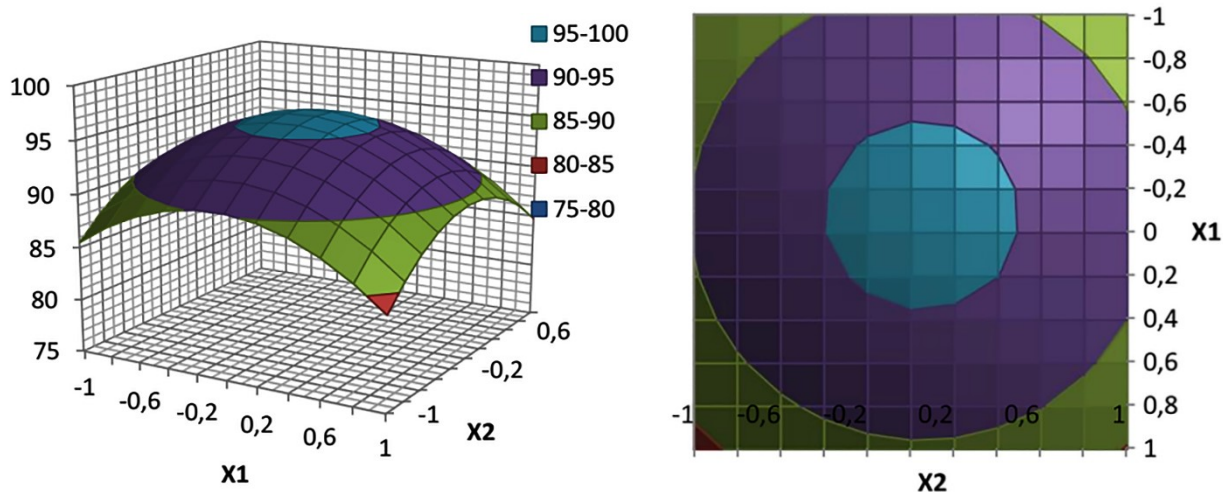


Рисунок 3.25 – Поверхность функции отклика $U_3 = f(X_1; X_2; X_3 = 0,4) \rightarrow opt$ и ее сечения

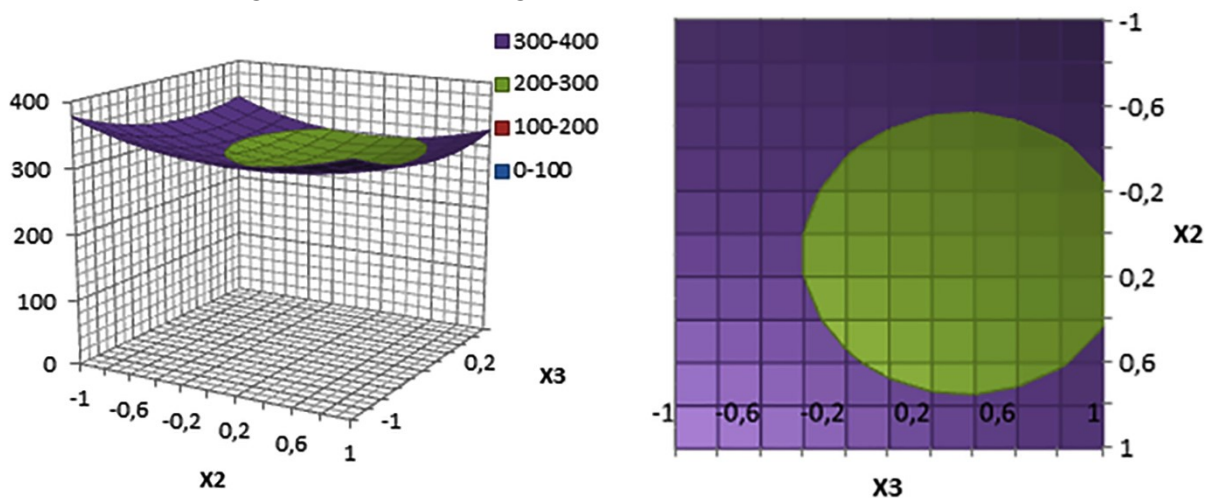


Рисунок 3.26 – Поверхность функции отклика $U_4 = f(X_1 = 0,44; X_2; X_3) \rightarrow opt$ и ее сечения

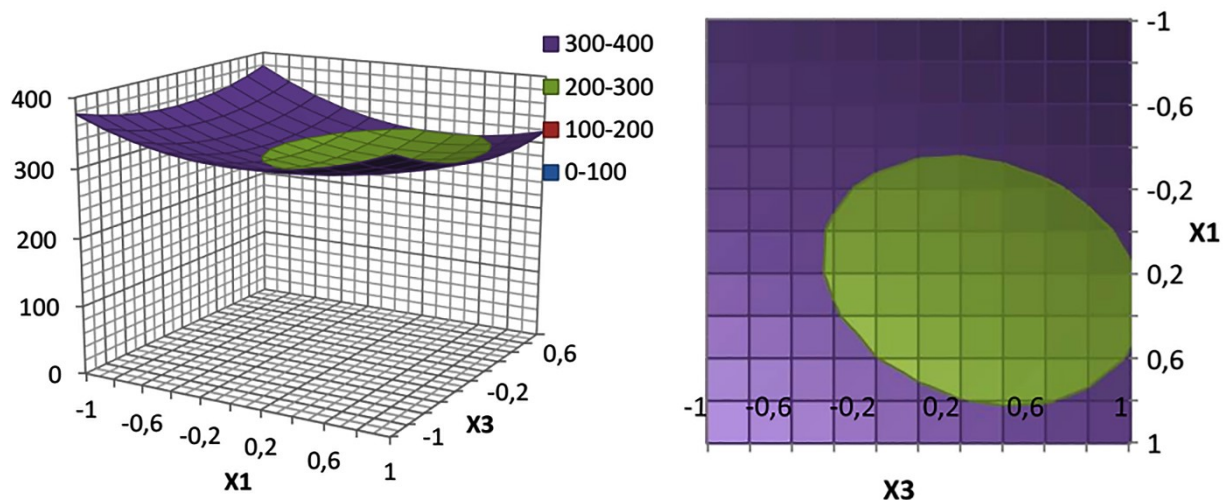


Рисунок 3.27 – Поверхность функции отклика $Y_4 = f(X_1; X_2 = 0,36; X_3) \rightarrow opt$ и ее сечения

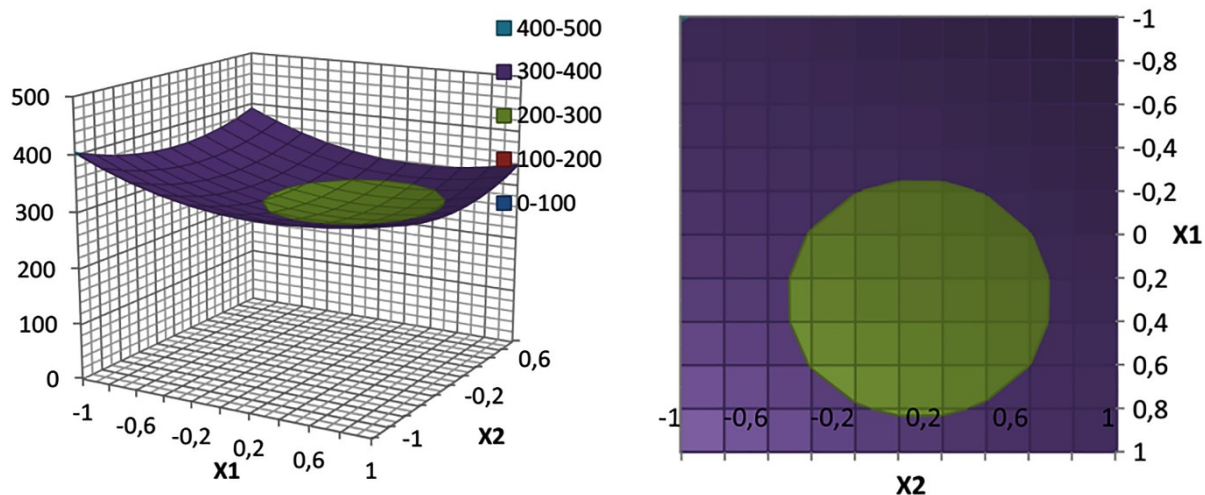


Рисунок 3.28 – Поверхность функции отклика $Y_4 = f(X_1; X_2; X_3 = 0,7) \rightarrow opt$ и ее сечения

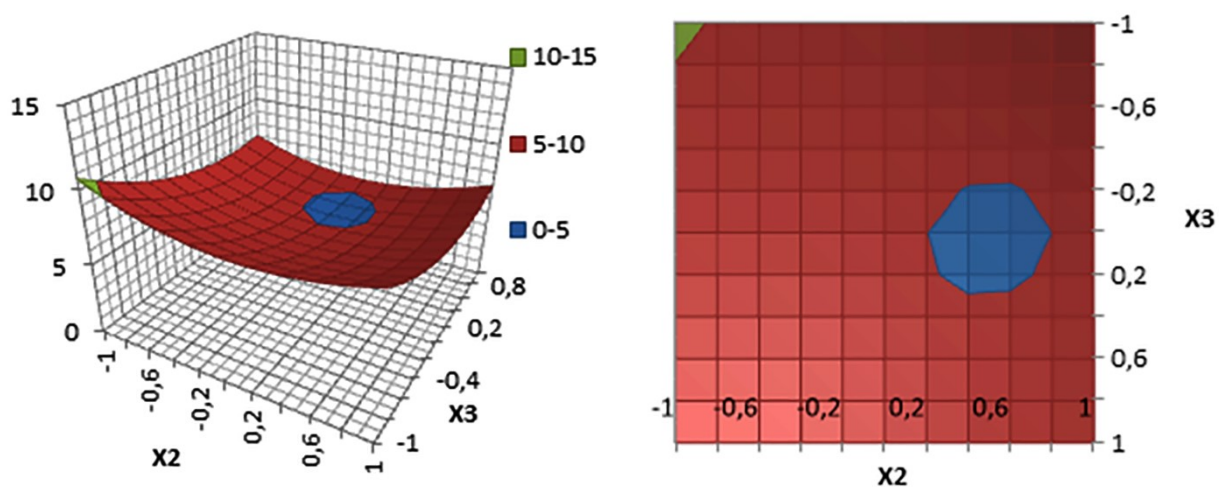


Рисунок 3.29 – Поверхность функции отклика $Y_5 = f(X_1 = 0,45; X_2; X_3) \rightarrow opt$ и ее сечения

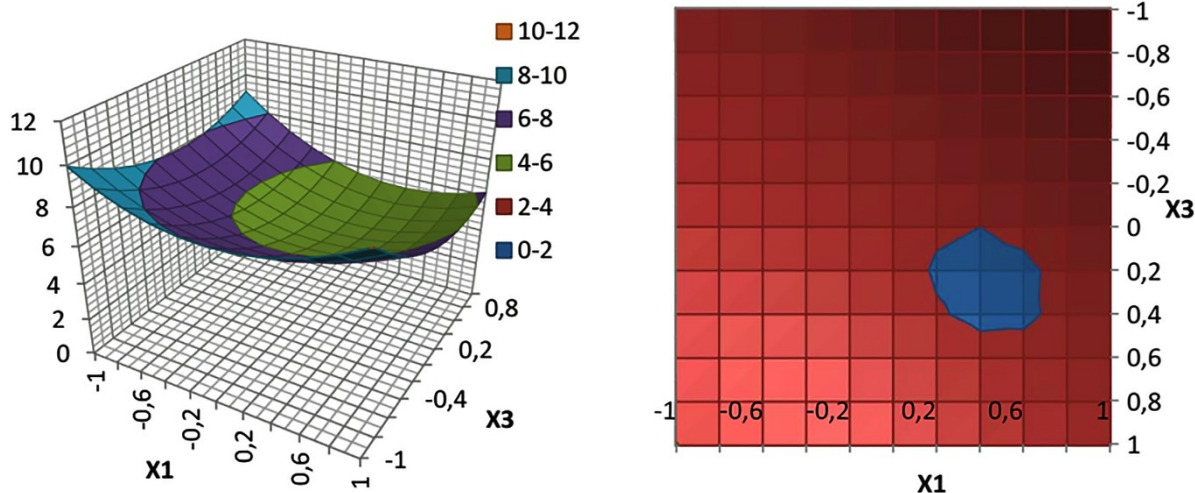


Рисунок 3.30 – Поверхность функции отклика $Y_5 = f(X_1; X_2 = 0,26; X_3) \rightarrow opt$ и ее сечения

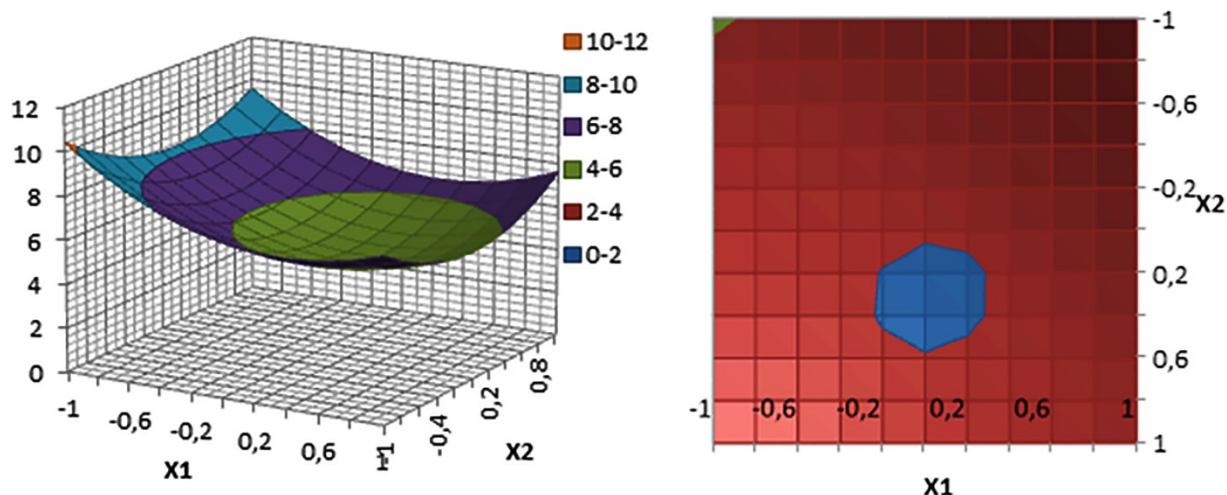


Рисунок 3.31 – Поверхность функции отклика $Y_5 = f(X_1; X_2; X_3 = 0,65) \rightarrow opt$ и ее сечения

Путем комплексного анализа функциональных зависимостей определены рациональные значения ВСС на уровне 95 %, ПНС – 290,0 Па и пластической вязкости – 4,95 Па·с, которые обеспечиваются при средневзвешенной длине частиц $l_q = 0,52 - 0,78$ мм; неоднородности их гранулометрического состава, равного $\Theta_{\text{н}} = 11,09 - 12,14\%$ и массовой доле необезжиренной соевой муки в диапазоне значений $M_d = 34,81 - 39,67\%$.

3.4 Исследование технологических и реологических характеристик бинарных композиций на основе растительного сырья (соевого и травяного)

С целью установления функциональных и реологических характеристик композиций на основе растительной (травяной и ламинариевой) пасты, а также необезжиренной соевой муки были проведены экспериментальные исследования.

Для полученных бинарных композиций определялись:

1. Технологическая характеристика, которая представлена в виде водосвязывающей способности соевой муки пастообразной композиции (ВСС) (Y_6).

2. Реологические характеристики в виде предельного напряжения сдвига (ПНС) (Y_7) и пластической вязкости (η) (Y_8).

В результате поисковых опытов, для оценки композиций с растительным компонентом определены уровни варьирования приведенными факторами.

В таблице 3.10 приводятся факторы, которые оказывают влияние на процесс и уровни варьирования.

Таблица 3.10 – Уровни и факторы их варьирования для оценки ВСС, ПНС и η сырья растительного происхождения

Уровни варьирования факторами	Факторы		
	Размер частиц в пасте, мм	Неоднородность гранулометрического состава частиц пасты, %	Массовая доля соевого компонента композиции, %
Верхний уровень (+)	0,8	15,0	70,0
Основной уровень (о)	0,5	10,0	50,0
Нижний уровень (-)	0,2	5,0	30,0
Интервал варьирования	0,3	5,0	20,0

После реализации трехуровневого плана и обработки результатов проведен регрессионный анализ полученных зависимостей $Y_{6-8} = f(X_1; X_2; X_3)$.

Выполнив математическую обработку экспериментальных данных, были получены соответствующие математические модели оценки, характеризующие приготовление композиций с соответствующими ВСС, ПНС и η , с компонентом из растительного сырья. После отсеивания незначимых коэффициентов, функции будут иметь следующий вид: в кодированной форме – выражения (3.11)–(3.13), в раскодированной форме – выражения (3.14)–(3.16):

$$Y_6 = 97,89 + 1,41 \cdot X_1 + 2,45 \cdot X_2 + 2,88 \cdot X_3 + 1,0 \cdot X_1 \cdot X_3 - 9,41 \cdot X_1^2 - 6,08 \cdot X_2^2 - 4,62 \cdot X_3^2 \rightarrow opt, \quad (3.11)$$

$$Y_7 = 243,9 + 9,73 \cdot X_1 - 13,09 \cdot X_2 + 8,12 \cdot X_1 \cdot X_2 - 30,62 \cdot X_1 \cdot X_3 - 14,37 \cdot X_1 \cdot X_3 + 33,16 \cdot X_1^2 + 22,13 \cdot X_2^2 + 29,3 \cdot X_3^2 \rightarrow opt, \quad (3.12)$$

$$Y_8 = 2,47 + 0,07 \cdot X_1 - 0,33 \cdot X_2 - 0,22 \cdot X_3 - 0,16 \cdot X_2 \cdot X_3 + 1,08 \cdot X_1^2 + 0,79 \cdot X_2^2 + 0,57 \cdot X_3^2 \rightarrow opt, \quad (3.13)$$

$$ВСС = 7,83 + 104,25 \cdot \ell_{\text{ч}} + 5,4 \cdot v_{\text{и}} + 1,19 \cdot M_{\text{д}} + 0,17 \cdot \ell_{\text{ч}} \cdot M_{\text{д}} - 104,56 \cdot \ell_{\text{ч}}^2 - 0,24 \cdot v_{\text{и}}^2 - 0,01 \cdot M_{\text{д}}^2 \rightarrow opt, \quad (3.14)$$

$$ПНС = 443,82 - 134,95 \cdot \ell_{\text{ч}} - 15,84 \cdot v_{\text{и}} - 3,31 \cdot M_{\text{д}} + 5,42 \cdot \ell_{\text{ч}} \cdot v_{\text{и}} - 5,1 \cdot \ell_{\text{ч}} \cdot M_{\text{д}} - 0,14 \cdot v_{\text{и}} \cdot M_{\text{д}} + 368,43 \cdot \ell_{\text{ч}}^2 + 0,88 \cdot v_{\text{и}}^2 + 0,07 \cdot M_{\text{д}}^2 \rightarrow opt, \quad (3.15)$$

$$\eta = 12,47 - 11,69 \cdot \ell_{\text{ч}} - 0,64 \cdot v_{\text{и}} - 0,13 \cdot M_{\text{д}} - 0,002 \cdot v_{\text{и}} \cdot M_{\text{д}} + 12,02 \cdot \ell_{\text{ч}}^2 + 0,03 \cdot v_{\text{и}}^2 + 0,001 \cdot M_{\text{д}}^2 \rightarrow opt \quad (3.16)$$

Адекватность полученных математических моделей, в результате регрессионного анализа, с вероятностью $P=0,95$, при коэффициентах корреляции $R_6=0,969$, $R_7=0,954$ и $R_8=0,970$ соответствует неравенству $F_R > F_T$. Достоверность математических моделей оценивалась по уровню значимости критерия Фишера (равен не более 0,05): $p_6=0,01$, $p_7=0,03$ и $p_8=0,01$, что означает значимость полученных моделей. Коэффициент детерминации (R^2) характеризует степень точности описания моделью процесса. Так как он находится в пределах больших, чем 0,8–0,95, то можно утверждать о высокой точности аппроксимации (полученная математическая модель точно описывает процесс).

В таблице 3.11, приводятся области экстремальных значений рассматриваемых факторов X_1 , X_2 и X_3 , при которых $Y_{6-8} \rightarrow opt$.

На основе полученных данных построены графические зависимости в виде поверхностей и их сечений (рис. 3.32–3.40).

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы

Таблица 3.11 – Области экстремальных значений

Критерий	$X_1/\rho_{\text{ч}}$	$X_2/\nu_{\text{и}}$	$X_3/M_{\text{д}}$	Y_{3-5}
$Y_6 \rightarrow \text{opt}$	0,55/0,53	0,73/11,60	0,85/34,81	93,9/96,5
$Y_7 \rightarrow \text{opt}$	0/0,42	054/11,04	0,63/35,17	250,0/250,0
$Y_8 \rightarrow \text{opt}$	0/0,74	0,44/12,25	0,58/39,67	2,5/2,5

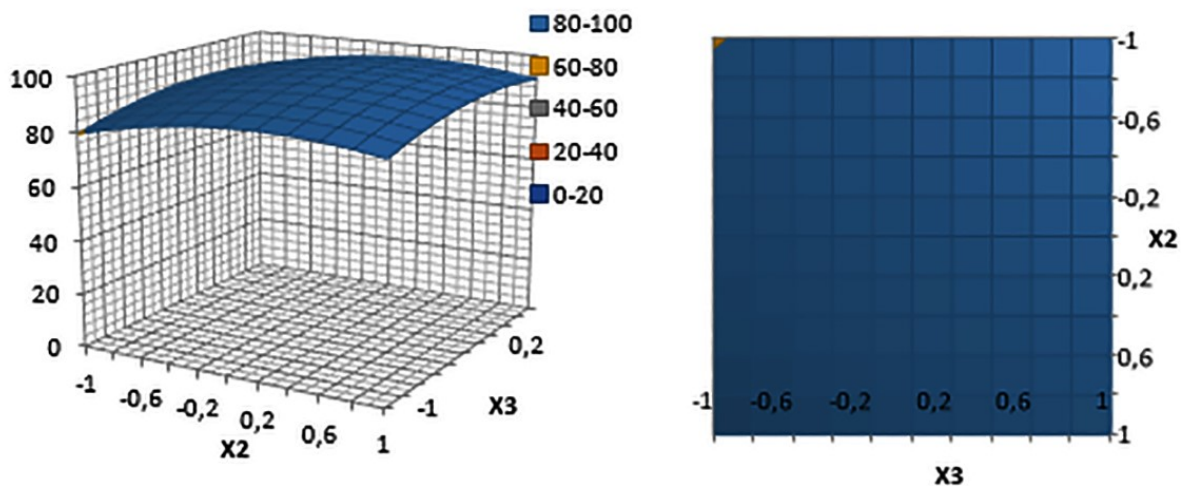


Рисунок 3.32 – Поверхность функции отклика $Y_6 = f(X_1 = 0,55; X_2; X_3) \rightarrow \text{opt}$ и ее сечения

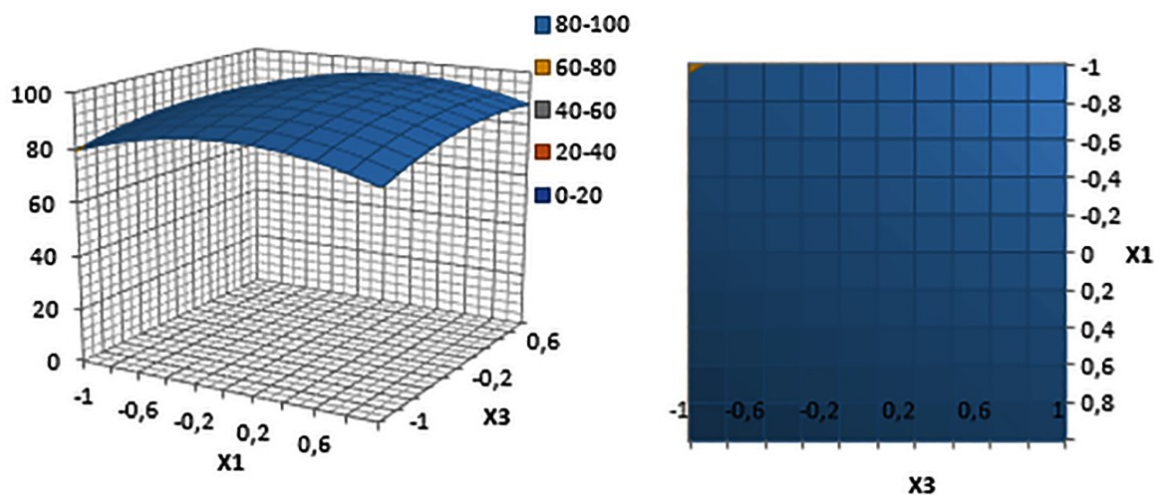


Рисунок 3.33 – Поверхность функции отклика $Y_6 = f(X_1; X_2 = 0,73; X_3) \rightarrow \text{opt}$ и ее сечения

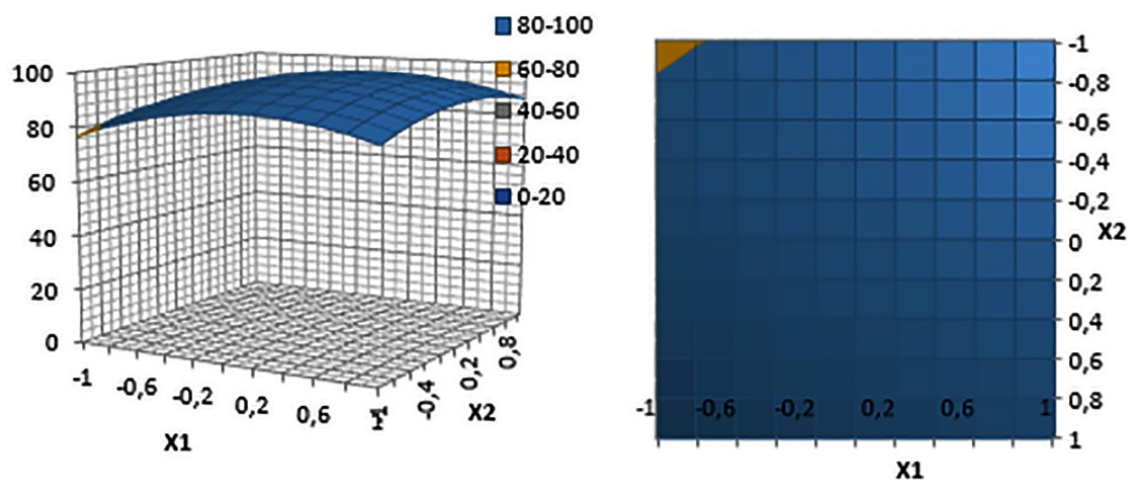


Рисунок 3.34 – Поверхность функции отклика $Y_6 = f(X_1; X_2; X_3 = 0,85) \rightarrow opt$ и ее сечения

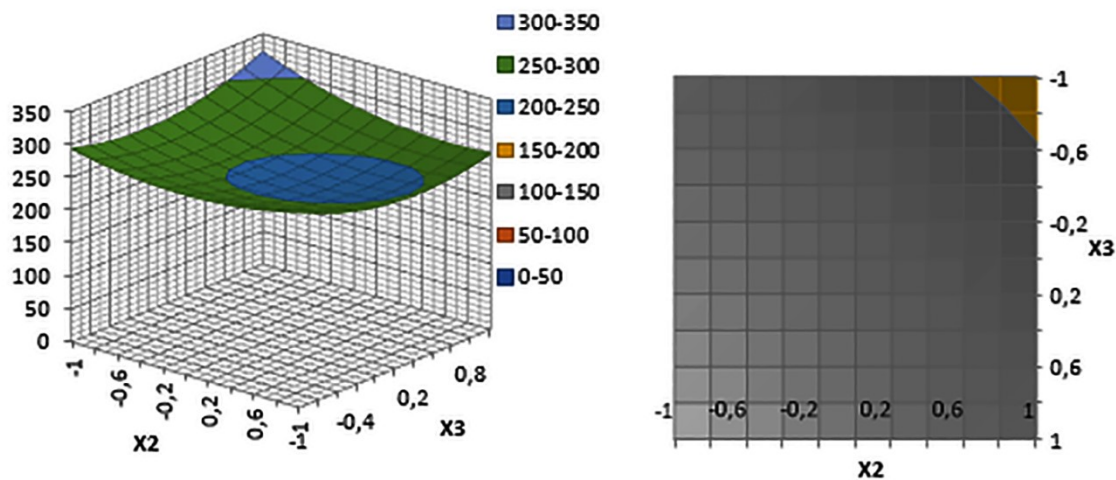


Рисунок 3.35 – Поверхность функции отклика $Y_7 = f(X_1 = 0; X_2; X_3) \rightarrow opt$ и ее сечения

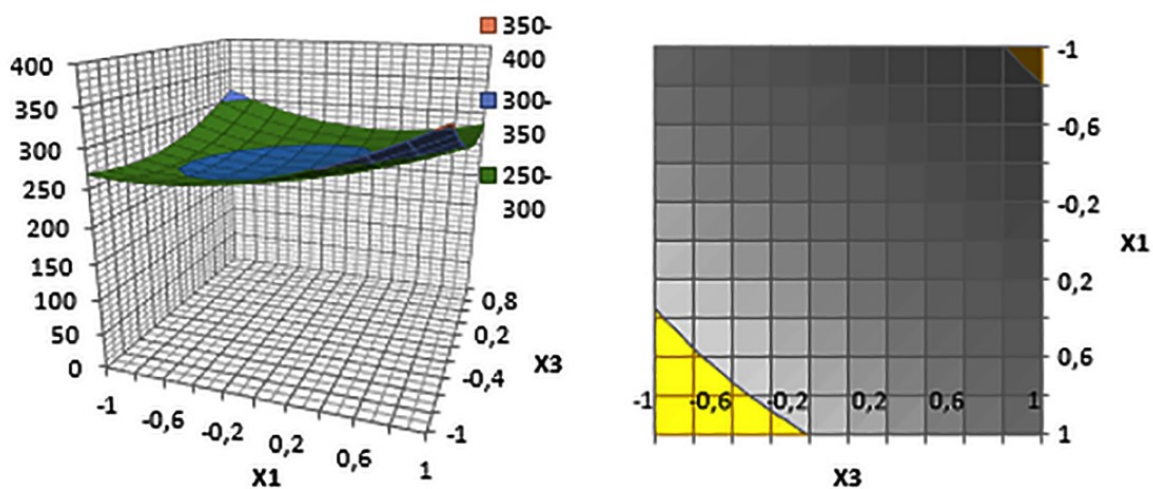


Рисунок 3.36 – Поверхность функции отклика $Y_7 = f(X_1; X_2 = 0,54; X_3) \rightarrow opt$ и ее сечения

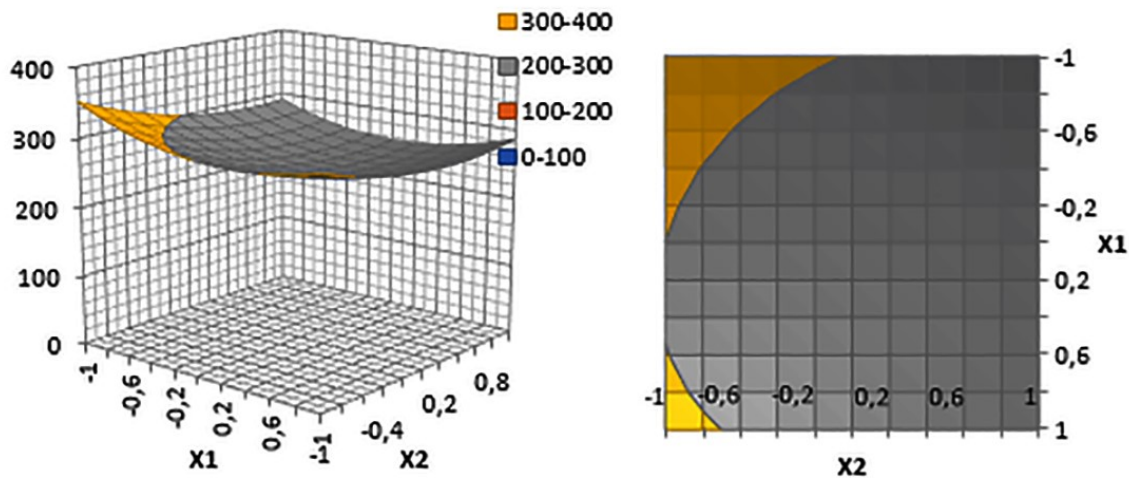


Рисунок 3.37 – Поверхность функции отклика $Y_7 = f(X_1; X_2; X_3 = 0,63) \rightarrow opt$ и ее сечения

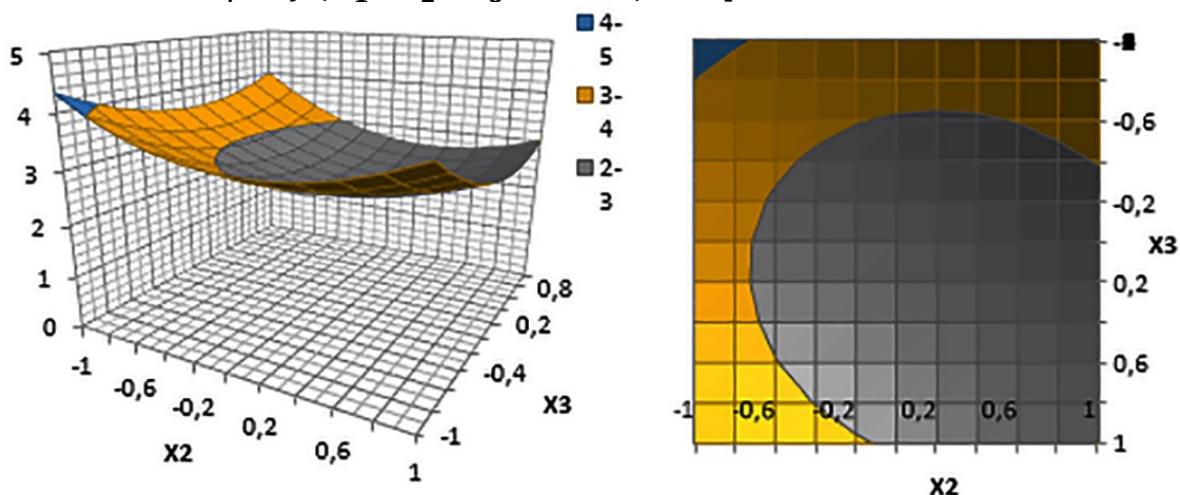


Рисунок 3.38 – Поверхность функции отклика $Y_8 = f(X_1 = 0; X_2; X_3) \rightarrow opt$ и ее сечения

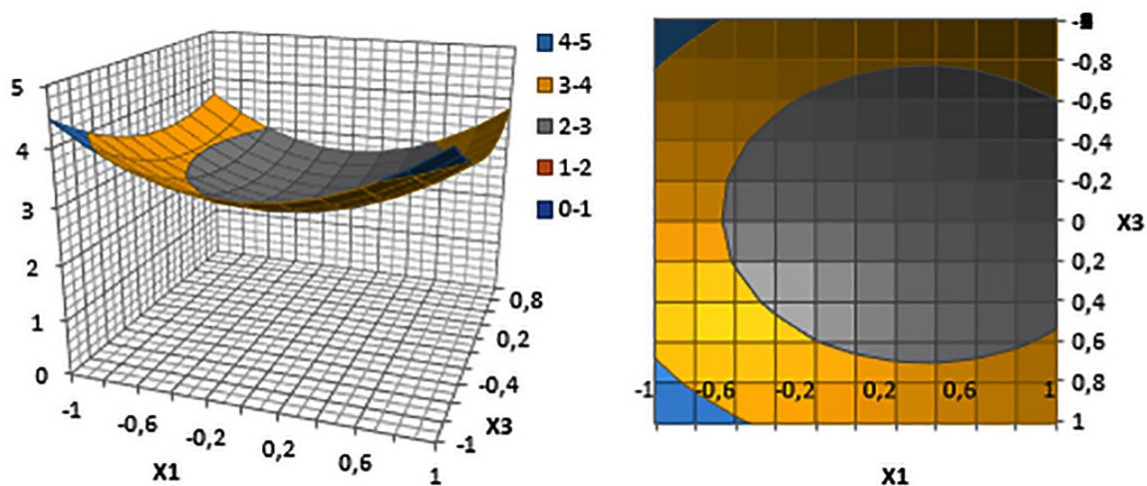


Рисунок 3.39 – Поверхность функции отклика $Y_8 = f(X_1; X_2 = 0,44; X_3) \rightarrow opt$ и ее сечения

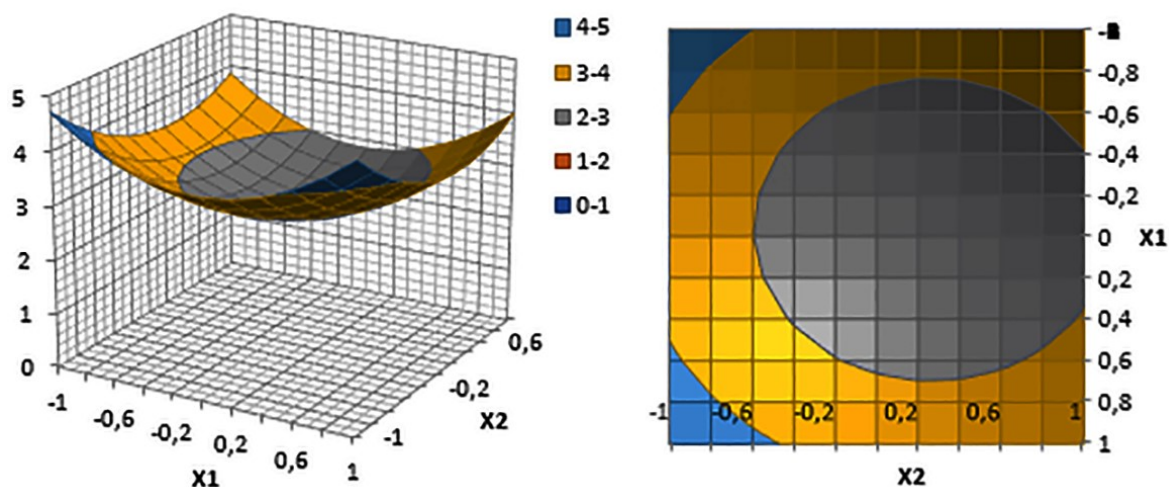


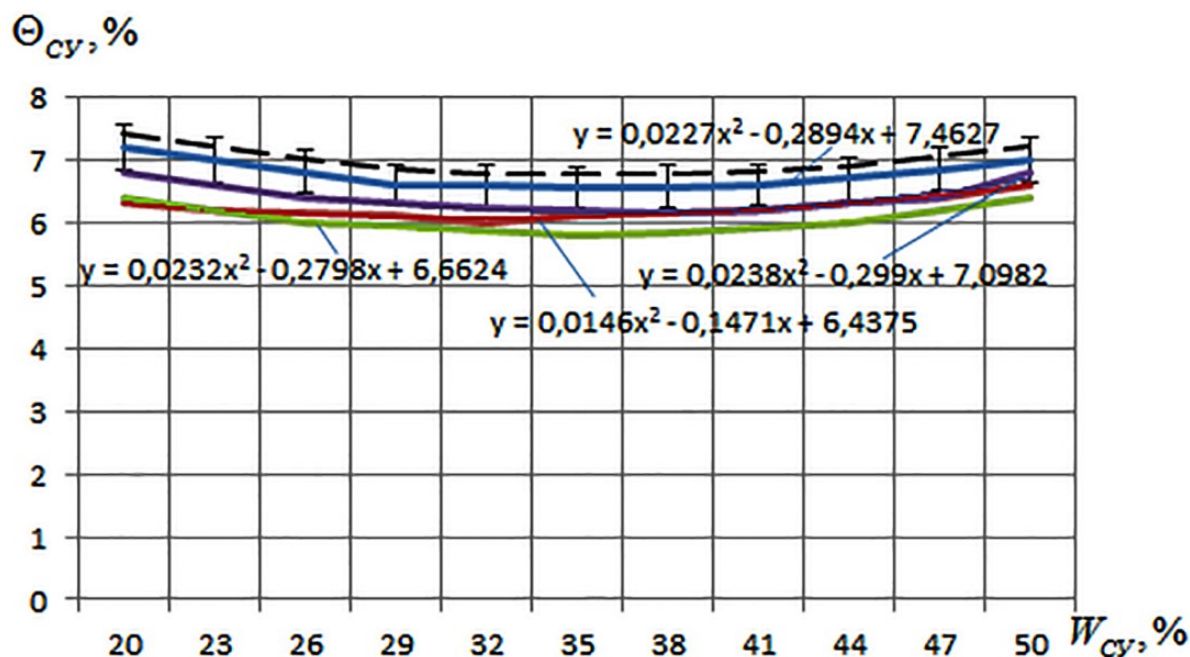
Рисунок 3.40 – Поверхность функции отклика $Y_8 = f(X_1; X_2; X_3 = 0,58) \rightarrow opt$ и ее сечения

3.5 Результаты исследований процессов одновременного смешивания и усреднения влаги в бинарных кормовых композициях

3.5.1 Зависимость неоднородности усреднения влаги бинарной композиции от массовых долей

Для подтверждения ранее полученных теоретических исследований (раздел 2.3.2) были проведены экспериментальные исследования по определению влияния влажности (W_{cy}) в продуктовой системе *необезжиренная соевая мука (НСМ) – мясо-костная паста* или *необезжиренная соевая мука – рыбо-костная паста* на неоднородность усреднения влаги в композициях (Θ_{cy}). Композиции получены с помощью предложенного шнекового смесителя-усреднителя (рис. 2.6).

Как показали исследования (рис. 3.41) с увеличением влажности (W_{cy}) от 20 до 50 % соево-патовой композиции неоднородность усреднения влаги изменяется в зависимости от массовой доли НСМ:



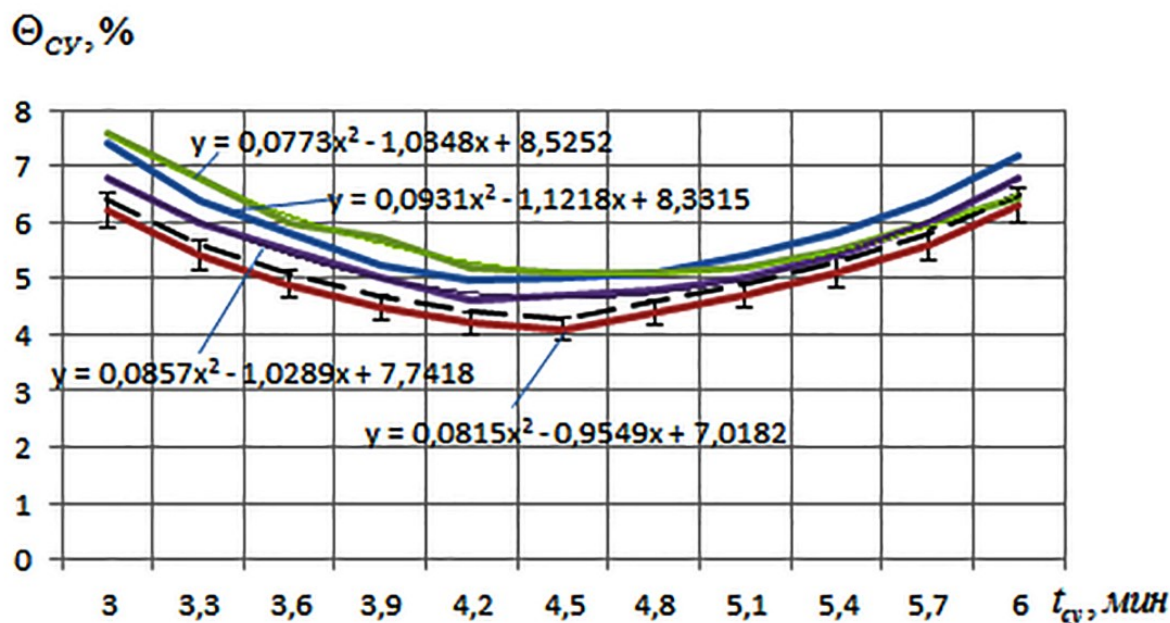
зеленый цвет – зависимость $\Theta_{су} = f(W_{су})$ при $M_d = 24,3\%$;
оранжевый цвет – зависимость $\Theta_{су} = f(W_{су})$ при $M_d = 25,7\%$;
красный цвет – зависимость $\Theta_{су} = f(W_{су})$ при $M_d = 28,1\%$;
синий цвет – зависимость $\Theta_{су} = f(W_{су})$ при $M_d = 50,1\%$;
черный цвет (пунктир) – теоретическая зависимость

Рисунок 3.41 – Зависимости неоднородности усреднения влаги от массовой доли и влажности получаемой соево-пастовой композиции

- 1) с 7,2 до 7 % – массовая доля 50,1%;
- 2) с 6,2 до 6,6 % – массовая доля 28,1 %;
- 3) с 6,8 до 6,9 % – массовая доля 25,7 %;
- 4) с 6,2 до 6,3 % – массовая доля 24,3 %.

Таким образом, на величину неоднородности усреднения влаги в соево-пастовой композиции наибольшее влияние оказывает массовая доля НСМ. Так, при уменьшении массовой доли обезжиренной соевой муки с 50,1 до 24,3 % неоднородность усреднения влаги уменьшилась на 14 %.

Анализ проведенных исследований показал, что неоднородность усреднения влаги в соево-пастовой композиции во многом зависит от массовой доли НСМ и времени смешивания (рис. 3.42).



зеленый цвет – при $M_d = 24,3\%$ зависимость $\Theta_{су} = f(t_{су})$;
оранжевый цвет – при $M_d = 25,7\%$ зависимость $\Theta_{су} = f(t_{су})$;
красный цвет – при $M_d = 28,1\%$ зависимость $\Theta_{су} = f(t_{су})$;
синий цвет – при $M_d = 50,1\%$ зависимость $\Theta_{су} = f(t_{су})$;
черный цвет (пунктир) – теоретическая зависимость

Рисунок 3.42 – Функциональные зависимости неоднородности усреднения влаги от массовой доли НСМ и времени смешивания в соево-патовой композиции

Так, с учетом ранее определенных массовых долей необезжиренной соевой муки наименьшая величина неоднородности усреднения влаги СПК (рис. 3.42) достигается при:

- 1) $M_d = 50,1\%$ от 3,9 до 4,8 минут;
- 2) $M_d = 28,1\%$ от 3,6 до 5,1 минут;
- 3) $M_d = 25,7\%$ от 3,9 до 5,1 минут;
- 4) $M_d = 24,3\%$ от 3,6 до 5,7 минут.

Проведенные исследования показали, что предложенный смеситель-усреднитель позволяет смешивать необезжиренную соевую муку и мясо-костную или рыбо-костную пасту с минимальной неоднородностью усреднения влаги.

В результате исследований установлено, что теоретические и экспериментальные исследования находятся в пределах доверительного интервала, и это говорит о достоверности исследований (рис. 3.41 и 3.42).

3.5.2 Определение влияния параметров процессов одновременного смешивания и усреднения влаги в бинарных кормовых композициях

В процессе исследований предусматривалось установить параметры усреднения влаги в результате перемещения кормовых компонентов в смесителе-усреднителе.

Выделены основные факторы, существенно влияющие на данный процесс:

X_1 (M_d) – массовая доля необезжиренной соевой муки;

X_2 (W_{cy}) – влажность получаемой соево-пастовой композиции;

X_3 (t_{cy}) – время смешивания и усреднения влаги в соево-пастовой композиции.

В качестве оценочного показателя принята неоднородность усреднения влаги в композициях:

$$\theta_{cyi} = \frac{\sigma_{cy}}{W_{cy}} \cdot 100\% \quad (3.17)$$

В результате поисковых опытов для процесса смешивания с одновременным усреднением влаги выявлены уровни варьирования указанных выше факторов (табл. 3.12).

На основании результатов 15 опытов и их математической обработки определены математические модели, которые характеризуют процесс смешивания с одновременным усреднением влаги в композициях. После отсеивания незначимых коэффициентов они имеют следующий вид: в кодированной форме – выражения (3.18)–(3.21), в раскодированной форме – выражения (3.22)–(3.25):

Таблица 3.12 – Уровни варьирования и значения факторов

Уровни факторов	Факторы и их значения		
	массовая доля НСМ, % (X ₁)	влажность композиции, % (X ₂)	время смешивания и усреднения влаги, мин (X ₃)
Верхний уровень (+)	80,0	50,0	6,0
Основной уровень (о)	45,0	35,0	4,5
Нижний уровень (-)	10,0	20,0	3,0
Интервал варьирования	35,0	15,0	1,5

$$Y_9 = 3,86 - 0,05 \cdot X_1 - 0,1 \cdot X_2 - 0,05 \cdot X_3 + 0,48 \cdot X_1^2 + 0,7 \cdot X_2^2 + 2,37 \cdot X_3^2 \rightarrow \min, \quad (3.18)$$

$$Y_{10} = 3,98 + 0,14 \cdot X_2 + 0,1 \cdot X_3 - 0,03 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,6 \cdot X_1^2 + 0,4 \cdot X_2^2 + 1,95 \cdot X_3^2 \rightarrow \min, \quad (3.19)$$

$$Y_{11} = 3,81 + 0,04 \cdot X_1 - 0,14 \cdot X_2 - 0,32 \cdot X_3 - 0,11 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,09 \cdot X_2 \cdot X_3 + 44 \cdot X_1^2 + 0,76 \cdot X_2^2 + 198 \cdot X_3^2 \rightarrow \min, \quad (3.20)$$

$$Y_{12} = 3,92 - 0,02 \cdot X_2 - 0,1 \cdot X_3 + 0,1 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,05 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,6 \cdot X_1^2 + 0,44 \cdot X_2^2 + 2,11 \cdot X_3^2 \rightarrow \min, \quad (3.21)$$

$$\theta_{cy9} = 30,59 - 0,04 \cdot M_d - 0,24 \cdot W_{cy} - 9,57 \cdot t_{cy} + 0,0004 \cdot M_d^2 + 0,003 \cdot W_{cy}^2 + 1,05 \cdot t_{cy}^2 \rightarrow \min, \quad (3.22)$$

$$\theta_{cy10} = 24,43 - 0,05 \cdot M_d - 0,12 \cdot W_{cy} - 7,82 \cdot t_{cy} + 0,0004 \cdot M_d^2 + 0,002 \cdot W_{cy}^2 + 0,87 \cdot t_{cy}^2 \rightarrow \min, \quad (3.23)$$

$$\theta_{cy11} = 27,99 - 0,02 \cdot M_d - 0,26 \cdot W_{cy} - 8,19 \cdot t_{cy} - 0,002 \cdot M_d \cdot t_{cy} + 0,004 \cdot W_{cy} \cdot t_{cy} + 0,0006 \cdot M_d^2 + 0,003 \cdot W_{cy}^2 + 0,88 \cdot t_{cy}^2 \rightarrow \min, \quad (3.24)$$

$$\theta_{cy12} = 26,49 - 0,04 \cdot M_d - 0,13 \cdot W_{cy} - 8,5 \cdot t_{cy} - 0,0002 \cdot M_d \cdot W_{cy} + 0,0005 \cdot M_d^2 + 0,02 \cdot W_{cy}^2 + 0,94 \cdot t_{cy}^2 \rightarrow \min \quad (3.25)$$

Адекватность полученных математических моделей в результате регрессионного анализа, с вероятностью $P=0,95$, при коэффициентах корреляции $R_9=0,973$, $R_{10}=0,997$, $R_{11}=0,987$ и $R_{12}=0,99$ соответствует неравенству $F_R > F_T$. Достоверность математических моделей оценивалась по уровню значимости критерия Фишера (не более 0,05): $p_9=0,01$, $p_{10}=0,001$, $p_{11}=0,001$ и $p_{12}=0,001$, что показывает значимость полученных моделей. Коэффициент детерминации (R^2) характеризует степень точности описания моделью процесса, так как он находится в пределах больших, чем 0,8–0,95, то можно утверждать о высокой точности аппроксимации (математическая модель точно описывает явление).

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы

В таблице 3.13 приводятся области экстремальных значений рассматриваемых факторов X_1 , X_2 и X_3 , при которых $Y_{9-12} \rightarrow opt$.

Таблица 3.13 – Области экстремальных значений

Критерий	X_1/M_d	X_2/W_{cy}	X_3/t_{cy}	Y_{9-12}/Θ_{cy9-12}
$Y_9 \rightarrow min$	0,82/50,0	0,74/40,0	0,15/4,46	4,5/3,0
$Y_{10} \rightarrow min$	0,24/28,1	0,36/31,92	0/4,47	4,1/4,1
$Y_{11} \rightarrow min$	0,78/24,31	0,61/40,27	0,15/4,6	4,3/3,7
$Y_{12} \rightarrow min$	0,59/25,68	0,72/35,45	0/4,5	4,3/4,3

На основе полученных данных построены графические зависимости в виде поверхностей и их сечений (рисунок 3.43–3.54).

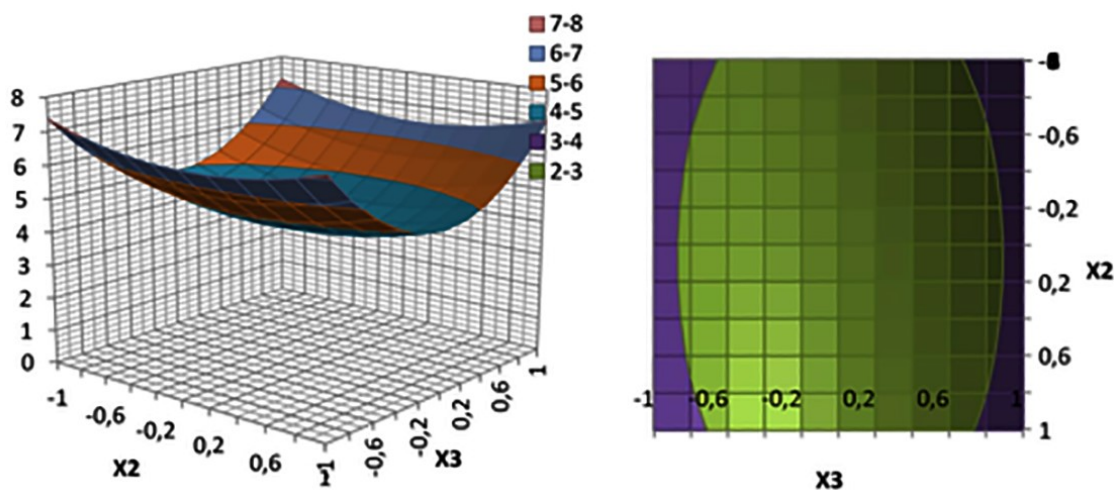


Рисунок 3.43 – Поверхность функции отклика $Y_9 = f(X_1 = 0,82; X_2; X_3) \rightarrow min$ и ее сечения

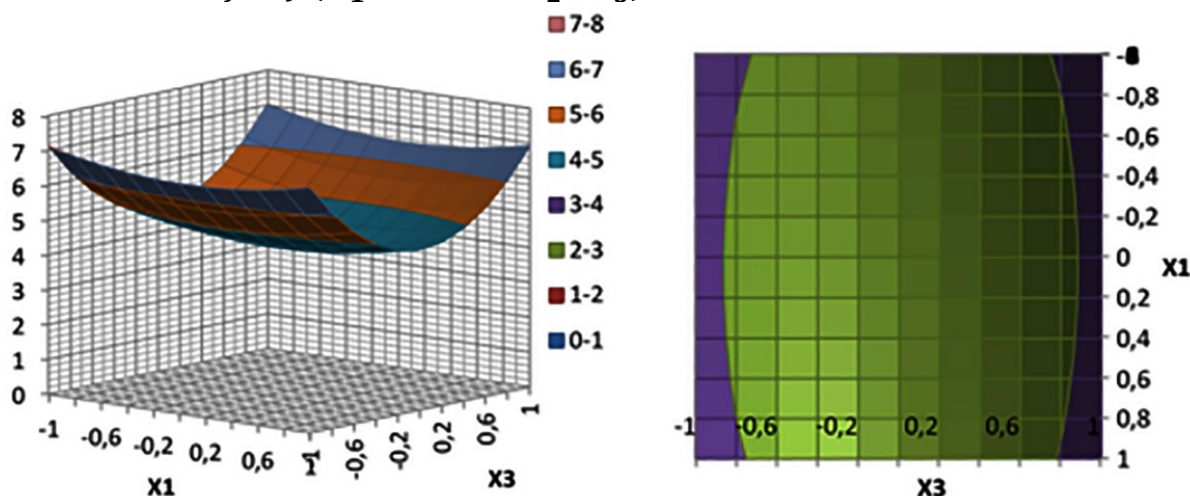


Рисунок 3.44 – Поверхность функции отклика $Y_9 = f(X_1; X_2 = 0,74; X_3) \rightarrow min$ и ее сечения

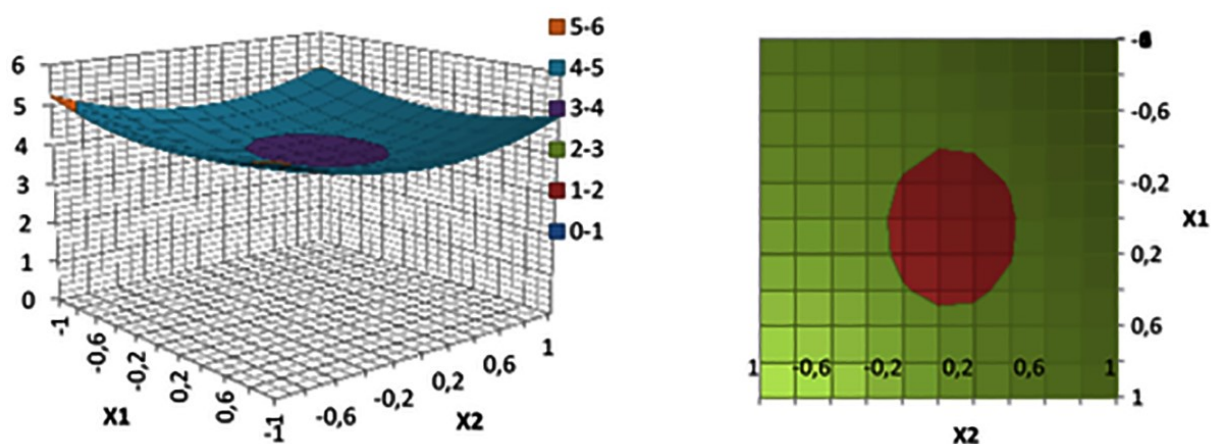


Рисунок 3.45 – Поверхность функции отклика $Y_9 = f(X_1; X_2; X_3 = 0,15) \rightarrow \min$ и ее сечения

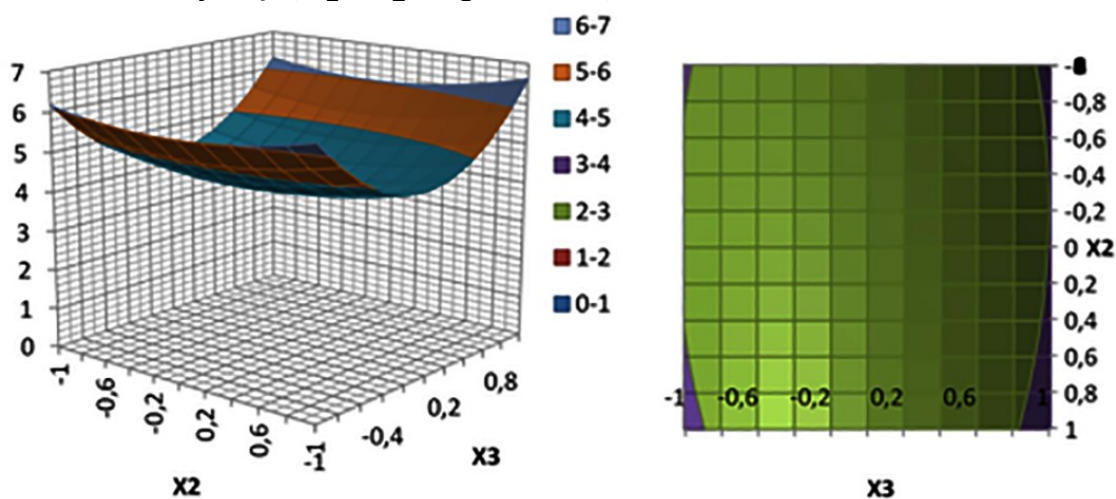


Рисунок 3.46 – Поверхность функции отклика $Y_{10} = f(X_1 = 0,24; X_2; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

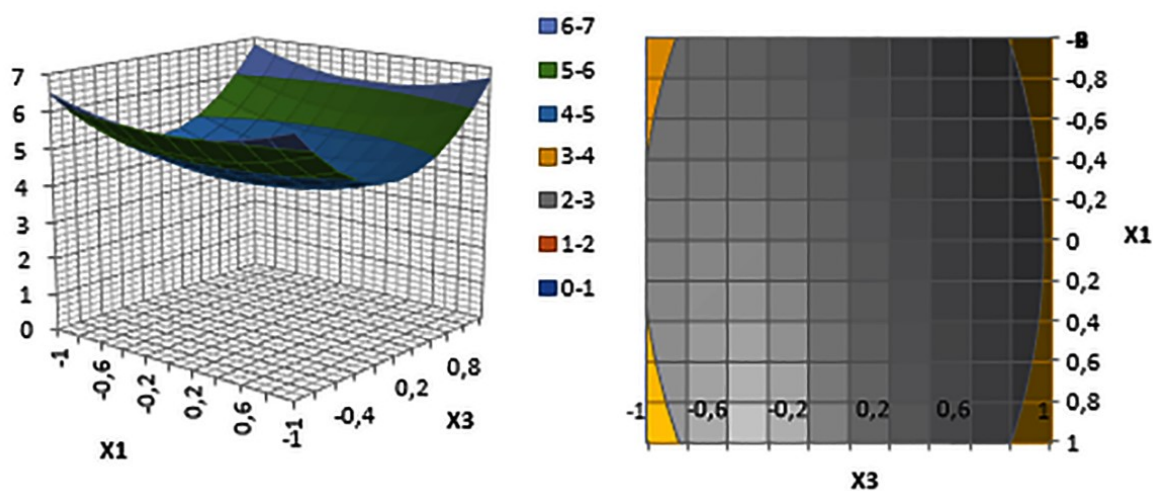


Рисунок 3.47 – Поверхность функции отклика $Y_{10} = f(X_1; X_2 = 0,36; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

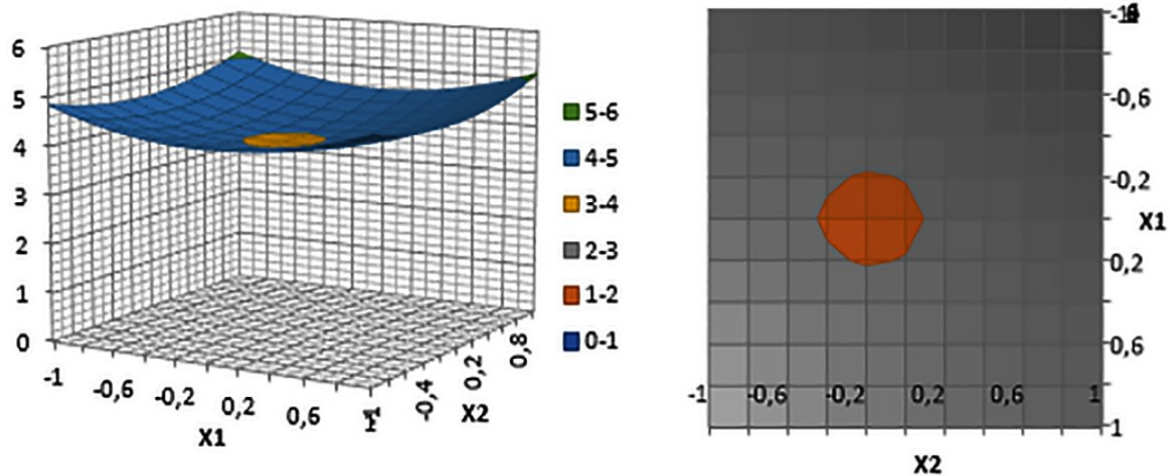


Рисунок 3.48 – Поверхность функции отклика $Y_{10} = f(X_1; X_2; X_3 = 0) \rightarrow \min$ и ее сечения

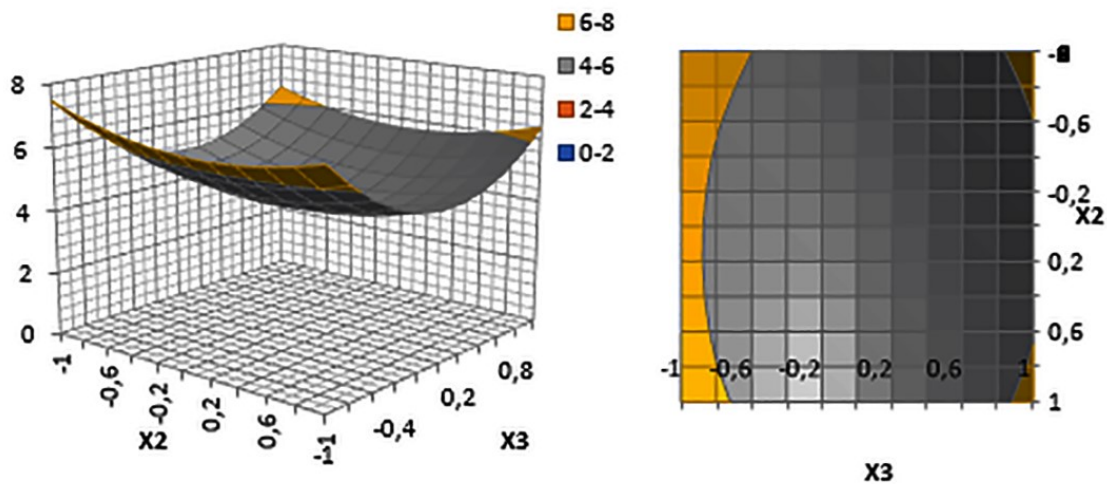


Рисунок 3.49 – Поверхность функции отклика $Y_{11} = f(X_1 = 0,78; X_2; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

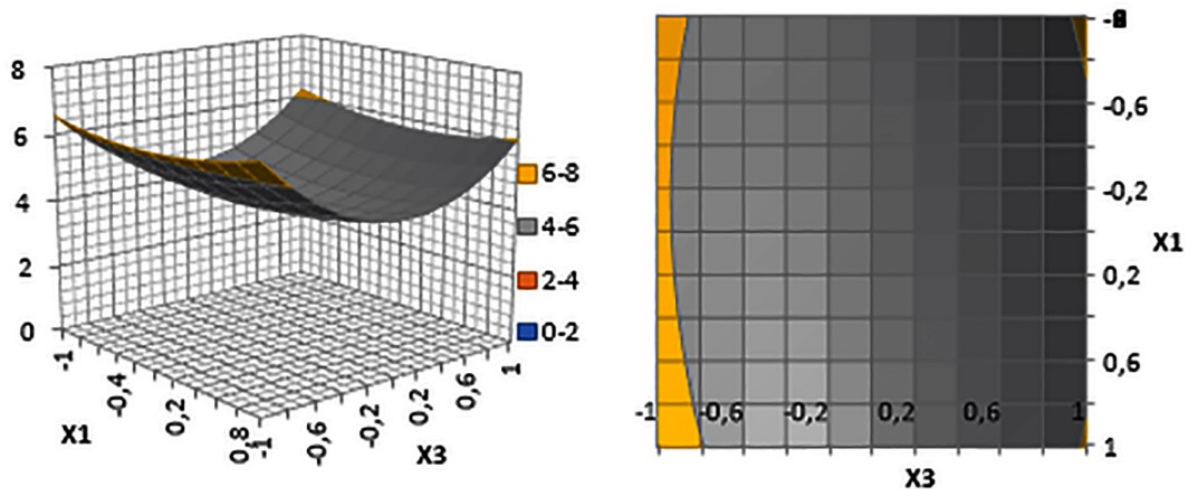


Рисунок 3.50 – Поверхность функции отклика $Y_{11} = f(X_1; X_2 = 0,61; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

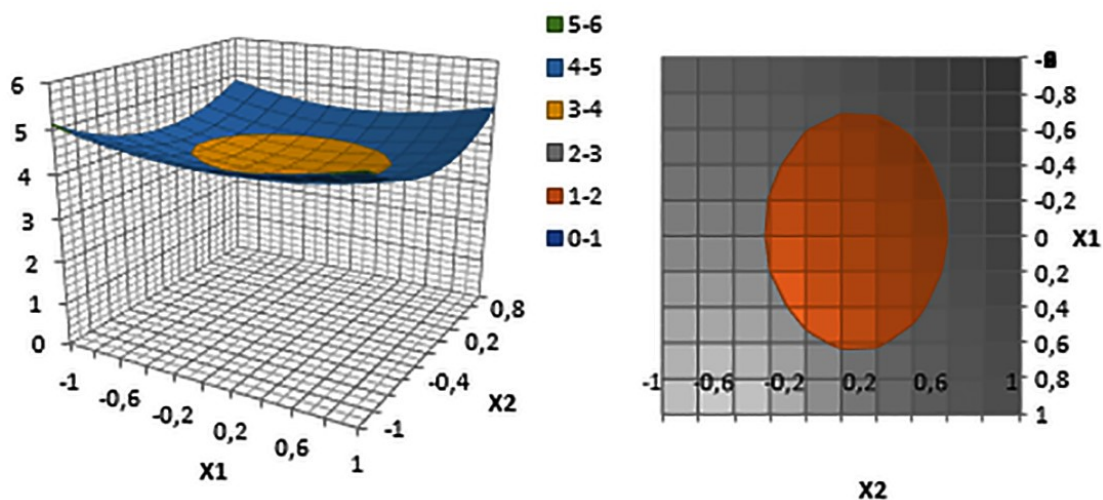


Рисунок 3.51 – Поверхность функции отклика $Y_{11} = f(X_1; X_2; X_3 = 0,15) \rightarrow \min$ и ее сечения

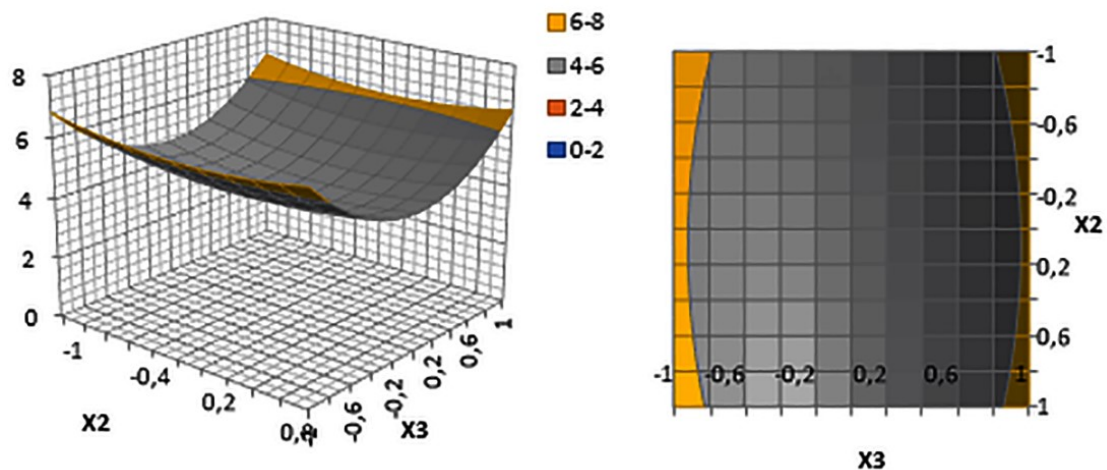


Рисунок 3.52 – Поверхность функции отклика $Y_{12} = f(X_1 = 0,59; X_2; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

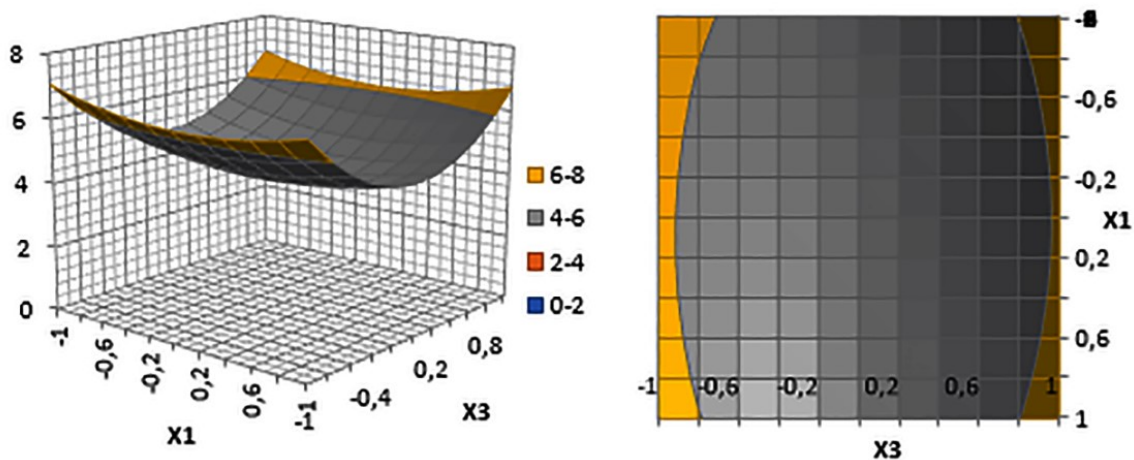


Рисунок 3.53 – Поверхность функции отклика $Y_{12} = f(X_1; X_2 = 0,72; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

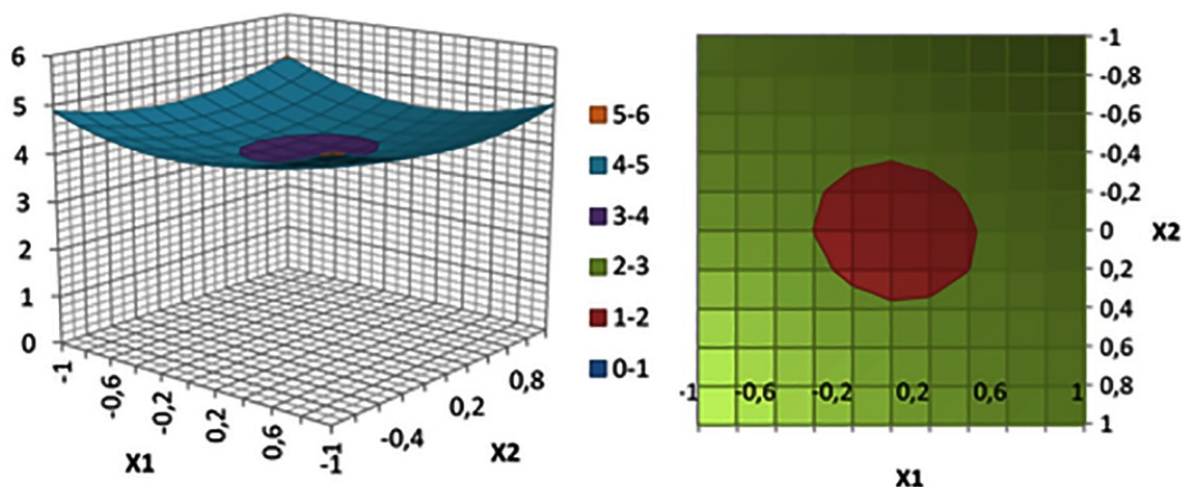


Рисунок 3.54 – Поверхность функции отклика $Y_{12} = f(X_1; X_2; X_3 = 0) \rightarrow \min$ и ее сечения

3.6 Результаты исследований процесса получения влажных гранул

3.6.1 Определение влияния конструктивно-технологических параметров винтового пресс-гранулятора на плотность влажных гранул

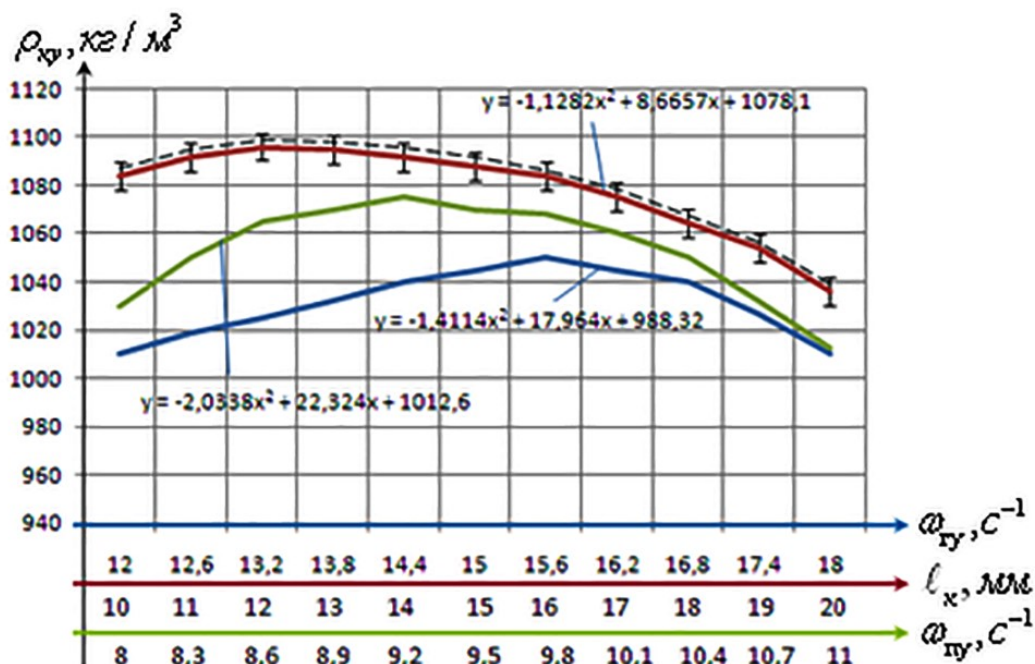
Для подтверждения ранее полученных теоретических исследований (раздел 2.3.6) были проведены экспериментальные исследования по определению влияния конструктивно-технологических параметров (угловая скорость винта прессующего узла ($\omega_{пу}$), угловая скорость винта гранулирующего узла ($\omega_{гу}$), длина канала формующей решетки матрицы гранулирующего узла (ℓ_k)) рассматриваемого шнекового пресс-гранулятора на плотность влажных гранул ($\rho_{ку}$) (рис. 3.55).

Анализ проведенных исследований (рис. 3.55) показал, что величина плотности влажных гранул во многом зависит от конструктивно-технологических параметров:

1) при изменении скорости вращения шнека прессующего узла ($\omega_{пу}$) с 8 до 11 с^{-1} величина плотности влажных гранул снижается с 1 030 до 1 010 $\text{кг}/\text{м}^3$;

2) при угловой скорости винта гранулирующего узла ($\omega_{гy}$) с 12 до 18 c^{-1} плотность влажных гранул составляет 1 010 $кг/м^3$;

3) при изменении длины канала формирующей решетки матрицы гранулирующего узла (l_k) от 10 до 20 мм плотность влажных гранул уменьшилась с 1 085 до 1 035 $кг/м^3$.



зеленый цвет – при $l_k = 13,2$ мм функция $\rho_{кy} = f(\omega_{пy})$;
 красный цвет – при $\omega_{гy} = 16,2 c^{-1}$ функция $\rho_{кy} = f(l_k)$;
 синий цвет – при $\omega_{пy} = 7,0 c^{-1}$ функция $\rho_{кy} = f(\omega_{гy})$;
 черный цвет (пунктир) – теоретическая зависимость

Рисунок 3.55 – Зависимость плотности влажных гранул от конструктивно-технологических параметров пресс-гранулирующего узла

Известно, что эффективность любого технологического процесса во многом определяется величиной энергоемкости, которая в конечном итоге влияет на стоимостные показатели. Для определения величины энергоемкости при получении влажных гранул были выполнены исследования (рис. 3.56).

В соответствии с ранее определенными конструктивно-технологическими параметрами минимальная величина энергоемкости процесса (рис. 3.56) гранулирования достигается при:

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы

- 1) изменении скорости винта прессующего узла от 8,9 до 10,1 с⁻¹;
- 2) изменении скорости винта гранулирующего узла от 12,6 до 16,8 с⁻¹;
- 3) изменении длины канала формирующей решетки матрицы гранулирующего узла от 13 до 20 мм.



зеленый цвет – при $\ell_k = 12,4$ мм функция $N_э = f(\omega_{пу})$;

красный цвет – при $\omega_{гу} = 16,1$ с⁻¹ функция $N_э = f(\ell_k)$;

синий цвет – при $\omega_{пу} = 9,6$ с⁻¹ функция $N_э = f(\omega_{гу})$

Рисунок 3.56 – Экспериментальные зависимости величины энергоёмкости при получении влажных гранул от конструктивно-технологических параметров пресс-гранулирующего узла

Проведенные исследования показали, что предложенный пресс-гранулятор позволяет получить влажные гранулы бинарных композиций с минимальной энергоёмкостью при определенных конструктивно-технологических параметрах.

В результате установлено, что теоретические и экспериментальные исследования находятся в пределах доверительного интервала, что говорит о достоверности проведенных исследований.

3.6.2 Определение влияния конструктивно-технологических параметров на физико-механические свойства пасты

В ходе экспериментальных исследований были определены основные факторы, существенно влияющие на процесс производства влажных гранул в пресс-грануляторе, а также на величину энергоемкости. С данной целью также проведено априорное ранжирование факторов, в результате которого определены следующие:

$X_1 (\omega_{пу})$ – скорость вращения винта прессующего узла;

$X_2 (\omega_{гу})$ – угловая скорость винта гранулирующего узла;

$X_3 (\ell_k)$ – величина длины канала формирующей решетки матрицы гранулирующего узла.

Для оценки процесса получения влажных гранул приняты следующие критерии оптимизации:

$Y_{13} (\rho_{ку})$ – плотность влажных гранул;

$Y_{14} (N_э)$ – энергоемкость процесса производства влажных гранул.

В ходе проведения поисковых опытов для оценки процесса получения влажных гранул были определены уровни варьирования указанных факторов. Факторы процесса и уровни их варьирования представлены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Факторы и уровни их варьирования для изучения процесса получения влажных гранул

Уровни и интервал	Угловая скорость винта прессующего узла, $X_1/\omega_{пу}, c^{-1}$	Угловая скорость винта гранулирующего узла, $X_2/\omega_{гу}, c^{-1}$	Длина канала решетки, $X_3/\ell_k, мм$
Верхний уровень (+)	11,0	18,0	20,0
Основной уровень (о)	9,5	15,0	15,0
Нижний уровень (-)	8,0	12,0	10,0
Интервал варьирования	1,5	3,0	5,0

После выполнения эксперимента по разработанной матрице планирования и определения данных была проведена математическая обработка.

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы

Выполнив обработку экспериментальных данных, были получены математические модели оценки, которые характеризуют процесс получения влажных гранул. После отсеивания незначимых коэффициентов они имеют следующий вид: в кодированной форме – выражения (3.26)–(3.27), в раскодированной форме – выражения (3.28)–(3.29):

$$Y_{13} = 1094,24 + 3,84 \cdot X_1 + 21,85 \cdot X_2 - 16,25 \cdot X_1 \cdot X_2 - 11,25 \cdot X_1 \cdot X_3 - 11,25 \cdot X_2 \cdot X_3 - 42,09 \cdot X_1^2 - 58,86 \cdot X_2^2 - 27,84 \cdot X_3^2 \rightarrow \max, \quad (3.26)$$

$$Y_{14} = 0,02 + 0,002 \cdot X_1 + 0,003 \cdot X_2 - 0,002 \cdot X_3 - 0,001 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,001 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_1^2 + 0,01 \cdot X_2^2 + 0,002 \cdot X_3^2 \rightarrow \min, \quad (3.27)$$

$$\rho_{\text{кы}} = -3342,1 + 343,63 \cdot \omega_{\text{пу}} + 249,06 \cdot \omega_{\text{гy}} + 58,6 \cdot \ell_{\text{к}} - 3,6 \cdot \omega_{\text{пу}} \cdot \omega_{\text{гy}} - 1,5 \cdot \omega_{\text{пу}} \cdot \ell_{\text{к}} - 0,75 \cdot \omega_{\text{гy}} \cdot \ell_{\text{к}} - 18,71 \cdot \omega_{\text{пу}}^2 - 6,54 \cdot \omega_{\text{гy}}^2 - 1,11 \cdot \ell_{\text{к}}^2 \rightarrow \max, \quad (3.28)$$

$$N_3 = 0,66 - 0,08 \cdot \omega_{\text{пу}} - 0,03 \cdot \omega_{\text{гy}} - 0,0002 \cdot \omega_{\text{пу}} \cdot \omega_{\text{гy}} - 0,0002 \cdot \omega_{\text{пу}} \cdot \ell_{\text{к}} + 0,005 \cdot \omega_{\text{пу}}^2 + 0,001 \cdot \omega_{\text{гy}}^2 \rightarrow \min \quad (3.29)$$

Адекватность полученных математических моделей, в результате регрессионного анализа, с вероятностью $P=0,95$, при коэффициентах корреляции $R_{13}=0,981$ и $R_{14}=0,972$ соответствует неравенству $F_R > F_T$. Достоверность математических моделей оценивалось по уровню значимости критерия Фишера (равен не более 0,05), то есть $p_{13}=0,004$ и $p_{14}=0,01$. Это означает, что полученные модели значимы. Коэффициент детерминации (R^2) характеризует степень точности описания моделью процесса. Так как он находится в пределах больших, чем 0,8–0,95, то можно утверждать о высокой точности аппроксимации (математическая модель точно описывает процесс).

В таблице 3.15 приводятся области экстремальных значений рассматриваемых факторов X_1 , X_2 и X_3 , при которых $Y_{13-14} \rightarrow \text{opt}$.

На основании полученных данных построены графические зависимости в виде поверхностей, а также их сечений (рис. 3.57–3.62).

Таблица 3.15 – Области экстремальных значений

Критерий	$X_1/\omega_{пу}$	$X_2/\omega_{гу}$	X_3/ℓ_k	Y_{13-14}
$Y_{13} \rightarrow \max$	0,44/6,97	0,37/16,19	0,59/13,21	0,34/1070,0
$Y_{14} \rightarrow \min$	0/9,6	0/16,14	0,5/12,39	0,01/0,017

На пятом этапе экспериментальных исследований устанавливалась зависимость плотности влажных гранул $\rho_{ку}$ от давления $P_{уП}$ в компрессионной камере питателя гранулятора $\rho_{ку} = f(P_{уП}) \rightarrow \max$.

Данная зависимость аппроксимирована выражением следующего вида: $y = a + b \cdot x$, где a, b – эмпирические коэффициенты.

После обработки, полученных данным методом наименьших квадратов [45], получена эмпирическая формула (3.30):

$$\rho_{ку} = 845 + 250 \cdot P_{уП} \quad (3.30)$$

где коэффициенты равны $a = 845$ и $b = 250$.

Решение уравнения (3.30) относительно параметра давления дает зависимость следующего вида: $P_{уП} = 0,004 \cdot \rho_{ку} - 3,38$.

Зависимость плотности влажных гранул от давления $P_{уП}$ в камере компрессионного узла пресс-гранулятора приведена на рисунке 3.63.

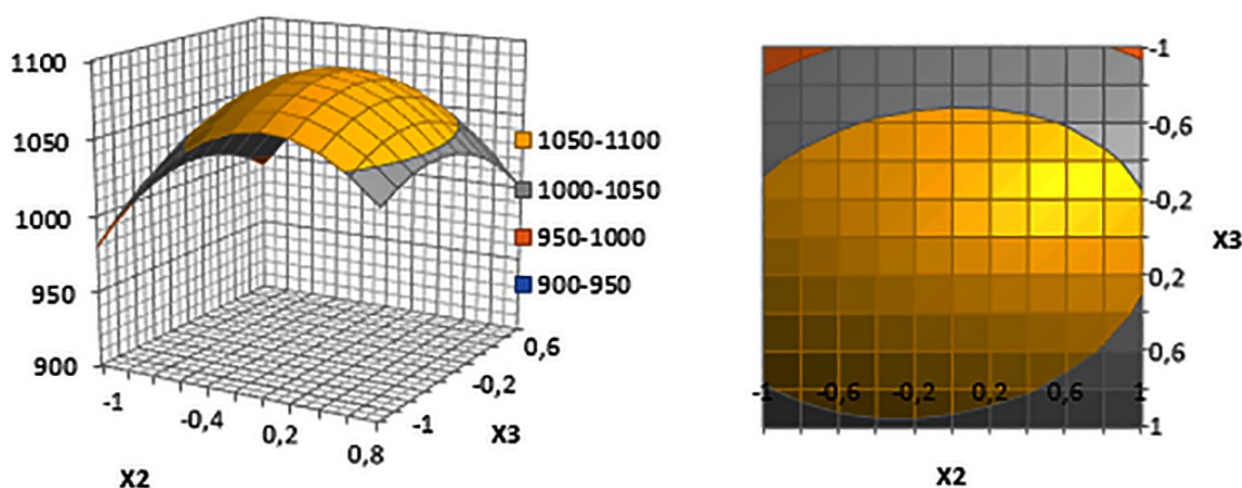


Рисунок 3.57 – Поверхность отклика $Y_{13} = f(X_1 = 0,44; X_2; X_3) \rightarrow opt$ и ее сечения

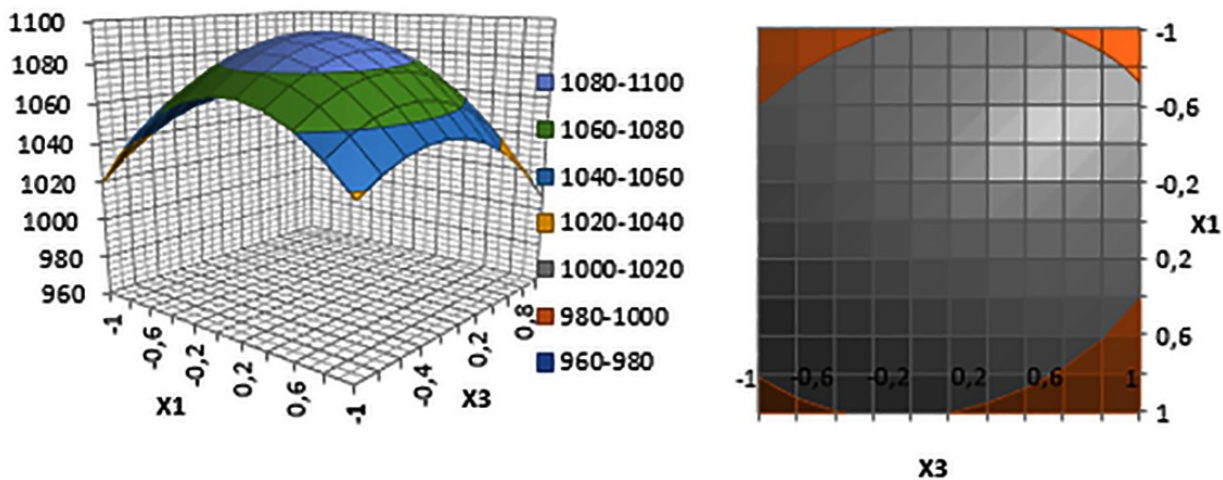


Рисунок 3.58 – Поверхность отклика
 $Y_{13} = f(X_1; X_2 = 0,37; X_3) \rightarrow opt$ и ее сечения

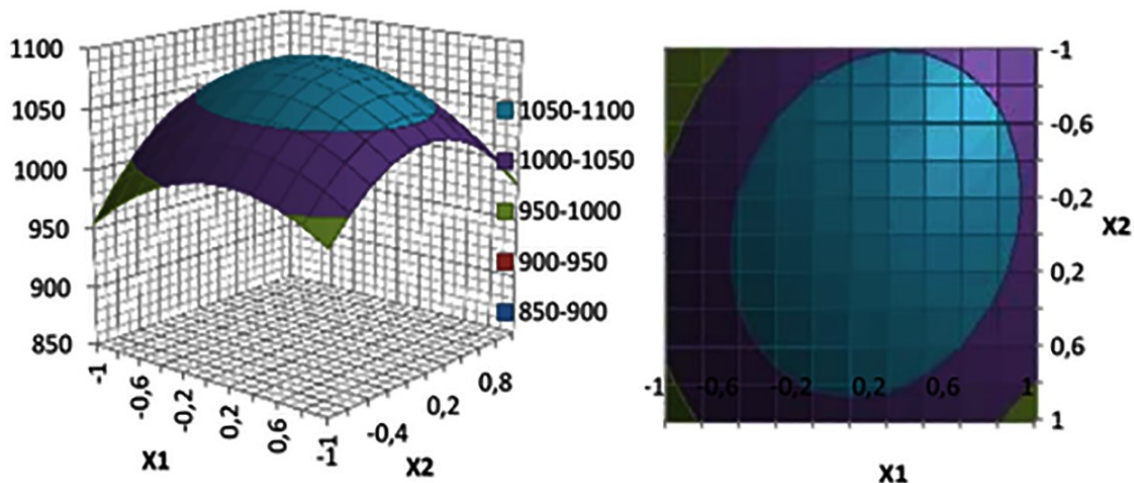


Рисунок 3.59 – Поверхность отклика
 $Y_{13} = f(X_1; X_2; X_3 = 0,59) \rightarrow opt$ и ее сечения

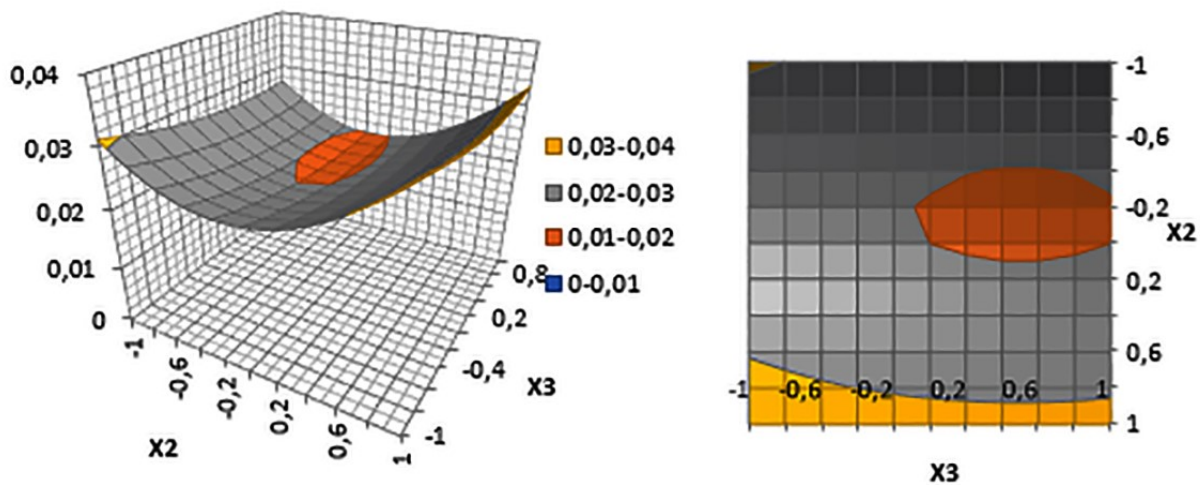


Рисунок 3.60 – Поверхность отклика
 $Y_{14} = f(X_1 = 0; X_2; X_3) \rightarrow opt$ и ее сечения

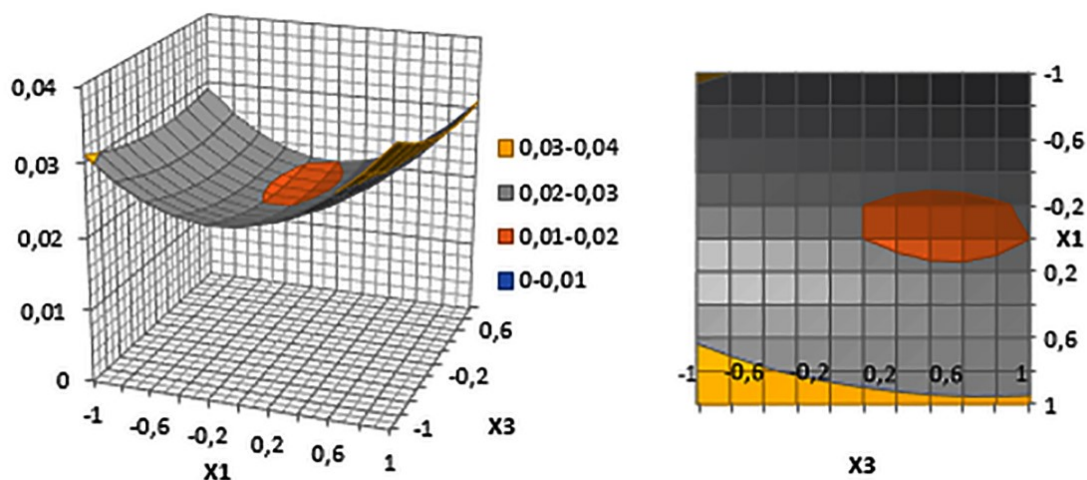


Рисунок 3.61 – Поверхность отклика $Y_{14} = f(X_1; X_2 = 0; X_3) \rightarrow opt$ и ее сечения

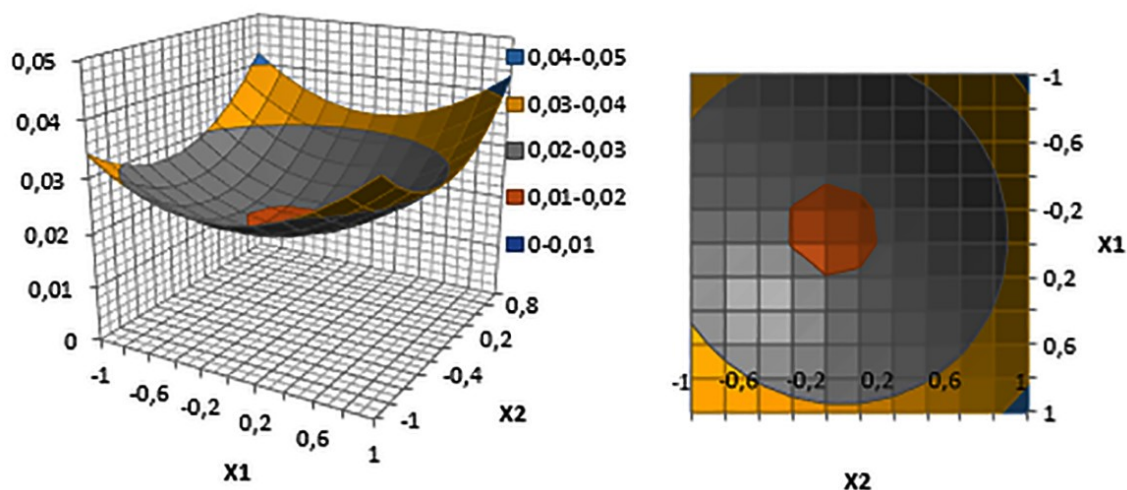


Рисунок 3.62 – Поверхность отклика $Y_{14} = f(X_1; X_2; X_3 = 0,5) \rightarrow opt$ и ее сечения

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что с увеличением давления в камере компрессионного узла пресс-гранулятора плотность влажных гранул возрастает. Так, с увеличением давления с 0,135 до 1,1 МПа плотность влажных гранул возросла с 900 до 1 100 кг/м³ или на 22 %.

Сравнивая между собой теоретические и экспериментальные данные (рис. 3.64), необходимо отметить, что они находятся в пределах доверительного интервала, что говорит о достоверности исследований.

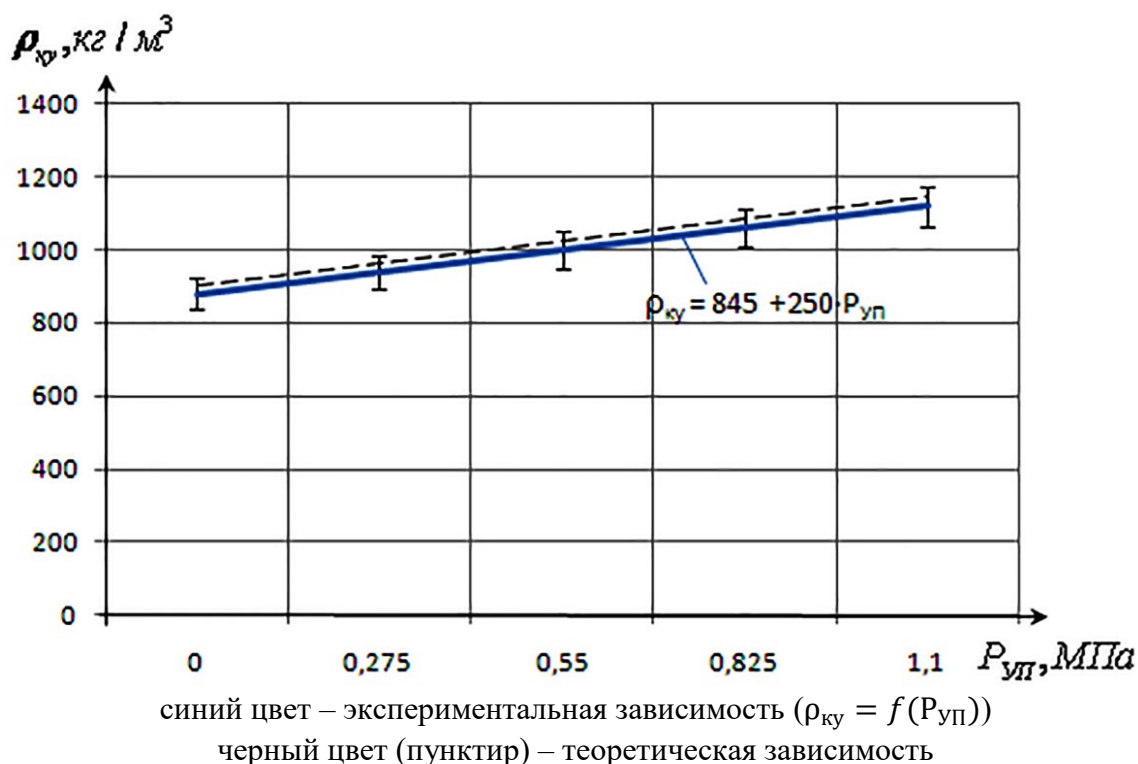


Рисунок 3.63 – Зависимость плотности влажных гранул от давления $P_{уп}$ в камере компрессионного узла пресс-гранулятора

3.7 Результаты исследования процесса сушки влажных гранул

3.7.1 Влияние параметров сушки влажных гранул на крошимость и энергоёмкость процесса сушки

Для подтверждения ранее полученных теоретических исследований (раздел 2.3.7) были проведены экспериментальные исследования по определению влияния параметров процесса сушки влажных гранул (массовая доля соевого компонента (M_d), температура сушки (t_c^0), исходная влажность гранул ($W_{кв}$)) на крошимость высушенных гранул (рис. 3.64). Сушка влажных гранул проводилась с применением лотковой сушилки камерного типа ЭСПИС-4 «Универсал».

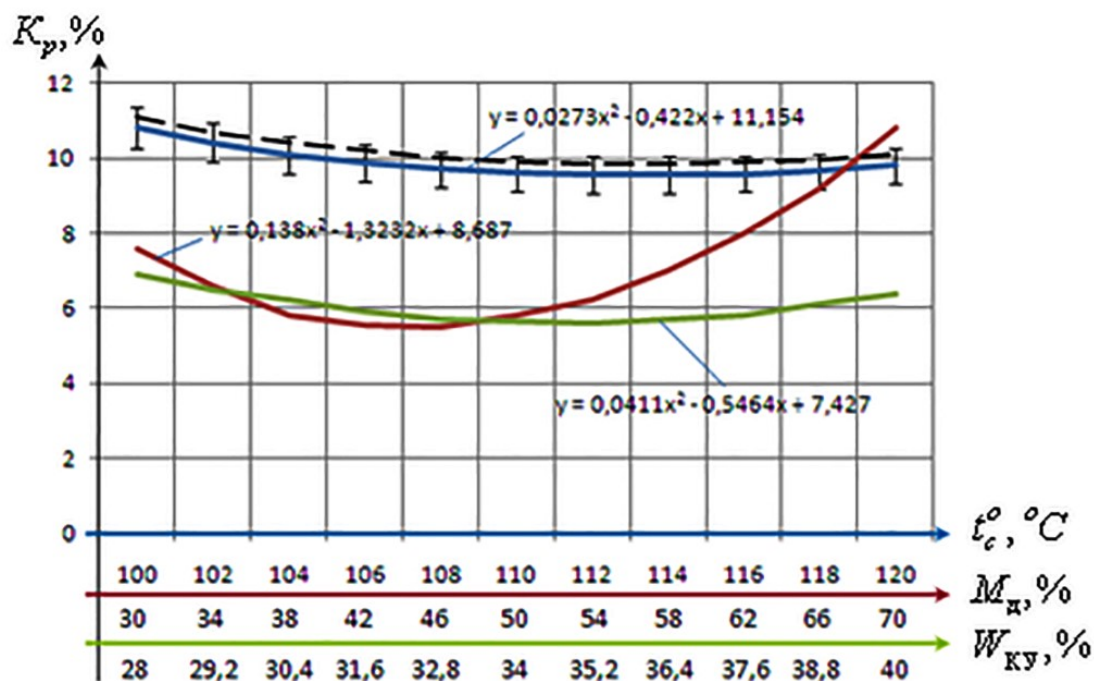
Анализ проведенных исследований показал, что крошимость высушенных гранул во многом зависит от рассматриваемых параметров процесса

сушки (рис. 3.64):

1) при температуре сушки 95,6 °С и исходной массовой доли НСМ от 30 до 70 %, крошимость сушеных гранул повышается с 7,8 до 11 %;

2) при массовой доле НСМ 51,4 % и исходной влажности полученных гранул от 28 до 40 %, крошимость высушенных гранул уменьшается с 7,0 до 6,2 %;

3) при первоначальной влажности гранул 40,6 % и повышении температуры от 100 до 120 °С, крошимость высушенных гранул снижается с 11 до 9,9 %.



зеленый цвет – при $M_d = 51,4\%$ функция $K_p = f(W_{ку})$;

красный цвет – при $t_c^0 = 95,6^\circ\text{C}$ функция $K_p = f(M_d)$;

синий цвет – при $W_{ку} = 40,6\%$ функция $K_p = f(t_c)$;

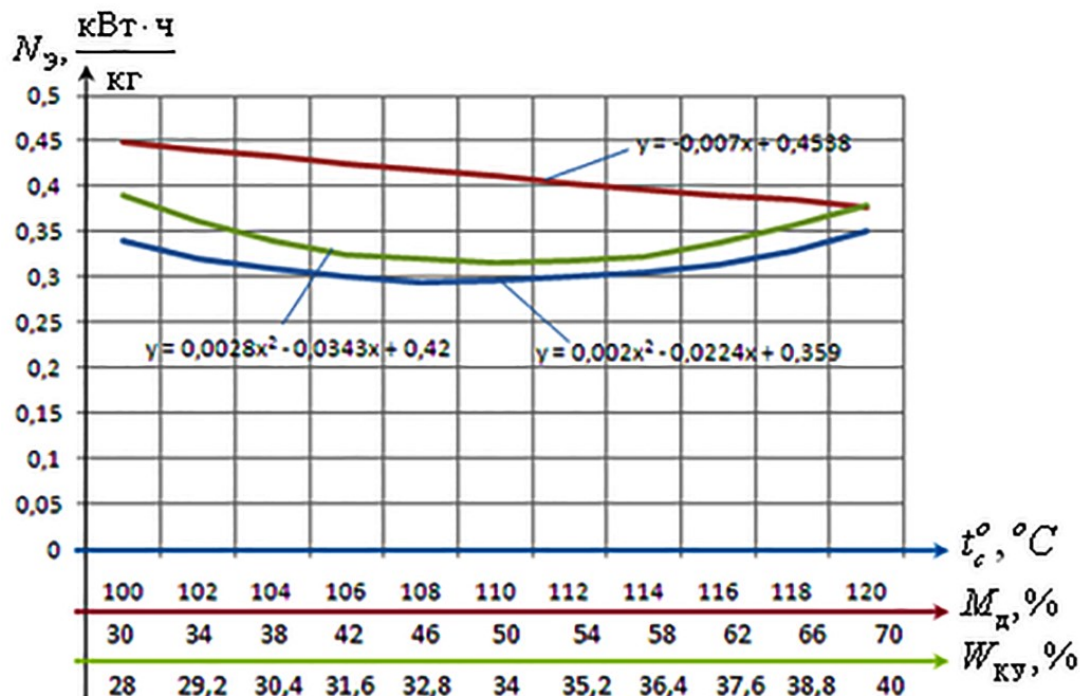
черный цвет (пунктир) – теоретическая зависимость

Рисунок 3.64 – Зависимость крошимости высушенных гранул от рассматриваемых параметров процесса сушки

Таким образом, можно сделать вывод, что на крошимость высушенных гранул большое воздействие оказывает исходная влажность гранул, температура сушки, а также массовая доля необезжиренной соевой муки.

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы

На эффективность прохождения процесса сушки полученных влажных гранул оказывает влияние энергоёмкость данного процесса (рис. 3.65).



зеленый цвет – при $M_d = 51,4\%$ функция $K_p = f(W_{кв})$;
 красный цвет – при $t_c = 95,6^\circ\text{C}$ функция $K_p = f(M_d)$;
 синий цвет – при $W_{кв} = 40,6\%$ функция $K_p = f(t_c)$

Рисунок 3.65 – Зависимость энергоёмкости процесса сушки влажных гранул от параметров процесса сушки

С учетом ранее определенных параметров процесса сушки наименьшая величина энергоёмкости процесса (рис. 3.66) достигается при:

- 1) изменении исходной влажности гранул от 30,4 до 37,6%;
- 2) изменении массовой доли необезжиренной соевой муки от 62 до 70 %;
- 3) изменении температуры сушильного агента от 106 до 112 °C.

Выполненные исследования по сушке гранул показали, что рассматриваемая лотковая сушилка ЭСПИС-4 «Универсал» камерного типа позволяет получить сушеные гранулы с наименьшими энергозатратами при обоснованных параметрах процесса сушки. Установлено, что теоретические и экспериментальные исследования находятся в пределах доверительного интервала, что говорит о достоверности исследований (рис. 3.64).

3.7.2 Определение влияния параметров процесса сушки на прочность гранул

На данном этапе исследований изучен процесс сушки влажного гранулята. С этой целью из всех факторов, оказывающих влияние на процесс сушки, были выделены те из них, которые оказывают наибольшее влияние. Целью исследований явилось установление функций, вид которых может быть записан следующим образом:

$$Y_{15} = f(X_1; X_2; X_3) \rightarrow \min$$

$$Y_{16} = f(X_1; X_2; X_3) \rightarrow \min$$

где Y_{15} (K_p) – крошимость сушеных гранул, %;

Y_{16} (N_3) – энергоемкость процесса сушки гранул, $\frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$;

X_1 ($W_{\text{кУ}}$) – первоначальная влажность полученных гранул, %;

X_2 (t_c^0) – температура процесса сушки, °С;

X_3 (M_d) – массовая доля необезжиренной соевой муки, %.

По результатам поисковых опытов с целью оценки процесса сушки влажных гранул определены уровни варьирования указанных факторов. Факторы процесса сушки и уровни их варьирования представлены в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Факторы и уровни варьирования для процесса сушки гранул

Уровни и интервал	Исходная влажность гранул, $X_1/W_{\text{кУ}}$, %	Температура сушки, X_2/t_c^0 , °С	Массовая доля соевого компонента, X_3/M_d , %
Верхний уровень (+)	40,0	120,0	70,0
Основной уровень (о)	34,0	110,0	50,0
Нижний уровень (-)	28,0	100,0	30,0
Интервал варьирования	6,0	10,0	20,0

После проведения эксперимента по разработанной матрице планирования и определения данных была выполнена их математическая обработка.

Таким образом, были получены математические модели, которые харак-

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы

теризуют процесс сушки влажных гранул, и после отсеивания незначимых коэффициентов имеют следующий вид: в кодированной форме – выражения (3.31)–(3.32), в раскодированной форме – выражения (3.33)–(3.34):

$$Y_{15} = 4,83 + 0,25 \cdot X_1 + 1,807 \cdot X_3 - 0,5 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,5 \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,07 \cdot X_1^2 + 0,74 \cdot X_2^2 + 3,6 \cdot X_3^2 \rightarrow \min, \quad (3.31)$$

$$Y_{16} = 0,3 - 0,01 \cdot X_1 - 0,04 \cdot X_3 + 0,005 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,005 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,07 \cdot X_1^2 + 0,05 \cdot X_2^2 + 0,0002 \cdot X_3^2 \rightarrow \min, \quad (3.32)$$

$$K_p = 111,7 - 0,86 \cdot W_{\text{КУ}} - 1,37 \cdot t_c^0 - 0,77 \cdot M_d - 0,008 \cdot W_{\text{КУ}} \cdot t_c^0 - 0,004 \cdot W_{\text{КУ}} \cdot M_d + 0,03 \cdot W_{\text{КУ}}^2 + 0,007 \cdot (t_c^0)^2 + 0,009 \cdot M_d^2 \rightarrow \min, \quad (3.33)$$

$$N_9 = 11,56 - 0,15 \cdot W_{\text{КУ}} - 0,12 \cdot t_c^0 - 0,07 \cdot M_d + 0,0001 \cdot W_{\text{КУ}} \cdot t_c^0 + 0,002 \cdot W_{\text{КУ}}^2 + 0,0005 \cdot (t_c^0)^2 + 0,0007 \cdot M_d^2 \rightarrow \min \quad (3.34)$$

Адекватность полученных математических моделей в результате регрессионного анализа, с вероятностью $P=0,95$, при коэффициентах корреляции $R_{15}=0,983$ и $R_{16}=0,995$ соответствует неравенству $F_R > F_T$. Достоверность математических моделей оценивалась по уровню значимости критерия Фишера (не более 0,05): $p_{15}=0,003$ и $p_{16}=0,0002$, следовательно полученные модели значимы. Коэффициент детерминации (R^2) характеризует степень точности описания моделью процесса. Так как он находится в пределах более чем 0,8–0,95, то можно утверждать о высокой точности аппроксимации (математическая модель точно описывает процесс).

В таблице 3.17 приводятся области экстремальных значений рассматриваемых факторов X_1 , X_2 и X_3 , при которых $Y_{15-16} \rightarrow \text{opt}$.

Таблица 3.17 – Области факторов экстремальных значений

Критерий	$X_1/W_{\text{КУ}}$	X_2/t_c^0	X_3/M_d	Y_{15-16}
$Y_{15} \rightarrow \min$	0/40,55	0/95,64	0/51,37	4,83/4,0
$Y_{16} \rightarrow \min$	0,76/34,62	0,8/110,0	1,06/58,89	0,33/0,3

На основе полученных данных построены графические зависимости в виде поверхностей и их сечений (рис. 3.66–3.71).

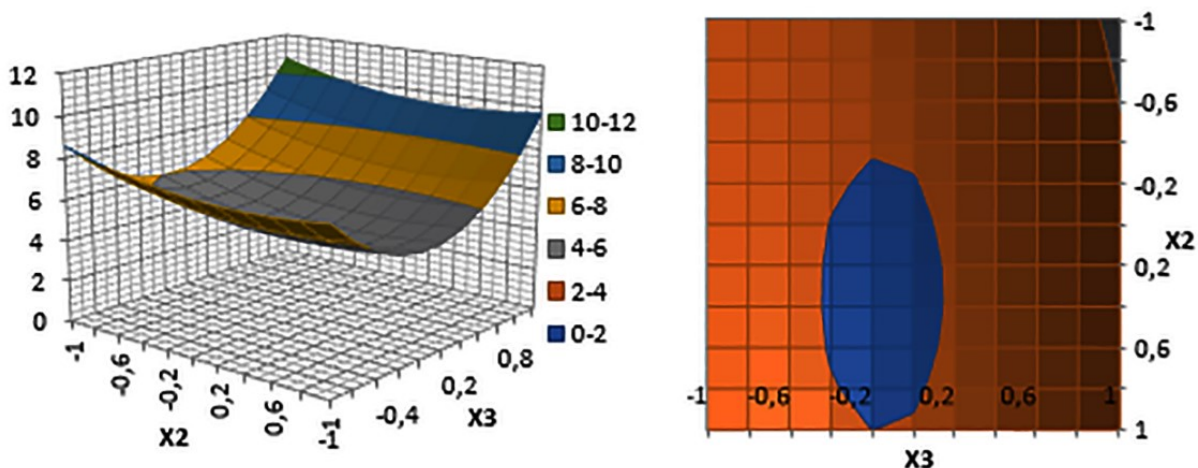


Рисунок 3.66 – Поверхность функции отклика $Y_{15} = f(X_1 = 0; X_2; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

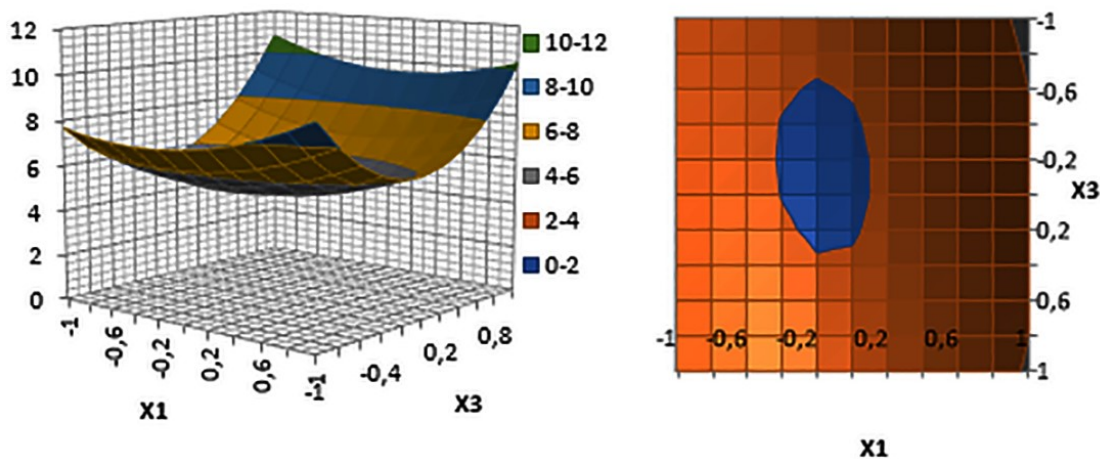


Рисунок 3.67 – Поверхность функции отклика $Y_{15} = f(X_1; X_2 = 0; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

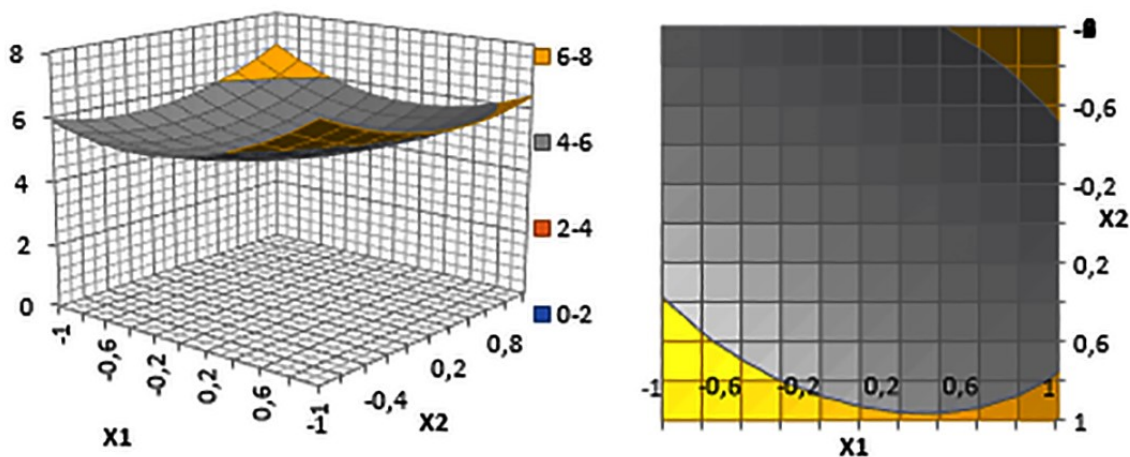


Рисунок 3.68 – Поверхность функции отклика $Y_{15} = f(X_1; X_2; X_3 = 0) \rightarrow \min$ и ее сечения

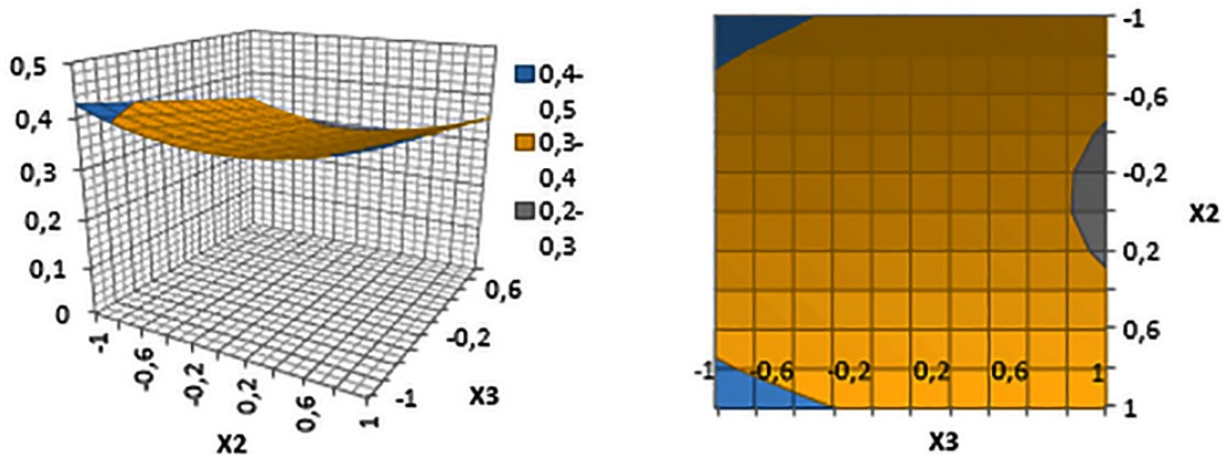


Рисунок 3.69 – Поверхность функции отклика $U_{16} = f(X_1 = 0,76; X_2; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

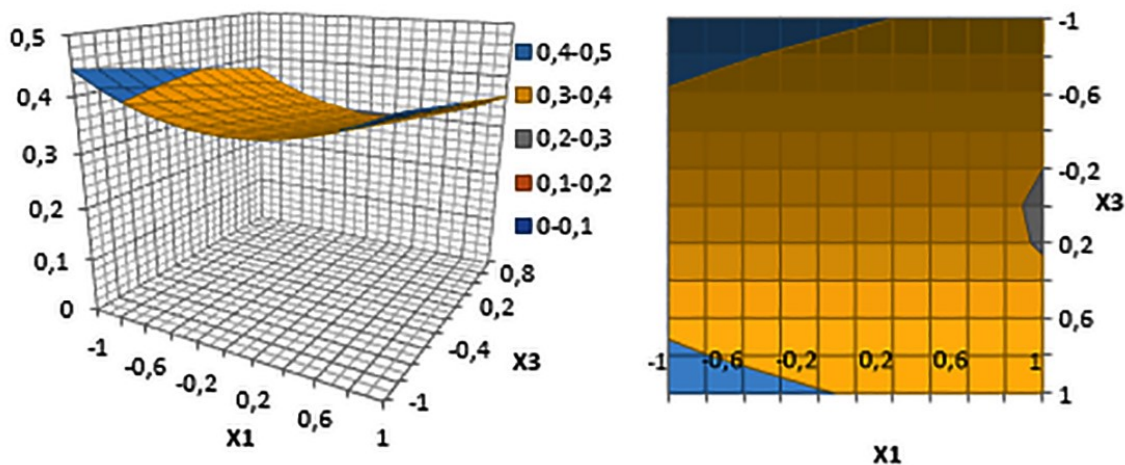


Рисунок 3.70 – Поверхность функции отклика $U_{16} = f(X_1; X_2 = 0,80; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

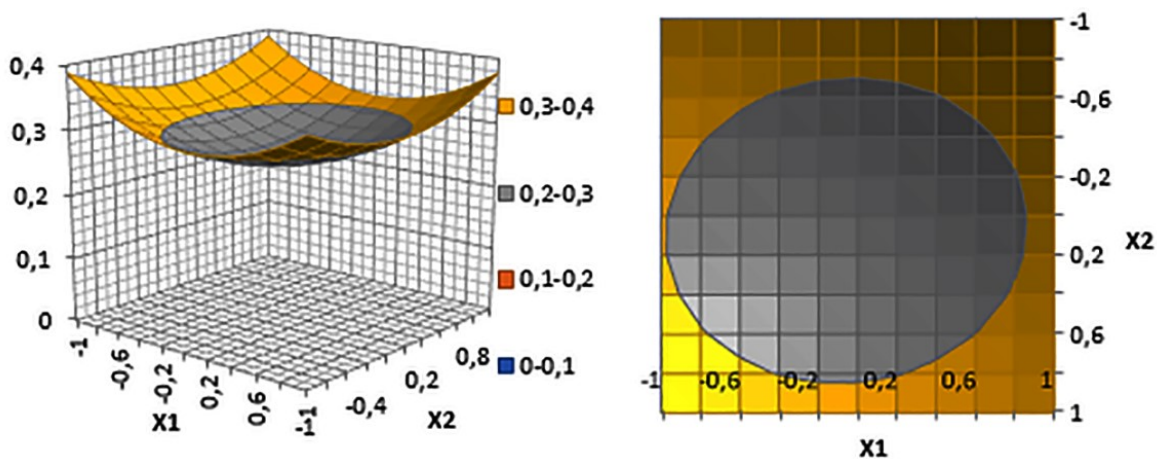


Рисунок 3.71 – Поверхность функции отклика $U_{16} = f(X_1; X_2; X_3 = 1,06) \rightarrow \min$ и ее сечения

На рисунке 3.72 представлена зависимость прочности гранул от времени их сушки. Анализ данной зависимости показывает, что необходимая прочность гранул 95 % достигается при времени сушки 42–48 минут, при наименьшей толщине слоя влажных гранул и при температуре 180–200 °С.

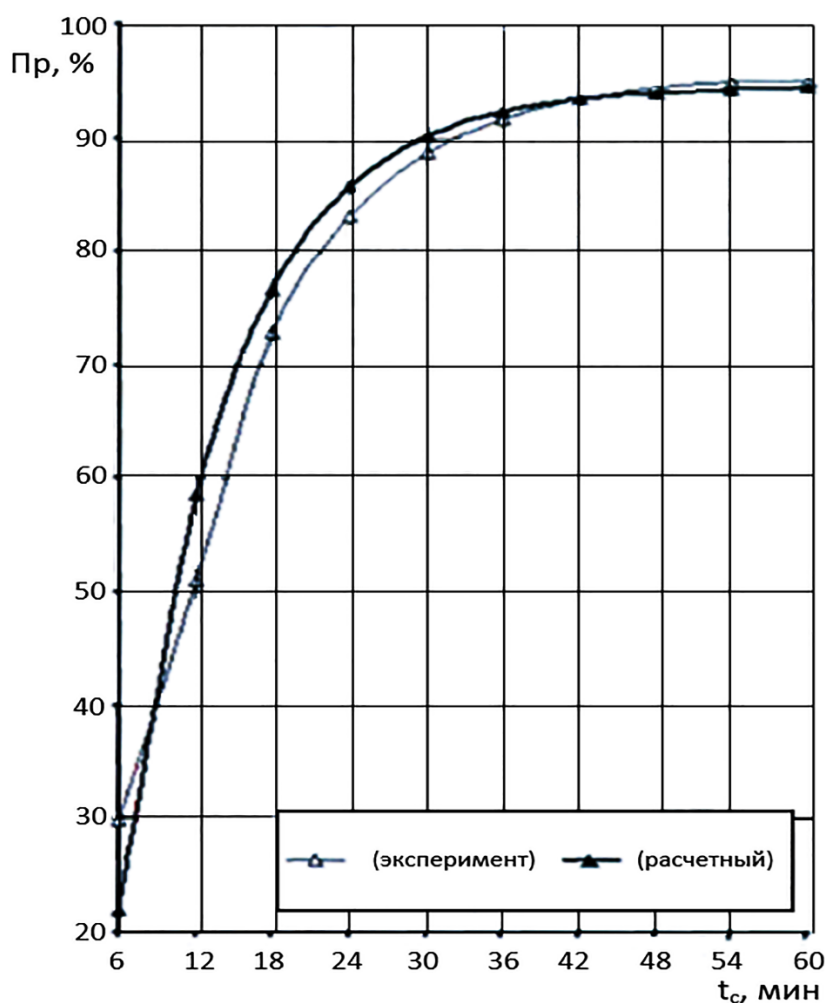


Рисунок 3.72 – Функция прочности полученных гранул (P_p) от времени сушки (t_c)

Данная функция после математической обработки может быть аппроксимирована уравнением (3.35):

$$Pr = 96,07 - 147,79 \cdot e^{-0,114 \cdot t} \quad (3.35)$$

Так как прочность гранул – это параметр, который устанавливается тех-

3 Практическое решение проблемы повышения эффективности приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы

нологическими требованиями, необходимо использовать выражение определения времени сушки гранулированного продукта (3.36):

$$t_c = 43,9 - 8,8 \ln(96,07 - [\text{Пр}]) \quad (3.36)$$

Эту зависимость можно аппроксимировать выражением (3.37):

$$\rho_{\text{Гр}i} = \rho_0 \cdot e^{-c \cdot t_c} \quad (3.37)$$

где ρ_0 – первоначальная плотность влажных гранул;

c – коэффициент, который характеризует процесс сушки влажных гранул.

Коэффициент (c) найден методом наименьших квадратов [45]. Зависимость будет иметь вид выражения (3.38):

$$\rho_{\text{Гр}i} = 1240 \cdot e^{-0,003t_c} \quad (3.38)$$

С учетом зависимости (3.36) выражение принимает следующий вид:

$$\rho_{\text{Гр}i} = 1240 \cdot e^{-[0,13 - 0,026 \ln(96,07 - \text{Пр})]} \quad (3.39)$$

Эмпирическая функция плотности сухих гранул от времени сушки ($\rho_{\text{Гр}} = f(t_c)$) представлена на рисунке 3.73.

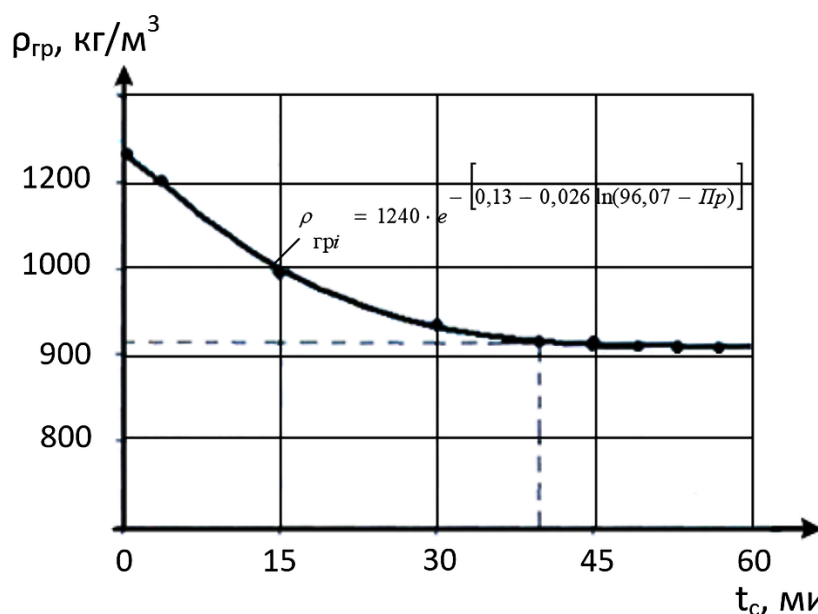


Рисунок 3.73 – Зависимость плотности гранул ($\rho_{\text{Гр}}$) от продолжительности процесса сушки (t_c)

Анализируя полученные данные (рис. 3.73), необходимо отметить, что с увеличением времени сушки интенсивность снижения плотности гранул неодинаковая. Так, при увеличении времени сушки до 42 минут плотность гранул снизилась с 1 280 до 920 кг/м³, то есть интенсивность снижения составила 1,33. При дальнейшем увеличении времени сушки плотность гранул практически не изменилась.

3.8 Практическая реализация результатов исследований и рекомендации для аграрного производства

Проведенные исследования полностью подтвердили выдвинутую гипотезу, позволили предложить аргументированное решение поставленной в работе проблемы, а также разработать обоснованные рекомендации для аграрного производства по использованию научных результатов и выводов, рекомендовать направления применения рекомендаций:

1. Способ приготовления белково-минерального кормового продукта рекомендуется использовать в виде измельченного мясо-костного сырья (субпродукты птицы), путем смешивания его с белковым компонентом в виде соевой муки и последующим формованием гранул в хозяйствах, занимающихся производством птицы. На разработанный способ получены патенты Российской Федерации на изобретение № 2486759, № 2530510, № 2607103.

2. Способ приготовления белково-витаминного кормового продукта рекомендуется использовать в виде белково-содержащего компонента (необезжиренная соевая мука), смешанного с витаминно-содержащим компонентом (хвойная или ламинариевая паста) в соотношении (1:1), в хозяйствах, занимающихся производством птицы. Предлагаемый способ защищен патентом Российской Федерации на изобретение № 2514309.

3. Способ приготовления белково-минерального кормового продукта рекомендуется использовать в виде белково-содержащего компонента рыбного происхождения (паста, изготовленная из отходов разделки рыбы), путем смешивания ее с белковым компонентом (соевая мука) в хозяйствах, занимающихся производством птицы. Предлагаемый способ защищен патентами Российской Федерации на изобретение № 2535945 и № 2604937.

Выводы

1. В результате проведенных экспериментальных исследований определены выход и физико-механические свойства исходного сырья и компонентов. При этом установлено, что значения определенных показателей варьируют в относительно широком диапазоне, что необходимо учитывать при проектировании технологических линий приготовления кормового гранулята заданного состава и свойств.

2. Экспериментальным путем, на основании полученных математических моделей в виде адекватных уравнений регрессии, определены оптимальные значения параметров процесса получения пастовых компонентов с помощью барабанно-винтового измельчителя-пастоизготовителя, которые находятся в пределах: скорость вращения барабана в аппарате первичного резания (ω_6) от 87,86 до 88,38 с⁻¹; скорость движения полотна подающего транспортера ($v_{п.тр}$) от 0,0368 до 0,0536 м/с и скорость ножей аппарата вторичного резания ($\omega_{н.}$) от 58,0 до 61,2 с⁻¹, которые обеспечили неоднородность – 8,66 % и энергоемкость процесса измельчения – $11,08 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}}$.

3. Установлено, что для бинарных композиций на основе животного сырья, фактические значения водосвязывающей способности составляют 95 %; предельного напряжения сдвига – 290,0 Па и пластической вязкости – 4,95 Па·с.

Они обеспечиваются при средневзвешенной длине частиц бинарной композиции от 0,52 до 0,78 мм и неоднородности их гранулометрического состава от 11,09 до 12,14 %, при массовой доле необезжиренной соевой муки от 34,81 до 39,67 %.

4. Обоснованы для бинарных композиций на основе растительного сырья фактические значения водосвязывающей способности 95,238 %; предельного напряжения сдвига 242,7 Па и пластической вязкости 2,435 Па·с. Они обеспечиваются длиной частиц, находящейся в пределах от 0,42 до 0,74 мм, при неоднородности гранулометрического состава частиц пасты от 11,04 до 12,25 %, при массовой доле необезжиренной соевой муки, находящейся в пределах от 34,81 до 39,67 %.

5. Определены оптимальные конструктивно-технологические параметры:

1) для смесителя-усреднителя влаги: массовая доля соевого компонента – 28,1–50,0 %; влажность соево-пастовой композиции – 31,9–40,27 % при угловой скорости винта 10,0 рад/с; эксцентриситета 10,0 мм; диаметр винта 30,0 мм и t_{cy} больше или равно 4,3 минут;

2) для пресс-гранулятора: угловая скорость прессующего узла – 6,97–9,6 с⁻¹; угловая скорость гранулирующего узла – 16,14–16,19 с⁻¹; длина канала формирующей решетки матрицы гранулирующего узла – 12,39–13,21 мм, при которых плотность влажных гранул – 1 070,04 кг/м³ и энергоемкость – $0,017 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$; установлена зависимость между плотностью гранул и давлением, по которой определено значение максимального давления на уровне 1,1 МПа;

3) для лотковой сушки: исходная влажность гранул – 34,62–40,55 %; температура сушки – 95,64–110,0 °С; массовая доля соевого компонента – 51,37–58,89 %, при которых крошимость сушеных гранул составляет 4,0 % и энергоемкость процесса сушки гранул $0,30 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$.

**4 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА
ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ,
ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И МЕТОДИКА
РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ
БЕЛКОВО-МИНЕРАЛЬНОГО ГРАНУЛЯТА ДЛЯ ПТИЦЫ**

4.1 Общие сведения о реализации научных разработок

Результаты проведенных исследований по обоснованию повышения эффективности функционирования линии приготовления кормовых продуктов для птицы с использованием соевого компонента в виде муки влажностью в пределах 8–10 %, реализованы и апробированы в ряде научных, научно-производственных, производственных, учебных и других организациях сельскохозяйственного профиля.

Материалы исследований систематически публиковались в печати международного, федерального и регионального уровней, в частности, в изданиях, индексируемых в *международных аналитических базах данных Web of Science и Scopus* – «*Jour of Adv. Research in Dynamical & Control Systems*» (1), «*Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*» (1), «*Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*» (1); в *журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации*, – «*Механизация и электрификация сельского хозяйства*» (2), «*Техника в сельском хозяйстве*» (1), «*Кормопроизводство*» (2), «*Научное обозрение*» (4), «*Вестник Красноярского государственного аграрного университета*» (3), «*В мире научных открытий*» (1), «*АгроЭкоИнфо*» (2), «*Дальневосточный аграрный вестник*» (1), научно-производственный журнал «*Птицеводство*» (2); в научных трудах Дальневосточного государственного

аграрного университета, Всероссийского научно-исследовательского института сои, Чувашского государственного аграрного университета, Ульяновского государственного аграрного университета, Волгоградского государственного аграрного университета, National Scientific Center "Institute for Agricultural Engineering and Electrification" ("International Journal of Applied Engineering Research").

Ниже приведены базовая технологическая схема приготовления кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы, а также двухвариантная конструктивно-технологическая схема линии по ее производству (рис. 4.1 и 4.2).

Производственная проверка основных результатов исследований в хозяйствах (использовалось исходное сырье и необезжиренная соевая мука) проводилась в период 2017–2019 гг. Полученные гранулы подвергались испытанию на соответствие действующего ГОСТ 18221–99 «Комбикорма полнорационные для сельскохозяйственной птицы».

4.2 Рекомендуемые технологические линии и технические устройства для производства кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы

Один из основных вопросов при выращивании птицы – эффективное кормление. Наиболее затратными считаются корма животного происхождения на основе протеиновых составляющих рациона: мясо-костная и рыбная мука, соевый и подсолнечниковый шрот, концентраты и белковые добавки. В отходах мясной и рыбной промышленности содержатся витамины: рибофлавин, пантотеновая и никотиновая кислота, кобаламин, ретинол, кальциферол, токоферол. Обычная доза их внесения до 8–10 % от общей питательности рациона. Эти корма удовлетворяют совокупную потребность птицы в незаменимых аминокислотах [49, 67, 71, 161, 181, 188].

4 Производственная проверка основных результатов исследований, их технико-экономическая оценка и методика расчета технологической линии приготовления белково-минерального гранулята для птицы

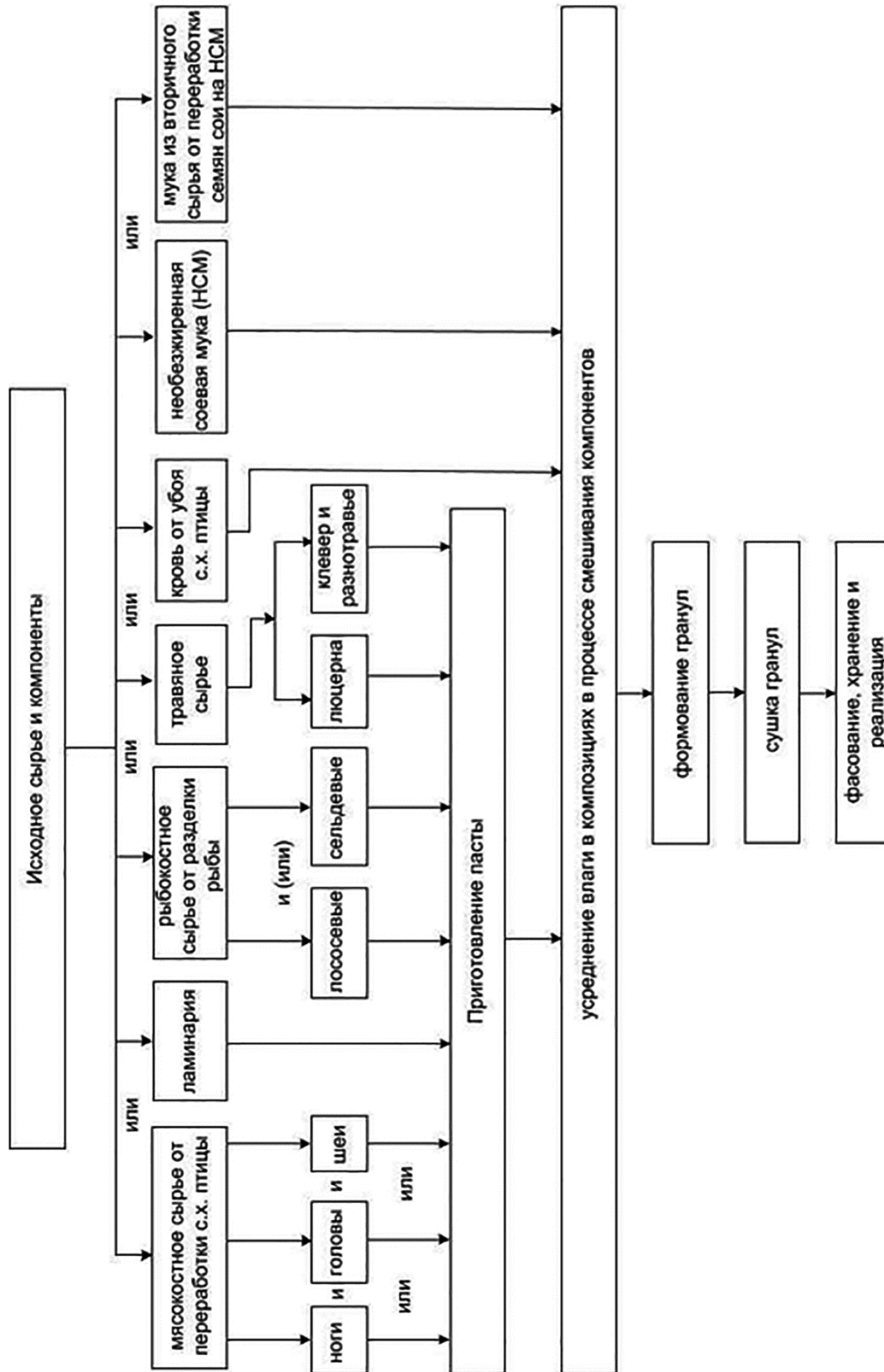
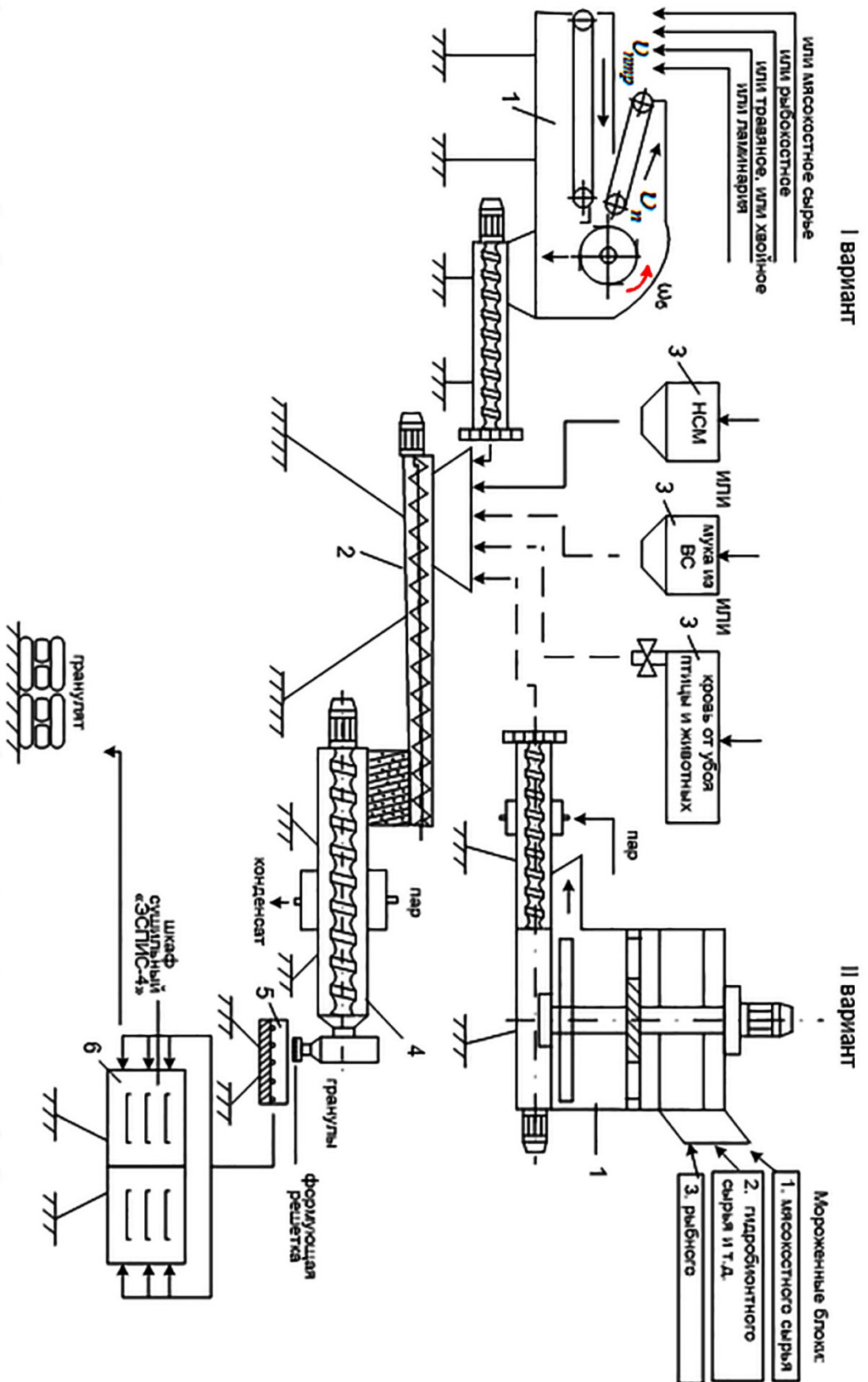


Рисунок 4.1 – Базовая технологическая схема производства кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы



1 – измельчитель барабанно-винтового и дисково-винтового типа; 2 – смеситель-усреднитель влаги; 3 – бункеры-дозаторы; 4 – пресс-гранулятор; 5 – сетчатый лоток; 6 – шкаф сушильный «Универсальный» ЭСПИС-4

Рисунок 4.2 – Двухвариантная конструктивно-технологическая схема линии по производству кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы

4 Производственная проверка основных результатов исследований, их технико-экономическая оценка и методика расчета технологической линии приготовления белково-минерального гранулята для птицы

Вместе с тем, как показывают исследования, для производства кормов не в полной мере используются возможности такой высокобелковой культуры, как соя [59, 58, 62, 63, 66, 69, 91, 102, 127, 131, 156]. В одном килограмме сои содержатся минеральные вещества (мг): фосфор – 5 100, железо – 3 950, кальций – 3 480, магний – 1 910, натрий – 440, калий – 160, а также жир – 173 г. Кроме этого, в сое имеются кобальт и марганец, которые нужны для биологически полноценного рациона кормления сельскохозяйственных животных и птицы [8, 99, 121, 131–133].

До настоящего времени не уделялось достаточного внимания прикладным исследованиям, связанным с приготовлением бинарных кормовых композиций: соево-рыбо-костных, соево-мясо-костных, соево-ламинариевых и соево-травяных. Технологическая схема, рекомендованная и внедренная нами, представлена на рисунке 4.3 (патент Российской Федерации № 2486759).

Представленная схема обеспечивает получение белково-минерального продукта с относительно низкой себестоимостью, повышенной биологической ценностью (ввиду наличия в нем витамина Е), обладающего высокой антиоксидантной активностью [102, 168]. Это достигается тем, что для получения белково-минерального продукта, смешивают измельченное мясо-костное сырье, с последующим доведением его до определенного содержания сухих веществ, и белковый компонент. В качестве мясо-костного сырья используют пасту из субпродуктов сельскохозяйственной птицы, полученную из шей, ног и голов при соотношении веса (1:1:1), а в качестве белкового компонента – обезжиренную соевую муку, взятую в соотношении (1:1). В свою очередь, смешивание выполняется одновременно с продвижением компонентов на формование влажных гранул [53, 63, 89, 101, 115, 126, 127, 138, 148, 149, 155, 156, 159, 165, 166–194].

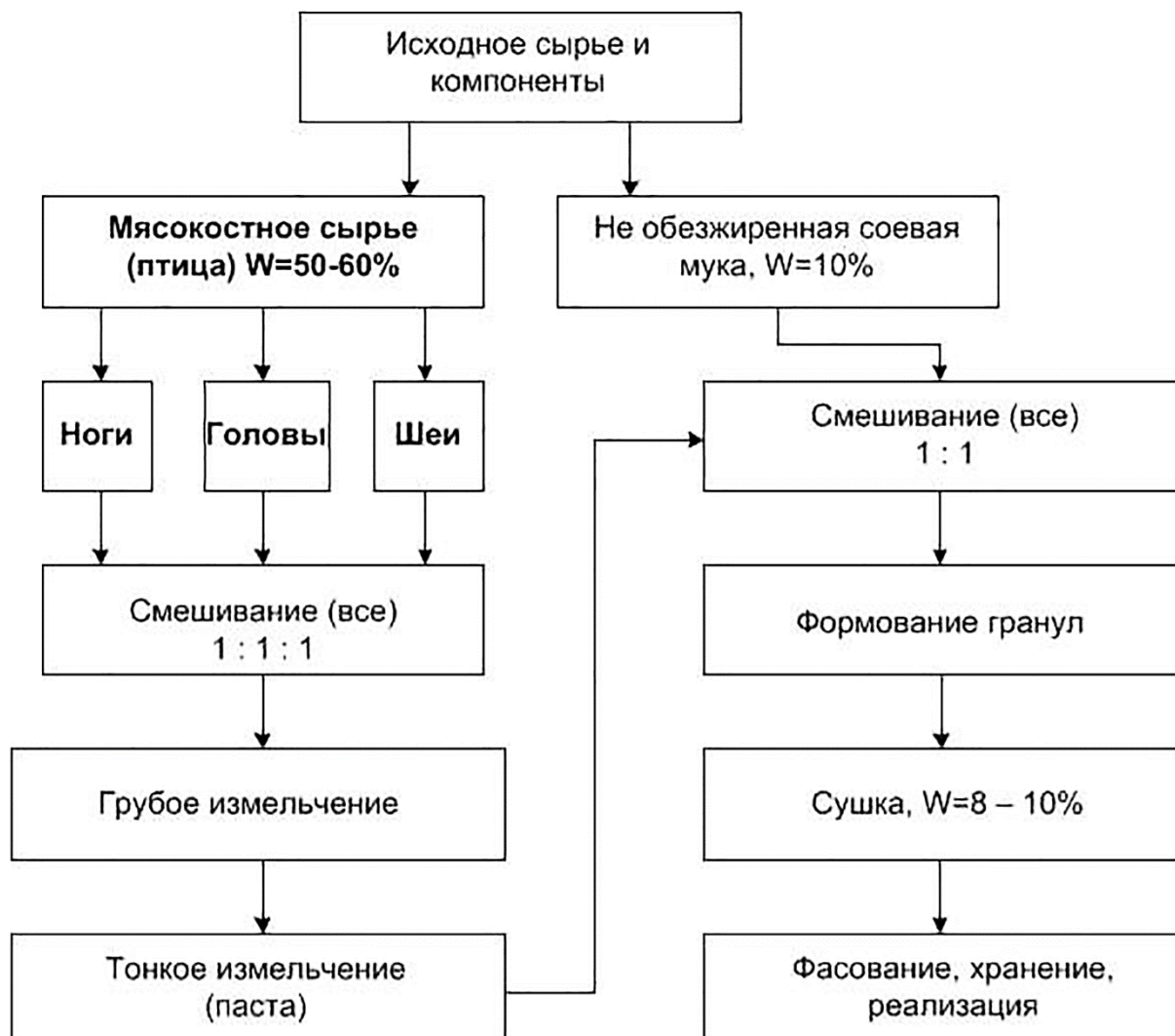
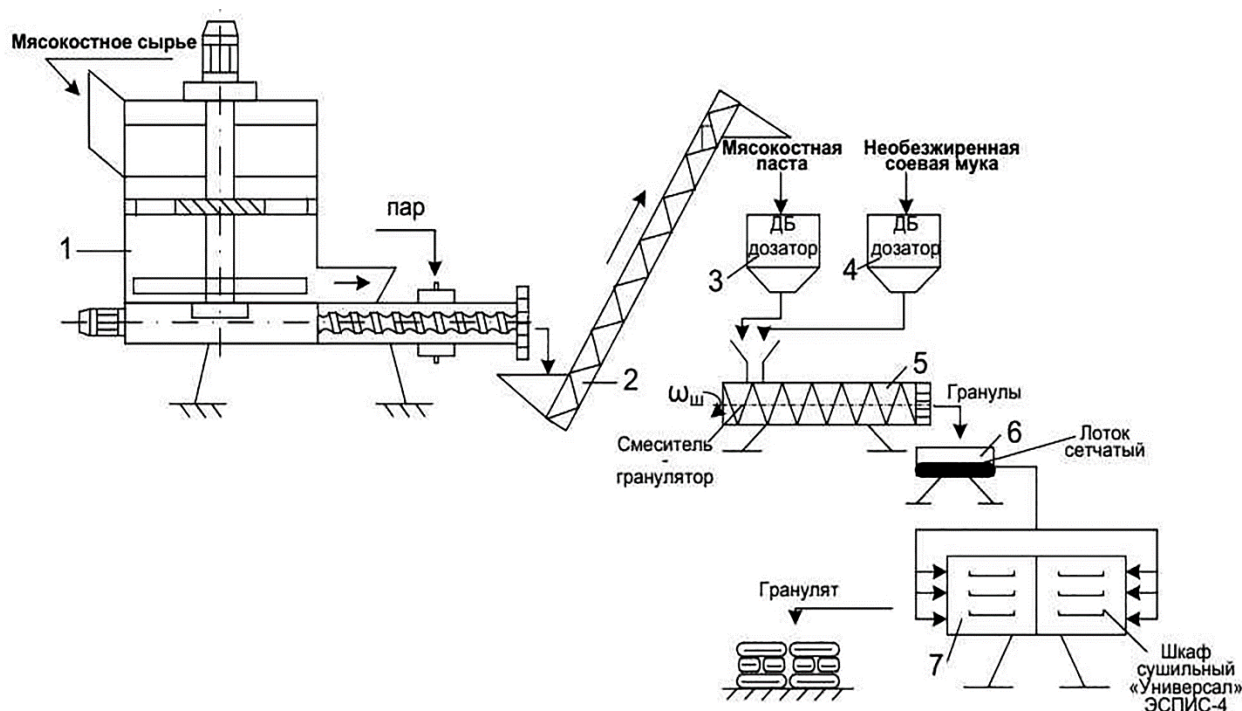


Рисунок 4.3 – Схема получения белково-минерального (соево-мясокостного) гранулята

Поставленная задача по снижению себестоимости достигается за счет усреднения влаги в пасте и соевой муке, что позволяет в два раза уменьшить затраты энергии на сушку влажных гранул и получить высокобелковый продукт, который содержит витаминно-минеральный комплекс (витамин Е + фосфор + кальций), обеспечивающий продукту значительную антиоксидантную активность.

Технологическая линия приготовления белково-минерального (соево-мясокостного) гранулята представлена на рисунке 4.4.

4 Производственная проверка основных результатов исследований, их технико-экономическая оценка и методика расчета технологической линии приготовления белково-минерального гранулята для птицы



- 1 – дисковый измельчитель-пастоизготовитель; 2 – шнек;
3, 4 – бункеры-дозаторы; 5 – смеситель-гранулятор; 6 – сетчатый лоток;
7 – сушильный шкаф «Универсал» ЭСПИС-4

Рисунок 4.4 – Технологическая линия приготовления белково-минерального (соево-мясокостного) гранулята

Из отходов сырья птицы (шеи, головы и ноги), при соответствующем весовом соотношении (1:1:1), получают пасту на дисковом измельчителе-пастоизготовителе 1, путем двукратного измельчения (рис. 4.3 и 4.4). Полученная паста шнековым транспортером 2 перемещается в бункер-дозатор 3, а затем в смеситель-гранулятор 5. Сюда же подается и необезжиренная соевая мука из дозатора в соотношении (1:1). Указанное соотношение субпродуктов (1:1:1) позволяет обеспечить нужное содержание сухих веществ в приготовленной мясо-костной пасте (40–50 %). При этом, смешивание мясо-костной пасты с необезжиренной соевой мукой, в которой содержится сухих веществ 90 %, в соотношении (1:1) обеспечивает получение белково-минеральной композиции с содержанием сухих веществ в пределах 65–70 %.

При сушке гранул с таким содержанием сухих веществ в приготовленной

белково-минеральной композиции понадобится наименьшее количество энергии. При этом необходимо отметить, что при отклонении от указанных значений в меньшую сторону (менее 65 %) – гранулы расплываются, а в большую сторону (более 70 %) – рассыпаются.

При помощи смесителя-гранулятора 5, сформованные гранулы собираются в сетчатом лотке 6, а далее лоток помещается в сушильный шкаф 7. В нем содержание сухих веществ достигает уровня 90–92 %, что соответствует техническим условиям.

Разработанная технологическая линия по производству белково-минерального гранулята (патент Российской Федерации № 2486759) производительностью 900 кг/ч показана на рисунке 4.5; производительностью 530 кг/ч – на рисунке 4.6.



Рисунок 4.5 – Общий вид оборудования по получению белково-минерального (соево-мясокостного) гранулята в производственном цехе

Чтобы подтвердить качество полученного соево-мясокостного гранулята в 2017 г., были отобраны пробы на испытания в лабораторных условиях. Полученный соево-мясокостный гранулят взят в соответствии с ГОСТ 13469.0–2016 «Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы отбора проб» при помощи ручного совка в количестве 1,5 кг и направлен в Центр гигиены и эпидемиологии

(Хабаровский край) для проведения лабораторных исследований.



Рисунок 4.6 – Общий вид оборудования по получению мясокостной пасты на производственном участке

Проведенный анализ полученных результатов соевого мясокостного кормового гранулята для сельскохозяйственной птицы показал, что массовая доля сырого протеина составила 16,7 %, (соответствие на действующий в 2017 г. ГОСТ Р 51417–99 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Метод Кьельдаля»); массовая доля сырого жира составила 7 % (соответствие на действующий в 2017 г. ГОСТ 13496.15–97 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания сырого жира»), массовая доля кальция составила 3,1 % (соответствие на действующий в 2017 г. ГОСТ 26570–95 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения кальция»), массовая доля фосфора составила 0,7 % (соответствие на действующий в 2017 г. ГОСТ 26657-97 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания фосфора»), содержание влаги составило 11,5 % (соответствие на действующий в 2017 г. ГОСТ 18221–99 «Комбикорма полнорационные для сельскохозяйственной птицы»), обменная энергия – 1,15 МДж, что на 6 % больше нормы.

Таким образом, предложенный способ получения белково-минерального (соево-мясокостного) продукта позволяет обеспечить птицу более дешевым кормом с необходимым содержанием питательных веществ, а также соответствует зоогигиеническим требованиям.

В тоже время при кормлении птицы используют сырье рыбного и гидробионтного растительного происхождения, которое имеется в большом количестве в дальневосточном регионе. Как показывают многочисленные исследования, использование этого сырья с добавлением соевого компонента в различных сочетаниях дает существенный зоотехнический и экономический эффект [133, 157].

Получение рыбной кормовой муки базируется на известных технологических операциях, основными из которых являются проваривание и сушка рыбного сырья [13, 47]. При производстве муки применяют различные способы: прессово-сушильный, прямой сушки, экстракционный, комбинированный и центрифужно-сушильный. Три первых способа – основные, другие являются их модификациями. Каждый из перечисленных способов основан на принципе наиболее полной переработки содержащихся в рыбном сырье липидов и белков, а также минеральных веществ. Основные недостатки данных способов следующие: затруднена переработка особо жирного сырья; сложность управления режимами обработки сырья; повышенные энергетические затраты из-за необходимости применения выпарных установок.

Нами предложен способ приготовления белково-минерального (соево-рыбокостного) кормового продукта, включающий измельчение рыбокостного сырья и доведение его до необходимого содержания сухих веществ, а затем смешивание с обезжиренной соевой мукой. При производстве кормового продукта в качестве рыбокостного сырья используем пасту, приготовленную на измельчителе-пастоизготовителе, из позвоночной кости и голов лососевых и сельдевых, взятых в соотношении (1:1), а затем доводим ее до необходимого

4 Производственная проверка основных результатов исследований, их технико-экономическая оценка и методика расчета технологической линии приготовления белково-минерального гранулята для птицы

содержания сухих веществ. Осуществляем добавление необезжиренной соевой муки в соотношении (1:1), при этом смешивание производим одновременно с продвижением компонентов на пресс-гранулятор для формирования гранул. Содержание сухих веществ доводится до уровня 89–90 %. За счет усреднения влаги в соево-пастовой композиции до 30 % $((50+10):2)$, в два раза уменьшаются затраты энергии на сушку. При этом получаем готовый продукт, в котором содержится минерально-витаминный комплекс (кальций + фосфор + витамин Е), обеспечивающий высокую антиоксидантную активность.

Технологическая схема производства белково-минерального (соево-рыбнокостного) продукта в виде гранулята представлена на рисунке 4.7, конструктивно-технологическая схема линии получения соево-рыбнокостного продукта – на рисунке 4.8.

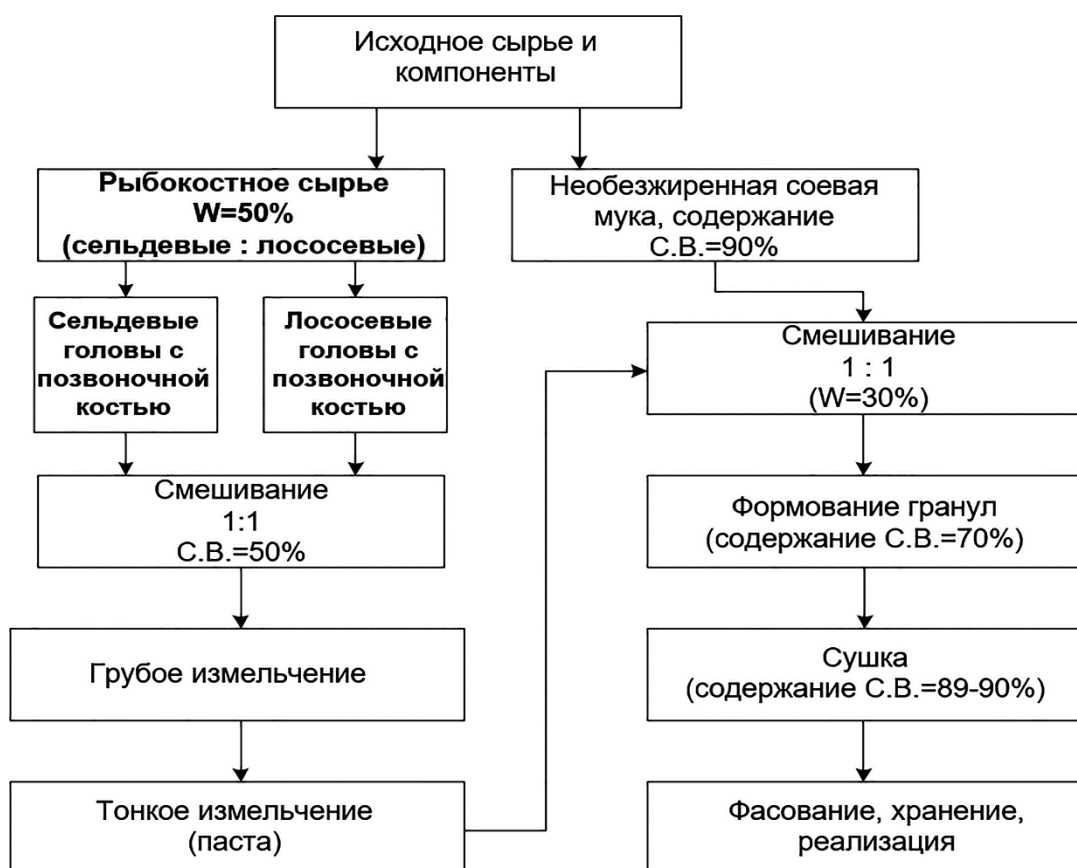
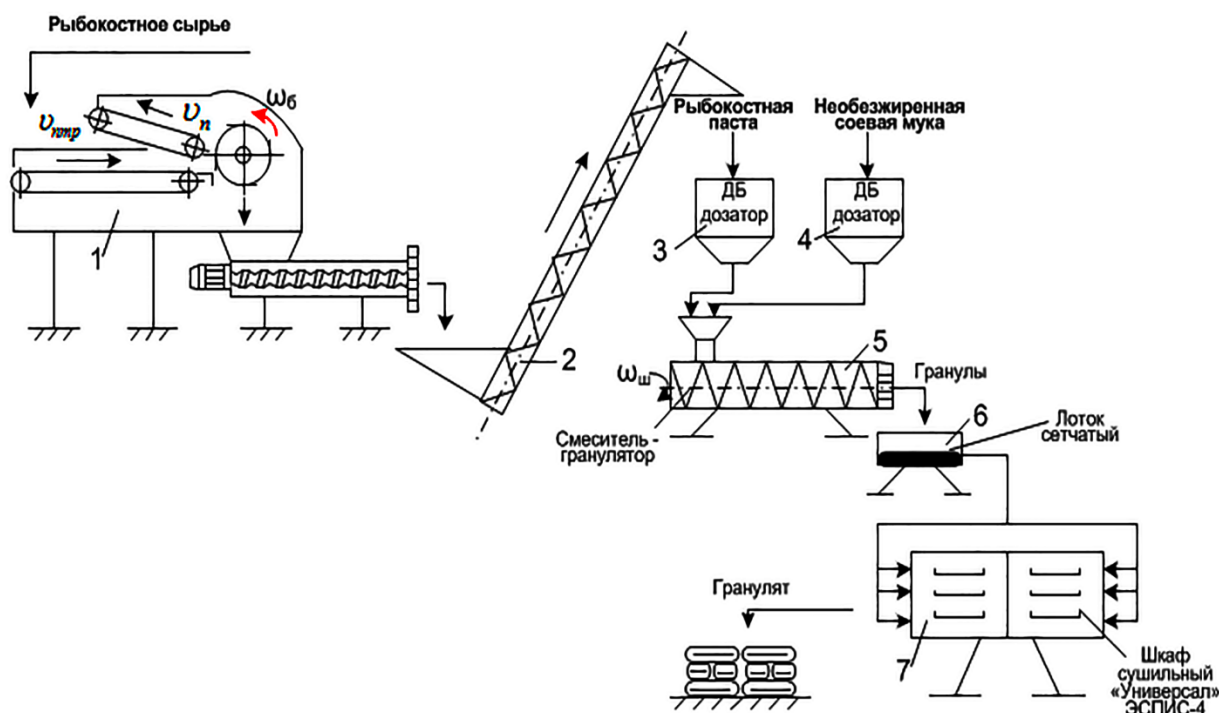


Рисунок 4.7 – Технологическая схема получения белково-минерального (соево-рыбнокостного) продукта



1 – барабанно-винтовой измельчитель-пастоизготовитель; 2 – шнек; 3, 4 – бункеры-дозаторы; 5 – смеситель-гранулятор; 6 – сетчатый лоток; 7 – сушильный шкаф

Рисунок 4.8 – Конструктивно-технологическая схема линии приготовления белково-минерального (соево-рыбного) продукта в виде гранулята

Отходы рыбного сырья (голова и позвоночная кость) от семейства лососевых и сельдевых в соотношении (1:1) измельчают на барабанно-винтовом измельчителе-пастоизготовителе 1, и тем самым получают пасту путем двукратного измельчения – грубого и тонкого (рис. 4.8). Затем полученная паста шнеком 2 перемещается в бункер-дозатор 3, а затем в смеситель-гранулятор 5. В него же подается и обезжиренная соевая мука из дозатора 4 в необходимом соотношении. Данное соотношение рыбного сырья позволяет получить пасту с содержанием сухих веществ на уровне 50 %.

Смешиванием пасты с подобным содержанием сухих веществ и обезжиренной соевой муки с содержанием сухих веществ 90 % при соотношении (1:1) обеспечивается производство соево-рыбного продукта с содержанием сухих веществ, равным 70 % (влажность 30 %). При последующей сушке

4 Производственная проверка основных результатов исследований, их технико-экономическая оценка и методика расчета технологической линии приготовления белково-минерального гранулята для птицы

полученных гранул и указанном содержании сухих веществ, необходимо меньшее количество затрат энергии.

В тоже время, в одном килограмме полученного продукта содержание протеина составляет 47,5 %, кальция – 50 г, фосфора – 40 г, витамина Е – 400 мг. Вместе с этим, данное количество сухих веществ (70 %) считается оптимальным для процесса формирования качественных гранул. При величине более 70 % – гранулы крошатся и рассыпаются, менее 70 % – гранулы не будут держать форму и расплываются.

При помощи смесителя-гранулятора 5 сформованные гранулы собираются в сетчатом лотке 6, а далее лоток помещается в сушильный шкаф 7. В нем содержание сухих веществ достигает уровня 89–90 %, и тем самым обеспечиваются зоотехнические требования по необходимой прочности.

Разработанный способ приготовления белково-минерального (соево-рыбнокостного) кормового продукта (патент Российской Федерации № 2535945) внедрен в производство (рис. 4.9). Производительность линии достигает 507 кг/ч.

Для подтверждения качества полученного белково-минерального (соево-рыбнокостного) продукта в 2018 г. были взяты пробы для лабораторных испытаний в объеме 1,6 кг и направлены на лабораторные испытания в Центр гигиены и эпидемиологии (Хабаровский край). Анализ полученных результатов соевого рыбо-костного кормового гранулята для сельскохозяйственной птицы показал соответствие действующим в 2018 г. гигиеническим нормативам (табл. 4.1).

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что использование предложенного способа получения белково-минерального (соево-рыбнокостного) продукта позволяет обеспечить птицу более дешевым кормом с необходимым содержанием питательных веществ и отвечающим зоотехническим требованиям.



Рисунок 4.9 – Общий вид оборудования производственного участка по смешиванию компонентов и получения гранулята

Таблица 4.1 – Результаты испытаний соевого рыбо-костного кормового гранулята для сельскохозяйственной птицы

Показатели	Результаты исследований	Гигиенический норматив	Государственный стандарт
Массовая доля сырого протеина, %	15,9	15,5–18,0	ГОСТ 51417–99
Массовая доля сырого жира, %	6,7	6,0–7,5	ГОСТ 13496.15–97
Массовая доля кальция, %	3,3	3,0–3,4	ГОСТ 26570–95
Массовая доля фосфора, %	0,6	0,6–0,7	ГОСТ 26657–97
Содержание влаги, %	11,7	11,0–14,0	ГОСТ 18221–99
Обменная энергия, МДж	1,17	не менее 1,08	расчетный метод

Близость Амурской области к Тихому океану, как уже упоминалось выше, дает возможность широко использовать морепродукты в кормлении сельскохозяйственной птицы. Особый интерес для производства кормовых добавок представляет ламинария, которая уникальна по своему биохимическому составу. Согласно ранее проведенным исследованиям, она богата белком, включающим 16 аминокислот; содержит витамин D и провитамин А, большое количество витаминов группы В, С, Е, К, стимуляторов роста, антибиотиков. Установлено, что для ламинарии характерна химическая структура, обладающая повышенной биологической активностью, не имеющая аналогов среди соединений, полученных из наземных организмов [157].

Для малых хозяйств Дальневосточного федерального округа нами разработана, предложена и внедрена технологическая схема приготовления белково-витаминного (соево-ламинариевого) кормового продукта (рис. 4.10) относительно низкой стоимости и повышенной биологической ценности ввиду наличия в нем жирорастворимых витаминов А и Е, в синергизме обладающих высокой антиоксидантной активностью.

Данное обстоятельство достигается тем, что при производстве соево-ламинариевого продукта осуществляется смешивание необезжиренной соевой муки и ламинариевой пасты в соотношении (1:1), что позволяет в последующем получать на данной основе готовую пастовую композицию и сухой гранулят.

Предварительно, на основе витаминсодержащего компонента (ламинарии) производят пасту влажностью 60–70 %. Готовую необезжиренную соевую муку влажностью 8–10 % и ламинариевую пасту дозированно в соотношении (1:1) направляют на загрузочный шнек. При этом влага в этих компонентах усредняется до 33–39 %. Затем формируются гранулы, которые в последующем сушатся до влажности 8–10 %.

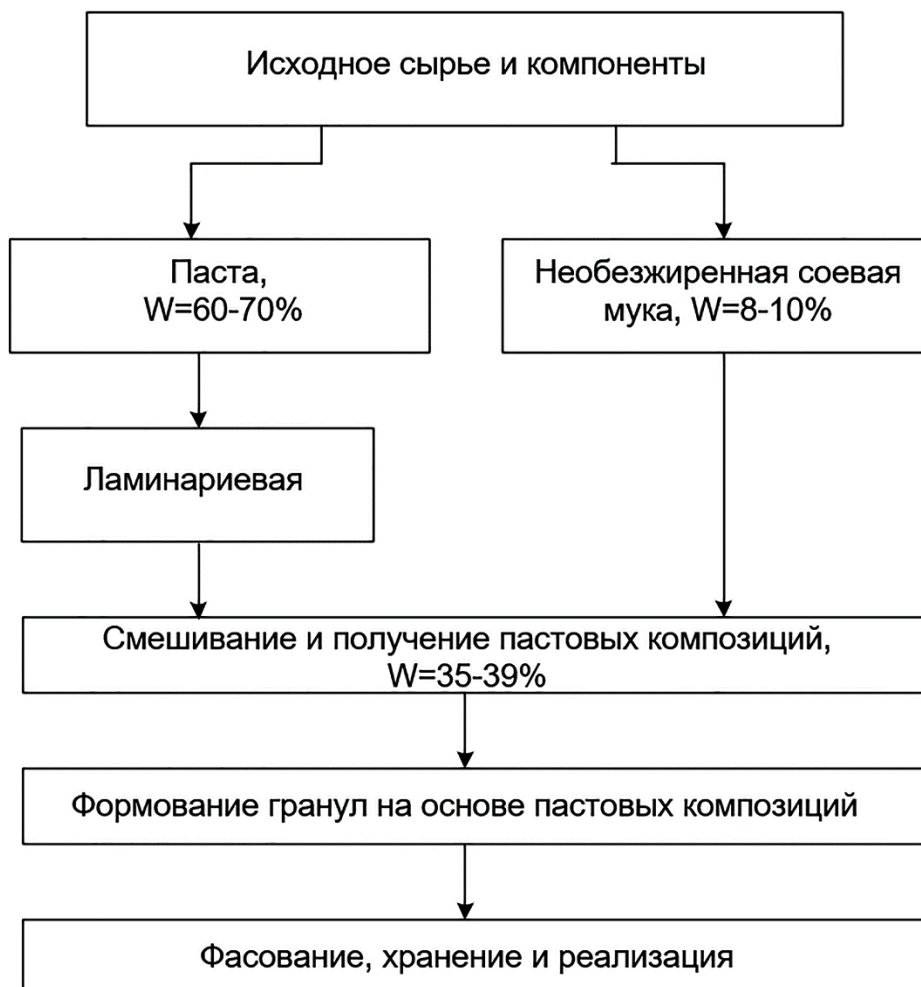


Рисунок 4.10 - Технологическая схема приготовления белково-витаминного (соево-ламинариевого) кормового продукта

На основании предложенного способа нами разработана конструктивно-технологическая схема (рис. 4.11), которая работает следующим образом. В измельчитель-пастоизготовитель 1 подают витаминсодержащий компонент – ламинарию для получения пасты. Далее паста подается в шнек 3. Сюда же дозированно из бункера-дозатора 2 подается необезжиренная соевая мука в соотношении с ламинариевой пастой (1:1). С помощью винта 4 компоненты перемещаются, тем самым при помощи диффузии влага в них перераспределяется, в результате чего образовывается пастовая композиция.

Полученная паста поступает в смеситель-гранулятор 4, в котором компо-

4 Производственная проверка основных результатов исследований, их технико-экономическая оценка и методика расчета технологической линии приготовления белково-минерального гранулята для птицы

ненты дополнительно смешиваются, уплотняются, а затем формируются в гранулы, влажность которых составляет 33–39 %.

С данной влажностью гранулы направляются на сетчатый лоток 5, а далее в сушильный шкаф с количеством лотков от 10 до 20 штук. Высушенные гранулы фасуются, хранятся или непосредственно скармливаются сельскохозяйственной птице.

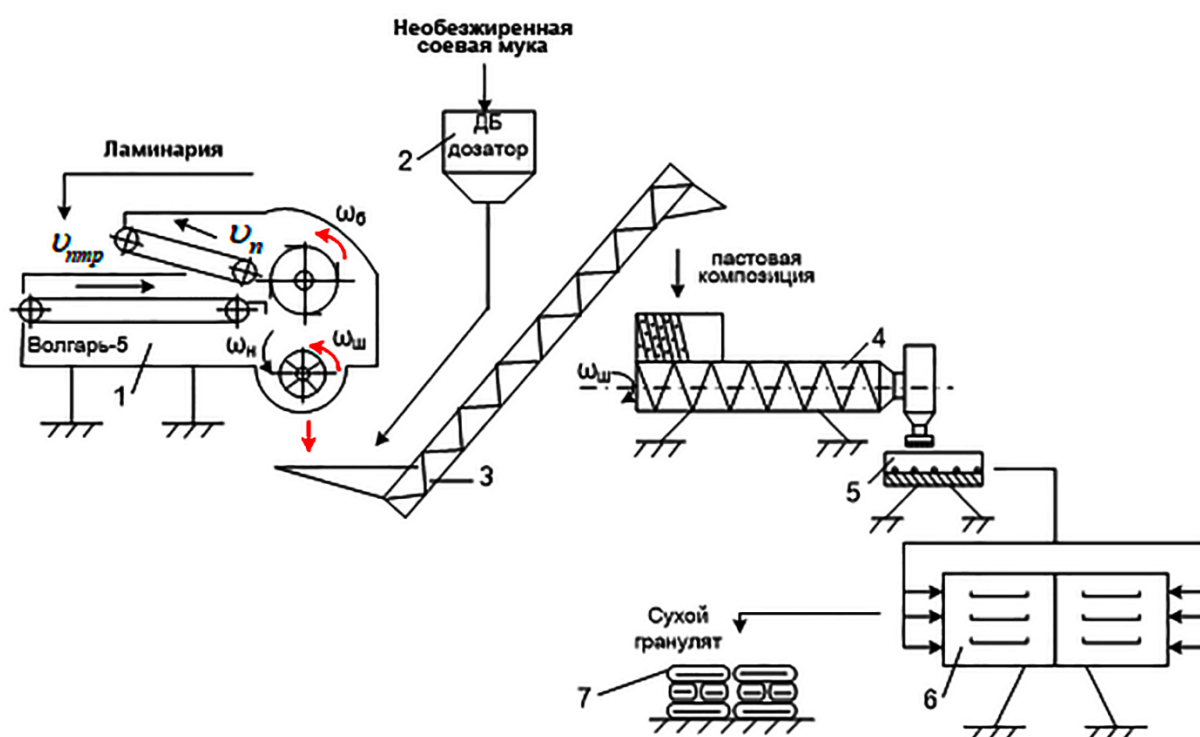


Рисунок 4.11 - Конструктивно-технологическая схема приготовления сухого гранулята

Разработанный и запатентованный способ приготовления белково-витаминного (соево-ламинариевое) кормового продукта для сельскохозяйственной птицы (патент Российской Федерации № 2514309) внедрен в производство (рис. 4.12). Производительность линии достигает 480 кг/ч.

Для подтверждения качества полученного продукта в 2019 г. были проведены исследования в лаборатории Дальневосточного государственного аграр-

ного университета, анализ которых показал следующую характеристику белково-витаминного (соево-ламинариевого) кормового продукта (табл. 4.2).



Рисунок 4.12 – Общий вид оборудования цеха по производству белково-минерального (соево-ламинариевого) гранулята

Таблица 4.2 – Характеристика соево-ламинариевого продукта

Показатели	Значение
Витамин А, мг/кг	10–20
Витамин Е, мг/кг	300–400
Вода, %	8,0–10,0
Жиры, %	9,0–10,0
Белки, %	20,0–23,0

Кроме этого, нами разработаны и рекомендованы способы приготовления кормовых продуктов:

1. Белковый кормовой продукт на основе мягких отходов животного происхождения и необезжиренной соевой муки (патент РФ № 2607103).

2. Белково-витаминно-минеральный продукт на основе необезжиренной соевой муки и крови убойных животных или птицы (патент РФ № 2530510).

3. Белковый кормовой продукт на основе мягких отходов от разделки рыбы естественной влажности и жирности, и необезжиренной соевой муки (патент РФ № 2604937).

4.3 Технико-экономическая оценка эффективности основных результатов исследований

Сравнительную технико-экономическую эффективность основных результатов исследований в виде технологических и технических решений определяли в соответствии с принятыми методиками [83, 97].

Источниками получения экономического эффекта являются:

1) снижение материальных и трудовых затрат за счет совмещения ряда технологических операций, а также применения рациональных способов обработки исходного сырья и компонентов;

2) снижение энергоемкости;

3) снижение металлоемкости;

4) повышение качественных показателей работы машин и получение гранул с меньшей крошимостью.

При расчетах в качестве базовых вариантов приняты:

I вариант – технологическая линия непрерывного действия К7-ФКЕ по производству сухих животных кормов (муки).

II вариант – технологическая линия в виде сушильного агрегата типа АВМ-1,5 по производству гранулированной витаминно-травяной муки.

III вариант – комплект оборудования по типу ООО «Экорм».

Состав и характеристика сравниваемых комплектов оборудования приведены в таблицах 4.3–4.5.

Экономическую эффективность рассчитываем в соответствии с ценами, сложившимися в 2014 году.

Определяем годовые эксплуатационные затраты по формуле (4.1):

$$Z_i = \sum_{i=1}^5 C_i \quad (4.1)$$

где C_1 – годовые затраты на зарплату, включая расходы, связанные с отчислениями в соответствующие фонды;

C_2 – амортизационные отчисления;

C_3 – затраты на текущий ремонт и содержание оборудования;

C_4 – затраты на потребление электроэнергии;

C_5 – прочие накладные расходы.

Таблица 4.3 – Состав и характеристика оборудования линии по базовому варианту (первый вариант)

Наименование оборудования	Количество, шт.	Масса, кг	Установленная мощность привода, кВт	Оптовая цена, руб.
Линия непрерывного действия К7-ФКЕ по производству сухих животных кормов (муки)	1	13 000	80,5	1 785 000
Измельчитель силовой К7-ФКЕ-1	1	1 760	254,5 ¹	450 000
Элеватор К7-ФКЕ-2 для дробленного сырья	1	670	3,5	70 000
Обезвоживатель К7-ФКЕ-3	1	580	4,5	80 000
Жироловка К7-ФКЕ-4 с непрерывным отбором жира	1	1 200	3,5	110 000
Дробилка К7-ФКЕ-5	1	1 650	22,0	320 000
Дробилка К7-ФКЕ-10	1	1 850	18,0	330 000
Элеватор обогреваемый К7-ФКЕ-60	2	550	4,5	120 000
Агрегат сушильный К7-ФКЕ-7	1	3 500	–	195 000
Охладитель К7-ФКЕ-8	1	890	2,5	80 000
Электрошкаф К7-ФКЕ-9	1	350	–	30 000
¹ С учетом использования пара из котельной.				

Таблица 4.4 – Состав и характеристика оборудования линии по базовому варианту (второй вариант)

Наименование оборудования	Количество, шт.	Масса, кг	Установленная мощность привода, кВт	Оптовая цена, руб.
Линия на основе сушильного агрегата типа АВМ-1,5 (гранулы)	1	37 750	416,2	2 160 000
Питатели зеленой массы типа ПЗМ-1,5	2	12 600	19,0	320 000
Сушилка-термоагрегат	1	9 800	5,5	800 000
Дробилка	2	5 890	60,0	320 000
Система кондиционирования	1	560	3,5	160 000
Система гранулирования	1	5 400	98,6	510 000
Система транспортирования и циклонов	1	3 500	9,6	150 000

4 Производственная проверка основных результатов исследований, их технико-экономическая оценка и методика расчета технологической линии приготовления белково-минерального гранулята для птицы

Таблица 4.5 – Состав и характеристика линии по предлагаемому варианту

Наименование оборудования	Количество, шт.	Масса, кг	Установленная мощность привода, кВт	Оптовая цена, руб.
Линия по производству соево-мясокостного гранулята	6	850,0	29,0	610 000
Бункеры-дозаторы соевой муки и пасты	2	50,0	3,0	45 000
Измельчитель-пастоизготовитель	1	350,0	14,5	210 000
Смеситель-усреднитель влаги	1	75,0	2,5	50 000
Сушилка камерного типа «Универсал» ЭСПИС-4	1	150,0	9,0	50 000
Пресс-гранулятор-гомогенизатор	1	300,0	2,5	255 000
Линия по производству соево-травяного или соево-ламинариевого гранулята	6,0	850,0	29,0	610 000
Линия по производству соево-рыбокостного гранулята	6,0	850,0	29,0	610 000

Затраты на заработную плату:

$$C_1 = 2 \text{ чел} \cdot 1668,8 \text{ часов/год} \cdot 120 \text{ руб/час} \cdot 1,395 = 558714,24 \text{ руб.}$$

Амортизация основных средств:

$$C_2^B' = 1785000 \cdot 0,39 = 696150 \text{ руб.},$$

$$C_2^B'' = 2160000 \cdot 0,39 = 842400 \text{ руб.},$$

$$C_2^{Pr} = 610000 \cdot 0,39 = 237900 \text{ руб.}$$

Затраты на текущий ремонт и содержание оборудования:

$$C_3^B' = 1785000 \cdot 0,05 = 89250 \text{ руб.},$$

$$C_3^B'' = 2160000 \cdot 0,05 = 108000 \text{ руб.},$$

$$C_3^{Pr} = 610000 \cdot 0,05 = 30500 \text{ руб.}$$

Затраты на потребление электроэнергии:

$$C_4^B' = 80,5 \text{ кВт} \cdot 4,5 \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч} \cdot 1668,8 \text{ час/год} = 604522,8 \text{ руб/год},$$

$$C_4^B'' = 416,2 \text{ кВт} \cdot 4,5 \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч} \cdot 1668,8 \text{ час/год} = 3125495,5 \text{ руб/год},$$

$$C_4^{Pr} = 29,0 \text{ кВт} \cdot 4,5 \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч} \cdot 1668,8 \text{ час/год} = 217778,4 \text{ руб/год}$$

Прочие накладные расходы:

$$C_5^{B'} = 1785000 \cdot 1,89 = 3373650 \text{ руб.},$$

$$C_5^{B''} = 2160000 \cdot 1,89 = 4082400 \text{ руб.},$$

$$C_5^{Pr} = 610000 \cdot 1,89 = 1152900 \text{ руб.}$$

Эксплуатационные суммарные затраты за год:

$$З^{B'} = 558714,24 + 696150 + 89250 + 604522,8 + 3373650 = 5322287,04 \text{ руб.},$$

$$З^{B''} = 558714,24 + 842400 + 108000 + 3125495,5 + 4082400 = 8717009,74 \text{ руб.}$$

$$З^{Pr} = 558714,24 + 237900 + 30500 + 217778,4 + 1152900 = 2197792,64 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты за год:

$$ПЗ^{B'} = 5322287,04 \text{ руб} + 0,15 \cdot 1785000 = 5349062,04 \text{ руб/год},$$

$$ПЗ^{B''} = 8717009,74 \text{ руб} + 0,15 \cdot 2160000 = 9041009,74 \text{ руб/год},$$

$$ПЗ^{Pr} = 2197792,64 \text{ руб} + 0,15 \cdot 610000 = 2289292,64 \text{ руб/год}$$

Экономический эффект за год:

$$Э_I^I = 5349062,04 - 2289292,64 = 3059769,4 \text{ руб/год},$$

$$Э_I^{II} = 9041009,74 - 2289292,64 = 6751717,1 \text{ руб/год}$$

Срок окупаемости:

$$O_K^I = 610000 / 3059769,4 = 0,1994 \text{ года},$$

$$O_K^{II} = 610000 / 8812080,1 = 0,09 \text{ года}$$

Снижение металлоемкости:

$$k_{Me}^I = 130 \text{ Т/Т/час} \div 5,67 \text{ Т/Т/час} = 23,1 \text{ раза},$$

$$k_{Me}^{II} = 25,166 \text{ Т/Т/час} \div 5,67 \text{ Т/Т/час} = 4,44 \text{ раза}$$

Снижение энергоемкости:

$$k_{Эн}^I = 0,805 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}} \div 0,190 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}} = 4,2 \text{ раза},$$

$$k_{Эн}^{II} = 0,277 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}} \div 0,190 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}} = 2,85 \text{ раза}$$

Себестоимость приготовления одного килограмма мясо-костной или рыбо-костной муки:

4 Производственная проверка основных результатов исследований, их технико-экономическая оценка и методика расчета технологической линии приготовления белково-минерального гранулята для птицы

$$C_{\text{МКМ}} = \frac{5322287,04 \text{ руб}}{1668,8 \text{ час} \cdot 100 \text{ кг/ч}} = 31,89 \text{ руб/кг}$$

Себестоимость приготовления одного килограмма витаминно-травяной муки:

$$C_{\text{ВТМ}} = \frac{8717009,74 \text{ руб}}{1668,8 \text{ час} \cdot 150 \text{ кг/ч}} = 34,82 \text{ руб/кг}$$

Себестоимость приготовления одного килограмма гранулята:

$$C_{\text{Гр}} = \frac{2197792,64 \text{ руб}}{1668,8 \text{ час} \cdot 150 \text{ кг/ч}} = 8,78 \text{ руб/кг}$$

Доход потребителя гранулята:

1) за счет замены мясо-костной или рыбо-костной муки на гранулят на годовой объем производства в 250 тонн:

$$\begin{aligned} D_{\text{пот}}^I &= (250320 \text{ кг/год} \cdot 31,89 \text{ руб/кг}) - (250320 \text{ кг/год} \cdot 8,78 \text{ руб/кг}) = \\ &= 7982704,8 - 2197809,6 = 5784895,2 \text{ руб/год} \end{aligned}$$

2) от замены витаминно-травяной муки на гранулят:

$$\begin{aligned} D_{\text{пот}}^{II} &= (250320 \text{ кг/год} \cdot 34,82 \text{ руб/кг}) - (250320 \text{ кг/год} \cdot 8,78 \text{ руб/кг}) = \\ &= 8716142,4 - 2197809,6 = 6518333,4 \text{ руб/год} \end{aligned}$$

Доход от снижения крошимости гранул при объеме производства 1 050 килограмм в смену:

$$\begin{aligned} D_{\text{кр}} = Y_i &= 0,01 \cdot 5,0\% \cdot (150 \text{ кг/ч} \cdot 7,0 \text{ ч/смену}) \cdot 238 \cdot 8,78 \text{ руб/кг} = \\ &= 109890,48 \text{ руб/год} \end{aligned}$$

Для третьего варианта с комплектом оборудования ООО «Экорм» снижение затрат мощности, по сопоставимой производительности – 600 кг/ч:

$$k_N = \frac{222,5 \text{ кВт}}{116,0 \text{ кВт}} = 1,918 \text{ раза или на } 92\%$$

Данные расчета экономической эффективности проекта сведены в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Техничко-экономические характеристики сравниваемых вариантов

Показатели	Сравниваемые варианты		
	базовый-I	базовый-II	предлагае- мый
Производительность, кг/ч	100,0	1 500	150
Установленная мощность привода, кВт	$\frac{80,5}{254,5}$	416,2	$\frac{29,0}{83,0}$
Масса оборудования линии, т	13,0	37,750	$\frac{0,85}{5,139}$
Энергоемкость, кВт·ч/кг	$\frac{0,805}{2,545}$	0,277	$\frac{0,190}{1,807}$
Металлоемкость, т/т/час	130,0	25,166	$\frac{5,67}{34,26}$
Степень превышения:			
по энергоемкости, раз	–	–	$\frac{4,2}{2,85}$ $\frac{1,41}{-}$
по металлоемкости, раз	–	–	$\frac{23,1}{4,44}$ $\frac{3,79}{-}$
Приведенные затраты, руб.	5 349 062,04	9 041 009,74	2 289 292,64
Годовой экономический эффект, руб.			
по I варианту	–	–	3 059 769,4
по II варианту	–	–	6 751 717,1
Срок окупаемости, лет			
по I варианту	–	–	0,1994
по II варианту	–	–	0,09
Доход потребителя гранулята, руб./год			
по I варианту	–	–	5 784 895,2
по II варианту	–	–	6 518 333,4

4.4 Методика расчета оборудования линии приготовления кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы

На основании проведенных исследований и совокупности полученных данных, разработаны технологическая и конструктивно-технологическая схемы производства кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы в виде белкового, белково-витаминного и белково-минерального гранулированного продукта (рис. 4.13 и 4.14), что выступает основой для расчета.

4 Производственная проверка основных результатов исследований, их технико-экономическая оценка и методика расчета технологической линии приготовления белково-минерального гранулята для птицы

Приведем методику расчета параметров линии и оборудования, предназначенных для приготовления кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы на основе сырья животного и растительного происхождения.

Исходными данными для расчета линии данного типа и входящего в нее технического оборудования будут являться:

- 1) обслуживаемое птичье поголовье;
- 2) свойства сырья, а также физико-механические показатели конечного продукта.

Суточную потребность птицы в кормовом гранулированном продукте находим по формуле (4.2):

$$G = \sum_{i=1}^n q_i \cdot m_i \quad (4.2)$$

где q_i – норма суточной потребности i -го вида птицы в кормовом гранулированном продукте;

m_i – общее количество птицы в i -й возрастной группе, гол.;

n – количество возрастных групп птицы.

Требуемая производительность линии за смену определяется выражением (4.3):

$$Q_{\text{л}} = \frac{G}{t_{\text{см}}} \quad (4.3)$$

где $t_{\text{см}}$ – время смены, ч.

Пропускная способность технологической линии $Q_{\text{л}}$, шнекового смесителя-усреднителя $Q_{\text{су}}$ и пресс-гранулятора $Q_{\text{пгг}}$ определяется из условия (4.4):

$$Q_{\text{л}} \geq \sum_{i=1}^n Q_i \leq Q_{\text{су}} \leq Q_{\text{пгг}} \leq k \cdot Q_{\text{с}} \quad (4.4)$$

где Q_i – подача i -го компонента кормовой смеси, кг/ч.

Подача i -го компонента рассчитывается по формуле (4.5):

$$Q_i = a \cdot Q_{л}/q \quad (4.5)$$

где a – необходимое количество i -го компонента в гранулах на одну голову, кг;
 q – необходимое количество добавки на одну голову, кг.

Измельчитель-пастоизготовитель разрабатывается по значениям q_i , рассчитанным по формулам (2.74) и (2.75), а также по значению пропускной способности (Q_i) для соответствующих кормовых компонентов по формуле (2.87). Значения мощности определяют по формуле (2.95).

Параметры смесителя-усреднителя рассчитывают с учетом выражений (2.146)–(2.149).

Параметры пресс-гранулятора и мощность, затрачиваемую на его привод, определяют в соответствии с выражениями (2.174)–(2.177), (2.227)–(2.229), а для лотковой сушилки – формулами (2.250) и (2.279).

В выражении (2.177) степень уплотнения определяется по формуле (2.176), исходя из величины $Q_{3у}$, а значение длины канала формирующей решетки – по формуле (2.238).

Энергоемкость процессов усреднения влаги и смешивания определяется с учетом формул (2.146)–(2.150), а гранулирования – с учетом формул (2.227), (2.228), (2.240)–(2.244).

Фактическое отклонение содержания влаги в преобразованном потоке двухкомпонентной смеси в гранулах определяется по выражению (4.6):

$$W = W_p \pm (12D_M)^{0,5} \quad (4.6)$$

При этом значение W_p определяется по выражению (2.166), а величина D_M устанавливается экспериментально для различного вида сырья и компонентов.

Технико-экономическую оценку данной технологии на стадии проектирования определяют расчетом с помощью решения системы уравнений (2.1) и имеющейся совокупности экспериментальных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании анализа состояния уровня механизации процессов приготовления гранулированной кормовой добавки для рационов сельскохозяйственной птицы обоснованы экономические и технологические подходы к созданию рациональной технологии и инновационных технических средств данного назначения, путем разработки экономико-математической модели оценки процесса получения добавки с учетом показателя крошимости гранул.

2. Установлены аналитические зависимости, характеризующие процесс трансформации исходного сырья в качественный готовый продукт, и обоснованы конструктивно-режимные и технологические параметры технических средств получения гранулята на основе бинарных композиций с использованием соевого компонента:

1) для измельчителя-пастоизготовителя: скорость вращения барабана в аппарате первичного резания (ω_6) от 87,86 до 88,38 с⁻¹; скорость движения полотна подающего транспортера ($v_{п.тр}$) с 0,0368 до 0,0536 м/с и скорость ножей аппарата вторичного резания (ω_n) с 58,0 до 61,2 с⁻¹, которые обеспечили неоднородность 8,66 % и энергоемкость процесса измельчения $11,08 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}}$;

2) для смесителя-усреднителя влаги: массовая доля соевого компонента – 28,1–50,0 %; влажность соево-пастовой композиции – 31,9–40,27 % при угловой скорости винта – 10,0 рад/с; эксцентриситета – 10,0 мм; диаметр винта – 30,0 мм и $t_{cy} \geq 4,3$ минут;

3) для пресс-гранулятора: угловая скорость прессующего узла – 6,97–9,6 с⁻¹; угловая скорость гранулирующего узла – 16,14–16,19 с⁻¹; длина канала формирующей решетки матрицы гранулирующего узла – 12,39–13,21 мм, при которых плотность влажных гранул составит 1 070,04 кг/м³ и энергоемкость – $0,017 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$; установлена зависимость между плотностью гранул и давлением, по которой

определено значение максимального давления (1,1 МПа);

4) для лотковой сушилки: исходная влажность гранул – 34,62–40,55 %; температура сушки – 95,64–110,0 °С; массовая доля соевого компонента – 51,37–58,89 %, при которых крошимость сушеных гранул составит 4,0 % и энергоемкость процесса сушки гранул – $0,30 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$.

3. Установлено для бинарных композиций:

1) на основе животного сырья: определены фактические значения водосвязывающей способности – 95 %; предельного напряжения сдвига – 290,0 Па и пластической вязкости – 4,95 Па·с, которые обеспечиваются при средневзвешенной длине частиц бинарной композиции от 0,52 до 0,78 мм и неоднородности их гранулометрического состава от 11,09 до 12,14 %, при массовой доле обезжиренной соевой муки от 34,81 до 39,67 %;

2) на основе растительного сырья: определены фактические значения водосвязывающей способности – 95,238 %; предельного напряжения сдвига – 242,7 Па и пластической вязкости – 2,435 Па·с, которые обеспечиваются при длине частиц от 0,42 до 0,74 мм и неоднородности их гранулометрического состава от 11,04 до 12,25 %, при массовой доле обезжиренной соевой муки от 34,81 до 39,67 %.

4. На основе совокупности полученных данных разработана двухвариантная технологическая линия приготовления белково-минеральной и белково-витаминной кормовой добавки для рационов сельскохозяйственной птицы. Установлено, что разработанная линия и оборудование, входящее в ее состав, обеспечивают получение кормовой добавки заданного однородного состава и требуемых свойств в виде гранул влажностью 8–10 %, с крошимостью не более 5,0 %.

5. В результате сравнительной технико-экономической оценки эффективности разработанных технологических и технических решений установлено, что они позволяют снизить:

1) металлоемкость по сравнению с комплектами оборудования: типа К7-ФКЕ – в 23,1 раза; типа АВМ-1,5 – в 4,44 раза;

2) энергоемкость по сравнению с комплектам: типа К7-ФКЕ – в 4,2 раза; типа АВМ-1,5 – в 2,85 раза; снизить затраты мощности по сравнению с линией «Экорм» на 92,0 % и получить годовой экономический эффект по приведенным затратам: по первому варианту в размере 3 059 769,4 руб. и по второму варианту 6 751 717,1 руб., а также доход от снижения крошимости гранулята в размере 109 890,48 руб./год при объеме производства 1 050 кг/смену.

Разработанные способ приготовления кормового продукта на основе бинарных композиций защищены патентами Российской Федерации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю. П., Марков Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : Наука, 1976. 280 с.
2. Алейникова Л. Д., Козлов Ю. С. Основы кормопроизводства. М. : Агропромиздат, 1988. 191 с.
3. Алешкин В. Р., Роцин П. М. Механизация животноводства. М. : Агропромиздат, 1985. 346 с.
4. Алешкин В. Р., Роцин П. М. Механизация животноводства. М. : Колос, 1993. 319 с.
5. Анисимов В. А. Повышение эффективности рабочего процесса приготовления костного фарша в звероводстве путем обоснования основных параметров и режимов работы пастоприготовителя конусного типа : дис. ... канд. техн. наук. Пермь, 2004. 196 с.
6. Антипова Л. В., Глотова И. А., Рогов И. А. Методы исследования мяса и мясных продуктов. М. : Колос, 2001. 376 с.
7. Ашмарин Н. П., Васильев Н. Н., Амбросов В. А. Быстрые методы статистической обработки и планирования экспериментов. Л. : Ленинградский государственный университет, 1974. 76 с.
8. Бабичев А. А. Соя в США // Масличные культуры. 1987. № 6. С. 21–24.
9. Барсов Н. А. Исследование режимов работы и оптимизации состава поточных технологических линий кормоцехов на зверофермах промышленного типа : автореф. дис. канд. техн. наук.. СПб., 1979. 24 с.
10. Бахтоков В. М. Бипланетарные и адаптивные циклоидальные смесители. М. : Индрик, 2000. 58 с.
11. Безматерных А. А. Повышение эффективности обработки отходов убоя птицы путем совершенствования конструктивно-режимных параметров охладителя мясокостной муки : дис. ... канд. техн. наук. Пермь, 2010. 162 с.

12. Белянчиков Н. Н., Смирнов А. И. Механизация животноводства. М. : Колос, 1983. 260 с.

13. Богданов В. Д., Дацун В. М., Ефимова М. В. Общие принципы переработки сырья и введение в технологии производства продуктов питания : учебное пособие. Петропавловск-Камчатский : Камчатский государственный технический университет, 2007. 213 с.

14. Боярский Л. Г. Производство и использование кормов. М. : Росагропромиздат, 1988. 275 с.

15. Бушуев С. В., Доценко С. М., Обухов Е. Б. Обоснование параметров технологии и технических средств для производства белково-минерального продукта // Вавиловские чтения – 2010 : материалы междунар. науч.-практ. конф. Саратов : КУБиК, 2010. С. 282–283.

16. Бушуев С. В., Доценко С. М., Самуйло В. В. Производство соево-ламинариевой добавки для птицы // Вавиловские чтения – 2010 : материалы междунар. науч.-практ. конф. Саратов : КУБиК, 2010. С. 18–21.

17. Вагин Б. И., Нуртаев Ш. Н., Филин А. А. Физико-механические свойства мясорыбных кормов // Записки Ленинградского сельскохозяйственного института. Механизация сельскохозяйственного производства. 1970. Т. 149. Вып. 2. С. 60–65.

18. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. М. : Колос, 1973. 199 с.

19. Волик В. Г. Отходы птицеводства для кормовых целей // Птицеводство. 2008. № 4. С. 22–23.

20. Волик В. Г. Современный подход к переработке отходов птицеводства на кормовые цели // Птица и птицепродукты. 2008. № 6. С. 23–24.

21. Воякин С. Н. Повышение энергетических показателей работы асинхронных электроприводов с центробежными агрегатами // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2012. № 8. С. 157–163.

22. Воякин С. Н. Получение гранулятов на основе соево-рыбкокостных композиций для сельскохозяйственной птицы // Агропромышленный комплекс на рубеже веков : материалы междунар. науч.-практ. конф. Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет, 2015. С. 113–117.

23. Воякин С. Н. Технологическое обоснование повышения эффективности производства белково-минерального гранулята для сельскохозяйственной птицы // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве : сб. науч. тр. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2016. С. 85–91.

24. Воякин С. Н., Вишнеvский А. Н. Получение гранулятов на основе соево-мясококостных и соево-рыбкокостных композиций // Актуальные проблемы в энергетике и средствах механизации АПК : материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2014. С. 6–11.

25. Воякин С. Н., Вишнеvский А. Н. Технология получения высокобелкового гранулята // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения : материалы V междунар. науч.-практ. конф. Ульяновск : Ульяновский государственный аграрный университет, 2013. С. 25–27.

26. Воякин С. Н., Доценко С. М. Использование крови животных и птицы при убое для производства белково-витаминно-минеральных добавок // Птицеводство. 2012. № 10. С. 47–49.

27. Воякин С. Н., Доценко С. М. Механико-технологическое обоснование повышения эффективности производства кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы // Кормопроизводство. 2013. № 1. С. 40–42.

28. Воякин С. Н., Доценко С. М. Обоснование технологии приготовления белково-минеральной добавки для сельскохозяйственной птицы // Повышение

эффективности механизации сельскохозяйственного производства : материалы всерос. науч.-практ. конф. Чебоксары : Чебоксарская государственная сельскохозяйственная академия, 2011. С. 90–92.

29. Воякин С. Н., Доценко С. М. Технологическая линия по производству кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2013. № 3. С. 12–14.

30. Воякин С. Н., Доценко С. М. Технологическая линия производства белково-минерального гранулята для птицы // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы III междунар. науч.-практ. конф. Ульяновск : Ульяновский государственный аграрный университет, 2011. С. 84–86.

31. Воякин С. Н., Доценко С. М. Технологическое обоснование повышения эффективности производства рыбкостного гранулята для птицы // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. № 4. С. 173–176.

32. Воякин С. Н., Доценко С. М. Технология приготовления гранулированной кормовой добавки // Птицеводство. 2012. № 10. С. 51–52.

33. Воякин С. Н., Доценко С. М., Бушуев С. В. Повышение эффективности производства мясокостного гранулята для птицы // Техника в сельском хозяйстве. 2012. № 1. С. 13–14.

34. Воякин С. Н., Доценко С. М., Вишневский А. Н. Обоснование параметров технических средств линии приготовления гранулята с использованием соевого компонента // Научное обозрение. 2014. № 3. С. 135–138.

35. Воякин С. Н., Доценко С. М., Вишневский А. Н. Рекомендации по повышению эффективности приготовления кормовой добавки на основе соевого компонента. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2014. 62 с.

36. Воякин С. Н., Доценко С. М., Вишневецкий А. Н. Технологические основы процессов и технических средств получения высокобелкового гранулята для птицы на основе сырья животного и растительного происхождения : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2014. 258 с.

37. Воякин С. Н., Доценко С. М., Широков В. А. Повышение эффективности и функционирования системы производства гранулированной кормовой добавки для сельскохозяйственных животных и птицы // Технические прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы XXII междунар. науч.-техн. конф. Глеваха : ИП Лисенко М. М., 2014. С. 140–141.

38. Воякин С. Н., Доценко С. М., Школьников П. Н. Кинетика уплотнения бинарной композиции в приложении к обоснованию параметров компрессионной камеры винтового пресса-гранулятора // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 4. С. 162–166.

39. Воякин С. Н., Доценко С. М., Школьников П. Н. Кинетика усреднения влаги в приложении к обоснованию мощности, затрачиваемой на привод пресс-гранулятора // АгроЭкоИнфо. 2018. № 1.

40. Воякин С. Н., Доценко С. М., Школьников П. Н. Кинетика усреднения влаги в приложении к обоснованию пропускной способности смесителя-усреднителя // АгроЭкоИнфо. 2017. № 4.

41. Воякин С. Н., Широков В. А., Вишневецкий А. Н. Обоснование эффективности процесса получения гранулированной кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве : сб. науч. тр. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2013. С. 49–54.

42. Воякин С. Н., Широков В. А., Вишневецкий А. Н. Характеристики процесса получения бинарных композиций на основе сырья животного и растительного

тельного происхождения // Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях: материалы междунар. науч.-практ. конф. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2015. С. 151–155.

43. Гарбарец Б. В. Исследование процесса измельчения кормов животного происхождения : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пушкин, 1970. 24 с.

44. Гарбарец Б. В., Мельников С. В. Определение степени измельчения и плотности мясо-рыбных кормов // Труды Магаданской сельскохозяйственной опытной станции. 1968. Вып. 3. С. 107–118.

45. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М. : Высшая школа, 1972. 368 с.

46. Горбатов А. В. Реология мясных и молочных продуктов. М. : Пищевая промышленность, 1979. 384 с.

47. Горбатов А. В., Косой В. Д. Влияние давления, влажности и температуры на структурно-механические свойства фарша // Известия вузов. Пищевая технология. 1972. № 2. С. 146.

48. Горячкин В. П. Собрание сочинений. М. : Колос, 1968. Т. 1. 719 с.

49. Дацун В. М., Шнейдерман С. И. Технология обработки гидробионтов. Производство кормовой, технической продукции и биологически активных веществ. Владивосток : Дальрыбвуз, 1999. 121 с.

50. Девяткин А. И. Рациональное использование кормов. М. : Росагропромиздат, 1990. 256 с.

51. Денисов А. М. Методика лабораторных испытаний кормоприготовительных машин // Научные труды Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства. 1964. Т. 14. С. 36–38.

52. Дерягин Б. В. Исследования по внешнему трению и прилипанию // Журнал физической химии. 1965. Т. 6. Вып. 1. С. 136–139.

53. Дмитриченко А. П., Пшеничный П. П. Кормление сельскохозяйственных животных. Л. : Колос, 1975. 480 с.

54. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.

55. Доценко С. М. Механико-технологические основы повышения эффективности приготовления и раздачи кормовых смесей. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 1996. 65 с.

56. Доценко С. М., Волков С. П., Ковалева Л. А. Рекомендации по разработке технологической линии и технических средств получения высокобелковых гранулированных кормосмесей для сельскохозяйственной птицы. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2007. 17 с.

57. Доценко С. М., Зайцева М. А., Ковалева Л. А. Рекомендации по разработке технологии и технологической линии получения водостойких гранулированных кормосмесей для рыб. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2007. 31 с.

58. Доценко С. М., Иванов С. А., Тильба В. А. Производство крупы и муки из соевого зерна // *Зерновое хозяйство*. 2002. № 7. С. 8–9.

59. Доценко С. М., Самуйло В. В. Машины и аппараты влаготепловой обработки соевого зерна. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 1996. 113 с.

60. Доценко С. М., Самуйло В. В. Машины и оборудование для производства заменителей цельного молока на основе соевого белка. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 1996. 200 с.

61. Доценко С. М., Самуйло В. В. Механизация технологических процессов подготовки соевого зерна и продуктов его переработки к скармливанию животных. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 1995. 445 с.

62. Доценко С. М., Самуйло В. В. Повышение эффективности подготовки

соевого зерна к скармливанию сельскохозяйственным животным. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 1996. 125 с.

63. Доценко С. М., Самуйло В. В. Технология и механизация переработки соевого зерна. М. : Научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований агропромышленного комплекса, 1996. 509 с.

64. Дрейнер Н., Смин Г. Прикладной регрессионный анализ. М. : Финансы и статистика, 1987. 349 с.

65. Ерсков Э. Р. Протеиновое питание животных. М. : Агропромиздат, 1985. 183 с.

66. Ефимов Н. П., Кнышев В. Н. Эффективность использования сои при откорме // Сборник научных статей Нижне-Волжского научно-производственного института сельского хозяйства. 1986. Т. 7. С. 93–97.

67. Жайлаубаев Д. Т., Гинзбург А. С., Рахыжанов О. С. Интенсификация процессов сушки и измельчения мясокостной муки // Мясная индустрия СССР. 1982. № 5. С. 16–17.

68. Жевлаков П. К. Исследование процессов смешивания кормов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1958. 18 с.

69. Заверюхин В. И., Левандовский И. П. Производство и использование сои. М. : Урожай, 1988. 120 с.

70. Завражнов А. И., Николаева Д. И. Механизация приготовления и хранения кормов. М. : Агропромиздат, 1990. 335 с.

71. Зафрен С. Я. Технология приготовления кормов. М. : Колос, 1977. 239 с.

72. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов. М. : Машгиз, 1964. 157 с.

73. Иванов К. А., Краснов С. Е. Пути эффективного использования вторичного сырья на предприятиях мясной промышленности : обзор. М. : Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований, 1970. 21 с.

74. Ивашов В. И. Технологическое оборудование предприятий мясной

промышленности. СПб. : ГИОРД, 2010. 736 с.

75. Карпин В. Ю. Повышение эффективности работы технологической линии производства сухих животных кормов путем моделирования процесса работы линии и рабочих органов измельчителя костей сельскохозяйственных животных : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2007. 176 с.

76. Карташов Л. П. Механизация и электрификация животноводства. М. : Колос, 1979. 351 с.

77. Каталог. Мясная промышленность. М. : Колос, 2004. 212 с.

78. Конструктивно-технологические аспекты повышения качества гранулята / С. Н. Воякин, С. М. Доценко, С. В. Вараксин, А. Н. Вишневецкий // Актуальные проблемы в энергетике и средствах механизации АПК : материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2015. С. 180–184.

79. Концептуальные аспекты разработки системы производства гранулированной кормовой добавки для сельскохозяйственных животных и птицы / С. Н. Воякин, С. М. Доценко, В. А. Широков, В. А. Макаров // Фундаментальные и прикладные науки сегодня : материалы IV междунар. науч.-практ. конф. North Charleston : Create Space, 2014. С. 97.

80. Кордомский Х. В. Приложения теории вероятности в инженерном деле. М. : Наука, 1978. 620 с.

81. Корн Г., Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М. : Агропромиздат, 1982. 211 с.

82. Красников В. В. Краткий справочник по физико-механическим свойствам сельскохозяйственных грузов. Саратов, 1972. 81 с.

83. Краюхин Г. А. Экономическая эффективность изобретений и рационализаторских предложений. Л. : Лениздат, 1983. 129 с.

84. Кузнецов О. А., Волошин Е. В., Сагитов Р. Ф. Реология пищевых масс : учебное пособие. Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2005.

106 с.

85. Кукта Г. М. Машины и оборудование для приготовления кормов. М. : Агропромиздат, 1987. 303 с.

86. Кукта Г. М. Технология переработки и приготовления кормов. М. : Колос, 1978. 240 с.

87. Кукта Г. М., Губко И. П., Коврига В. В. Методика определения физико-механических свойств кормов. Киев, 1973. 129 с.

88. Кулаковский И. В., Кирпичников Ф. С., Резник Е. И. Машины и оборудование для приготовления кормов : справочник. М. : Россельхозиздат, 1987. 285 с.

89. Кутузова А. А., Новоселов Ю. К., Харьков Г. Д. Увеличение производства растительного белка. М. : Колос, 1984. 191 с.

90. Лабораторный практикум по механизации и технологии животноводства / Б. И. Вагин, А. И. Чугунов, Ю. А. Мирзоянц [и др.]. Великие Луки : Великолукская городская типография, 2003. 535 с.

91. Лавриенко Г. Т. Соя. М. : Россельхозакадемия, 1978. 189 с.

92. Лесниковский А. Н., Сенченко Т. И. Оценка машин по общему критерию качества // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1974. № 3. С. 56–58.

93. Липатов Н. Н. Процессы и аппараты пищевых производств. М. : Экономика, 1987. 272 с.

94. Лысенко В. А. Утилизация отходов от переработки птицы // Птицеводство. 2005. № 8. С. 24–25.

95. Лысенко В. А. Утилизация отходов переработки птицы // Птицеводство. 2005. № 5. С. 23–24.

96. Мельников С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Л. : Колос, 1978. 560 с.

97. Методика экономической оценки технологии и машин в сельском хозяйстве. М. : Российская академия сельскохозяйственных наук, 2010. 145 с.
98. Механизация и технология производства продукции животноводства / В. Г. Коба, Н. В. Брагинец, Д. Н. Мурусидзе, В. Ф. Некрашевич. М. : Колос, 1999. 528 с.
99. Миончинский П. Н., Кожарова Л. С. Производство комбикормов. М. : Агропромиздат, 1991. 287 с.
100. Моделирование системы питания живых организмов / С. Н. Воякин, С. М. Доценко, В. А. Широков [и др.] // В мире научных открытий. 2014. № 6.1 (54). С. 623–639.
101. Модич М. Потребность птицы в питательных веществах. Вашингтон : Американская соевая компания, 1994. 240 с.
102. Монари С. Справочник по использованию в кормлении животных необезжиренных соевых бобов. Вашингтон : Американская соевая компания, 1995. 44 с.
103. Налимов В. В. Теория эксперимента. М. : Наука, 1971. 207 с.
104. Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М. : Наука, 1965. 360 с.
105. Наумович В. М. Теоретические основы процесса брикетирования торфа. Минск : Академия наук Белорусской ССР, 1970. 295 с.
106. Научные основы повышения эффективности приготовления кормовой добавки с использованием соевого компонента для сельскохозяйственной птицы : монография / С. Н. Воякин, С. М. Доценко, Л. А. Ковалева, С. В. Бушуев. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2013. 205 с.
107. О мерах по защите российского птицеводства : постановление Правительства РФ от 23.01.2003 № 48 // Собрание законодательства РФ. 2003. № 5. ст. 487.

108. Обоснование методического подхода к оценке эффективности работы линии по приготовлению кормовых продуктов на основе соево-зерновых композиций / С. Н. Воякин, С. М. Доценко, С. В. Вараксин [и др.]. // Научное обозрение. 2016. № 3. С. 51–58.

109. Обоснование подходов к оценке эффективности процесса производства кормовой добавки / С. Н. Воякин, С. М. Доценко, В. А. Широков, А. Н. Вишневский // Кормопроизводство. 2013. № 11. С. 33–35.

110. Обоснование процесса и параметров компрессионной камеры смесителя-гранулятора кормов / С. Н. Воякин, С. М. Доценко, В. А. Широков, А. Н. Вишневский // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. № 12. С. 208–213.

111. Обоснование схемы и параметров процесса получения соево-мясо-костных и соево-рыбкостных композиций / С. Н. Воякин, С. М. Доценко, В. А. Широков, А. Н. Вишневский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014. № 1. С. 12–14.

112. Орлова И. В., Половников В. А. Экономико-математические методы и модели: компьютерное моделирование. М. : Вузовский учебник, 2009. 365 с.

113. Оценка технико-экономической эффективности процесса производства кормовых добавок / С. Н. Воякин, С. М. Доценко, В. А. Широков, А. Н. Вишневский // Научные основы стратегии развития АПК и сельских территорий в условиях ВТО : материалы междунар. науч.-практ. конф. Волгоград : Волгоградский государственный аграрный университет, 2014. С. 73–76.

114. Пелеев А. И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности : справочник. М. : Пищевая промышленность, 1975. 591 с.

115. Перкинс Э. Г. Руководство по переработке и использованию сои. М. : Колос, 1998. 45 с.

116. Подобед Л. И. Эффективность некоторых способов подготовки зерна сои к скармливанию // Кормление сельскохозяйственных животных. 1985. № 5.

С. 19–22.

117. Потребность птицы в питательных веществах / пер. с англ. И. В. Щенниковой, О. В. Лищенко. М. : Колос, 2000. 255 с.

118. Приготовление, хранение и раздача кормов на животноводческих фермах / Е. В. Алябьев, Е. А. Вагин, В. В. Красников [и др.]. М. : Колос, 1977. 139 с.

119. Протодьянова М. М., Гедер Р. И. Методика рационального планирования экспериментов. М. : Наука, 1970. 125 с.

120. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М. : Наука, 1968. 360 с.

121. Раскатова Е. А. Исследование процесса образования сыпучих смесей в кормоприготовлении и его механизация : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1956. 22 с.

122. Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. Избранные труды. М. : Наука, 1979. 384 с.

123. Ревенко И. И. Оценка качества работы машин для измельчения кормов // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 1981. С. 215–230.

124. Резник Е. И., Алябьев Е. В. Механизация приготовления продуктов на животноводческих фермах и комплексах. М. : Всесоюзный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по сельскому хозяйству, 1983. 60 с.

125. Рыжук А. М. Обоснование параметров измельчителя мясо-рыбных кормов для звероводства : дис. ... канд. техн. наук. Пушкин, 1984. 239 с.

126. Свеженцов А. И. Зерно сои в питании животных и человека // Вестник сельскохозяйственной науки. 1992. № 7. С. 126–128.

127. Сичкарь В. И., Левитский А. П. Аминокислотный состав белка // Кормопроизводство. 1986. № 5. С. 10–12.

128. Смирнов В. И. Курс высшей математики. М. : Наука, 1985. 303 с.

129. Совершенствование технологий и технических средств приготовления кормов в животноводстве : сб. науч. тр. Всероссийского научно-исследовательского проектно-технологического института механизации и электрификации сельского хозяйства. Зеленоград, 1988. 220 с.

130. Социально-экономическое положение Амурской области : доклад. Благовещенск : Амурстат, 2017. 139 с.

131. Соя. Качество, использование, производство / В. С. Петибская, В. Ф. Баранов, А. В. Кочегура, С. В. Зеленцов. М. : Колос, 2001. 60 с.

132. Способы обработки соевых бобов непосредственно в хозяйствах : рекомендации. Краснодар : Северо-Кавказский научно-исследовательский институт животноводства, 1988. 32 с.

133. Справочник. Комбикорма, кормовые добавки и заменитель цельного молока / под ред. В. А. Крохиной. М. : Агропромиздат, 1990. 304 с.

134. Справочник по кормлению сельскохозяйственных животных / А. М. Венедиктов, П. И. Викторов, А. П. Калашников [и др.]. М. : Россельхозиздат, 1983. 303 с.

135. Справочник по кормопроизводству / под ред. М. А. Смурыгина. М. : Агропромиздат, 1985. 413 с.

136. Справочник по механизации фермерских хозяйств Дальнего Востока / под общ. ред. Б. И. Кашпуры. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 1996. 184 с.

137. Стабников В. Н., Баранцев В. И. Процессы и аппараты пищевых производств. М. : Колос, 1974. 359 с.

138. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов : справочник / под ред. А. В. Горбатова. М. : Легкая промышленность, 1982. 296 с.

139. Сыроватка В. И., Алябьев Е. В. Прогрессивные способы приготовления и хранения кормов. М. : Колос, 1970. 240 с.

140. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. М. : Наука, 1972.

296 с.

141. Теоретические исследования по обоснованию процесса получения белково-минерального гранулята / С. Н. Воякин, С. М. Доценко, С. В. Вараксин [и др.] // Научное обозрение. 2014. № 12. С. 737–743.

142. Теоретические основы процесса получения гранулированных бинарных композиций в системе приготовления кормовой добавки / С. Н. Воякин, С. М. Доценко, В. А. Широков [и др.] // Научное обозрение. 2014. № 8. С. 861–869.

143. Технологии производства белково-минеральной добавки на основе соевого сырья и морской капусты / С. М. Доценко, С. В. Бушуев, С. А. Иванов, В. В. Самуйло // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2010. № 8. С. 143–146.

144. Технологические линии и оборудование для приготовления кормов в хозяйствах : каталог. М. : Информагротех, 1992. 52 с.

145. Технология производства мясокостного гранулята для птицы / С. Н. Воякин, С. В. Бушуев, В. А. Широков, А. Н. Вишневецкий // Аграрные проблемы научного обеспечения Дальнего Востока : материалы науч.-практ. конф. Благовещенск : ООО «Типография», 2013. С. 68–70.

146. Тихонов Е. А. Повышение энергетической эффективности процессов переработки кости убойных животных за счет оптимизации последовательности технологических операций и методов обработки сырья : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2006. 176 с.

147. Тихонов Ю. Т. Об эффективности производства сухих и мясорыбных кормов // Кролиководство и звероводство. 1975. № 4. С. 17–18.

148. Тостогузов Б. Г. Новые формы белковой пищи. М. : Агропромиздат, 1987. 303 с.

149. Тютюнников А. И., Фадеев В. М. Повышение качества кормового белка. М. : Россельхозиздат, 1984. 18 с.

150. Тютюнникова А. И. Производство кормов в Сибири и на Дальнем Востоке. М. : Россельхозиздат, 1981. 350 с.

151. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. М. : Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, 1999. 592 с.

152. Фицев А. И., Воронкова Ф. В. Современные тенденции в оценке и нормировании протеина : обзорная информация. М. : Всесоюзный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований в сельском хозяйстве, 1986. 55 с.

153. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. М. : Наука, 1966. 522 с.

154. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. М. : Мир, 1977. 552 с.

155. Чабб Л. Антипитательные факторы в кормлении животных // Новейшие достижения в исследовании питания животных. 1985. Вып. 4. С. 27–48.

156. Чайка И. Производство и использование растительного белка. Краснодар, 1984. 21 с.

157. Шарвадзе Р. Л., Бабухадия К. Р. Технология использования морепродуктов Тихоокеанского бассейна при производстве птицеводческой продукции на Дальнем Востоке : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2011. 180 с.

158. Щеголев Б. М. Математическая обработка наблюдений. М. : Наука, 1969. 334 с.

159. Antal J. Ekonomické a biologické prednosti odchovu telat pri nahrade živo-cisnych bikovun rostinnymi // Biologizace a chemizace vyzivy zvirat. 1971. Vol. 7. P. 257–266.

160. Arscott G. H. Effect of soybean meal, extruded soybeans and ground raw soybeans on the performance of W. L. hens // Oregon State University Special Report. 1975. No. 448.

161. Effects of progressive substitutions of soybean oil meal plus tallow with full fat soybeans on broiler performances // *Feed International*. 1984. No. 26.

162. Fepley K. C. Full fat soybean meal in poultry and livestock feeds. St. Louis : American Soybean Association, 1984. 56 p.

163. Full fat soybeans for growing and finishing turkeys. 1. Live performance and carcass quality // *Poultry Science*. 1973. Vol. 52. P. 1936–1941.

164. Gorill A. D., Nicholson J. W. G. Effect of soybean trypsin inhibitor diarrhea and diet on flow rate, pH, proteolytic enzymes and nitrogen fractions in calf intestinal digest // *Journal of Animals Science*. 1971. Vol. 51. No. 2. P. 377–388.

165. Holmes B. Quality control of the raw material and end products in processing full fat soybeans // *Regional Conference on Full fat Soybeans*. Milan, 1987. P. 32–36.

166. Horani F. G. Use of full fat soybeans in poultry feeds // *Regional Conference on Full fat Soybeans*. Milan, 1987. P. 47–48.

167. Janssen W. M. A concept for a European Table of Energy Values for Poultry // *II European Symposium on Poultry Nutrition*. Wageningen, 1979. P. 57–59.

168. Latshaw J. D. Soybean processing and its effect on the laying hen // *Poultry Science*. 1974. Vol. 53. P. 1342–1347.

169. Legoy M. La graine de soja extrude par extrusion a sec dans l'alimentation des volailles et des vaches laiteres // *Onidol-Cis Symposium, 111 Congress sur le soja*. Paris, 1985. P. 63–67.

170. McNab J. Determination of the nutritional value of processed full fat soybeans for poultry // *Onidol-Cis Symposium, 111 Congress sur le soja*. Paris, 1985.

171. Nitsan Z. Soybean protein substitute for milk protein in milk replacers for suckling calves // *Journal of Dairy Science*. 1972. Vol. 55. No. 6. P. 811–821.

172. Oqundipe S. O., Adams A. W. Practical raw soybean for egg type Pullets // *Poultry Science*. 1974. Vol. 53. P. 2095–2101.

173. Papadopoulos G. Full fat soybeans in broiler diets. Brussels, American

Soybean Association, 1978. 76 p.

174. Paradis P. L. The feeding value of Pacific North West grown soybeans for broilers // Oregon State University Special Report. 1978. No. 511.

175. Paradis P. L. The feeding value of Pacific North West grown soybeans for market turkeys // Oregon State University Special Report. 1977. No. 497.

176. Paradis P. L. The feeding value of Pacific North West grown soybeans for replacement laying hens // Oregon State University Special Report. 1977. No. 493.

177. Peruelle J. L. Utilization des proteines par le veau preruminant a l'engrais. Utilization digestive des proteines de soja et des levures d'alkanes incoiporess dansles aliments d'allaitement // Inst. alim. anim. 1973. No. 3. P. 21–35.

178. Porter P. J., Britton W. M. Fatty acid composition of chicks fed full fat soybeans // Poultry Science. 1974. Vol. 53. P. 1137–1141.

179. Quality control of full fat soybeans in broiler chicken Haythornthwaite // Frontiers in Nutrition. 1983. No. 4

180. Ramsey H. A., Willard T. R. Soy protein for milk replacers // Journal of Dairy Science. 1975. Vol. 58. No. 3. P. 436–441.

181. Roy J. H. B. Protein in milk replacers for calves // Journal of the Science of Food and Agriculture. 1970. Vol. 21. No. 7. P. 346–351.

182. Sell J. L. Use of extruded whole soybeans in turkey diets // Iowa State University Poultry Newsletter. 1984. January. P. 3–5.

183. Smith K. J. Soybean meal usage in poultry diets // Joint Middle East Seminars on Poultry Nutrition. 1977. P. 43–45.

184. Thomason D. M. Whole (full fat) soybean use in broiler diets // Technical Report of the American Soybean Association. St Louis, 1986.

185. Turner C. A. Roasted soybeans in growing and finishing diets for turkeys // Feedstuffs. 1973. January 8. P. 30–31.

186. Vest L., Duvall J. The evaluation of whole soybeans process by three different methods on broiler performance // Special Report 292, Strain-Cagle's Poultry,

Inc., Dalton, 1985. P. 32–35.

187. Volkani R. Soy-enriched whey as milk replacer for pail-fed calves // Feedstuff. 1974. Vol. 46. No. 17. P. 37–38, 52.

188. Waibel P. E. Heat processed soybeans for turkeys // Minnesota Turkey Research Report. 1973. P. 22–24.

189. Waldroup P. W. Whole soybeans for poultry feeds // Worlds Poultry Science Journal. 1985. Vol. 37. P. 28–35.

190. Waldroup P. W., Cotton T. L. Maximum usage levels of cooked full fat soybeans in all-mash broiler diets // Poultry Science. 1974. Vol. 53. P. 677–680.

191. Waldroup P. W., Hazen K. R. An evaluation of roasted, extruded and raw unextracted soybeans in the diets of laying hens // Nutrition Reports y International. 1978. Vol. 18. P. 99–103.

192. White C. L. The use of unextracted soybeans for chicks. 1. Comparison of infra-red cooked, autoclaved and extruded soybeans // Poultry Science. 1967. Vol. 46. P. 1180–1185.

193. Wiseman J. The nutritive value of full fat soybeans, fats and oils in diets for meat poultry. Madrid : American Soybean Association, 1987. P. 14–18.

194. Wiseman J. Utilization of full fat soybeans and soybean oil meal in diets for livestock // Conference on Soy Protein Utilization. Madrid, 1983. P. 41–44.

Научное издание

Воякин Сергей Николаевич, доктор технических наук, доцент

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ КОРМОВ
ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ**

Монография

Подписано в печать 30.01.2023 г.
Формат 60x90/16. Уч.-изд. л – 9,94. Усл. печ. л. – 15,29.
Тираж 500 экз. Заказ 7.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет»

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии
Дальневосточного государственного
аграрного университета
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86