

Министерство сельского хозяйства РФ  
ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет»

На правах рукописи  


Вишневский Александр Николаевич

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПАРАМЕТРОВ ЛИНИИ  
ПРИГОТОВЛЕНИЯ СОЕВО-МЯСОКОСТНОГО ГРАНУЛЯТА  
ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ

Диссертация на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Специальность: 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Научный руководитель:  
доктор технических наук  
Школьников Павел Николаевич

Благовещенск 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
Глава 1 Научные и практические предпосылки к обоснованию повышения эффективности приготовления кормовой добавки птице с использованием мясокостного и соевого сырья .....	9
1.1 Особенности кормления птицы и общая характеристика высокобелковых кормов .....	9
1.2 Обзор существующих способов и технологий трансформации продуктов отходов убоя птицы в высокобелковые корма .....	17
1.3 Существующие технологии и совокупность оборудования для приготовления формованно-гранулированных кормовых смесей .....	21
1.4 Обзор научных исследований, направленных на повышение эффективности процесса получения гранулированных кормовых смесей .....	37
Выводы .....	41
Глава 2 Теоретические исследования по обоснованию процесса и параметров технических средств получения гранулята на основе соево-мясокостных композиций .....	44
2.1 Обоснование способа и экономико-математической модели оценки процесса получения гранулята на основе соево-мясокостной композиции .....	44
2.2 Теоретическое обоснование рабочего процесса и параметров измельчающе-гомогенизирующего устройства .....	50
2.3 Обоснование параметров смещающе-усредняющего узла в составе агрегата .....	54
2.4 Обоснование параметров рабочего процесса и параметров дозирующе-уплотняющего узла в составе агрегата .....	59
2.5 Обоснование параметров рабочего процесса прессующе-гранулирующего узла устройства в составе агрегата .....	67
2.6 Обоснование параметров обезвоживания гранул с помощью сушильного устройства камерного типа .....	72

Выводы .....	74
Глава 3 Программа, методика и результаты экспериментальных исследований .....	77
3.1 Программа и методы исследований .....	77
3.2 Результаты экспериментальных исследований по процессу получения качественных гранул и их анализ .....	91
Выводы .....	113
Глава 4 Производственная проверка основных результатов исследований, оценка их технико-экономической эффективности и методика расчета технологической линии приготовления гранулированной высокобелковой добавки для с/х птицы .....	115
4.1 Условия проведения производственной проверки по основным результатам исследований .....	115
4.2 Оценка технико-экономической эффективности основных результатов исследований .....	117
4.3 Методика расчета параметров технологической линии приготовления высокобелковой кормового продукта для с/х птицы .....	123
Выводы .....	125
Заключение .....	127
Библиографический список использованной литературы .....	130
Приложения .....	147

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема эффективного использования кормовых ресурсов в птицеводстве всегда была актуальной. Связано это с тем, что в структуре себестоимости продукции этой отрасли затраты на корма составляют от 50 до 75 %. При этом, наиболее дорогими являются белковые составляющие рациона в виде мясокостной и рыбной муки. В это же время, именно эти виды белковых кормов считаются наиболее ценными, так как они содержат в своем составе 40 – 50 % белков и способны удовлетворить совокупную потребность птицы в незаменимых аминокислотах [94, 95, 97, 98, 154].

Однако качество и рыбной и мясокостной муки напрямую зависит от качества исходного сырья. Так, из разных видов рыбы получается рыбная мука различных качественных показателей, а пролонгирование сроков её хранения, даже при отрицательных температурах, способствует росту содержания токсичных веществ. При этом доступность аминокислот из мясокостной муки значительно ниже, чем из растительного шрота, что снижает экономическую эффективность ее применения [21].

Заменой животных источников протеина может служить шрот из семян подсолнечника. Однако, по составу незаменимых аминокислот этот белок уступает и рыбной и мясокостной муке, а также соевому шроту. При этом использование данного шрота возможно лишь при дополнительном балансировании его белка синтетическими аминокислотами [154].

Известно, что в кормовом балансе зарубежных стран соевое зерно и продукты ее переработки занимают основную роль, так как эти продукты богаты полноценными белками, жирами, а также биологически активными веществами в виде токоферолов [74, 76].

В нашей стране, несмотря на то, что на Дальнем Востоке и Краснодарском крае производится такая высокобелковая культура как соя, данные продукты не нашли широкого применения в кормлении животных и птицы. Наличие данной проблемы обусловлено отсутствием специальной техники и технологий, а также научно обоснованных данных для их проектирования и конструк-

ирования.

В тоже время, не в полной мере используется и такое мясокостное минеральное сырье, как отходы от убоя и переработки птицы.

Однако, как показывают многолетние исследования, использование данного сырья, в различных его сочетаниях, дает существенный зоотехнический и экономический эффекты.

В этой связи, исследования, направленные на создание технологии и технических средств приготовления кормовой добавки в составе технологической линии на основе местного Дальневосточного сырья, а также отходов убоя и переработки птицы, являются актуальными.

**Степень разработанности темы.** Вопросам приготовления кормов на основе мясного и мясокостного сырья посвящены работы Анисимова В.А., Барсова Н.А., Вагина Б.И., Безматерных А.А., Волик В.Г., Тихонова Ю.Т., Тихонова Е.А. и других ученых.

В результате проведённых исследований получены данные по приготовлению паст и фаршей для нужд звероводства, а также переработки отходов птицеводства на кормовые цели, в рамках разработки и создания технических средств повышенной производительности.

Однако, в настоящее время нет достаточных данных для проектирования и конструирования технических средств, обеспечивающих в совокупности приготовление гранулированных кормовых добавок на основе соево-мясокостных композиций с относительно низкими затратами труда и средств и качеством, отвечающим зоотребованиям.

**Рабочей гипотезой** для решения данной научно-технической задачи являлось предположение о том, что повышение эффективности процессов приготовления высокобелковой кормовой добавки возможно и целесообразно, путем ее получения в виде соево-мясокостного гранулята, на специальных технических средствах, обеспечивающих усреднение влаги в мясокостном сырье и композициях с последующим формированием качественных гранул и выявлением закономерностей и зависимостей, характеризующих данные процессы, а также

установлением оптимальных значений параметров технических средств для ее получения.

**Целью исследований** является повышение эффективности процесса приготовления высокобелковой кормовой добавки на основе сырья животного и растительного происхождения, путем обоснования способа и параметров ее получения.

**Объект исследований** – технологический процесс получения белково-минеральной кормовой добавки на основе соевого и субпродуктово-мясокостного сырья.

**Предмет исследований** – закономерности процессов усреднения влаги в субпродуктово-мясокостном сырье и кормовой смеси на его основе, а также формования и сушки гранул данного состава.

**Задачи исследований:**

- на основании анализа литературных источников обосновать рациональный способ приготовления высокобелковой кормовой добавки с использованием отходов убоя птицы и соевого компонента, соответствующей трансформации;
- разработать функционально-структурную схему и экономико-математическую модель оценки функционирования технической системы по приготовлению кормовой добавки птице;
- установить аналитические зависимости, характеризующие процесс получения высокобелковой кормовой добавки с помощью функционально-сопряженных технических средств, скомпонованных в технологическую линию;
- получить экспериментальные математические модели оценки соево-мясокостных фаршевых композиций по реологическим и технологическим показателям, обосновать параметры и степень сходимости результатов теоретического и экспериментального характера;
- провести производственную проверку основных результатов исследований, дать им технико-экономическую оценку, разработать методику расчета параметров технологической линии и рекомендации по ее использованию в си-

стеме кормления с/х птицы.

**Общая методика исследований.** Теоретические исследования проводились на основе методов математики, технической механики и сопротивления материалов.

Экспериментальные исследования проводились с использованием классического однофакторного метода, а также метода планирования многофакторного эксперимента, общих и частных методик, а также соответствующих ГОСТов. Результаты экспериментов обрабатывались методами математической статистики с использованием ПЭВМ и программы «Statistica-7.0».

**Научную новизну** представляют:

- обоснование возможности и целесообразности получения белково-минеральной добавки на основе соевого и субпродуктового мясокостного сырья;
- аналитические зависимости по обоснованию параметров процессов усреднения влаги в мясокостном сырье и соево-мясокостных композициях, плотности влажных гранул и параметров компрессионной камеры смесителя-гранулятора, его пропускной способности и мощности, а также параметров сушки гранул с показателями качества не ниже определённых зоотребованиями;
- экспериментально полученные математические модели процесса приготовления соево-мясокостного гранулята, на основе которых обоснованы области оптимальных значений факторов, влияющих на однородность бинарной композиции – необезжиренная термообработанная соевая мука + мясокостная паста, её структурно-механические показатели, а также на мощность, крошимость и влажность гранул.

**Практическая значимость работы.** Обоснованы технология, а также совокупность технических средств, с их параметрами, позволяющими проектировать технические системы для приготовления высокобелковых продуктов заданного состава и свойств.

Разработана методика расчета технологической линии приготовления соево-мясокостного гранулята для с/х птицы, как функционально-связанной сово-

купности технических средств, а также рекомендации по использованию.

**Реализация результатов работы.** Результаты исследований в виде методических материалов по повышению эффективности приготовления кормовой добавки на основе соевого и субпродуктово-мясокостного компонентов внедрены в ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности» г. Воронеж, ООО «Амурский бройлер» Амурская область, а также используются в ряде учебных вузов страны.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации доложены, обсуждены и одобрены на международных научно-практических конференциях ДальГАУ и ВНИИ сои г. Благовещенск 2012 – 2025 гг., Ульяновской ГСХА, г. Ульяновск (2013 г.), Волгоградской ГСХА, г. Волгоград (2014 г.). Работа отмечена дипломом Волгоградского ГАУ (28-30 января 2014 г.)

**Публикации.** Основное содержание диссертации опубликовано в 40 работах, в том числе 12 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 13 патентах РФ на изобретения. Общий объем публикаций 29,3 п.л., из них личный вклад автора – 14,7 п.л.

**Основные положения, вынесенные на защиту:**

- результаты теоретических исследований, включающие: аналитические выражения для определения конструктивно-режимных параметров измельчителя МКС, смесителя-гранулятора в виде агрегата и сушилки, а также технологических параметров процесса приготовления белково-минерального гранулята с использованием соевой муки;
- результаты экспериментальных исследований по обоснованию оптимальных значений параметров процессов приготовления кормового гранулята;
- результаты технико-экономической оценки предложенных технологических и технических решений.

**Структура и объём работы.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 181 наименование и 26 приложений.

Работа изложена на 174 страницах машинописного текста, содержит 35 таблиц и 69 рисунков.

# Глава 1 НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОБОСНОВАНИЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ ПТИЦЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЯСОКОСТНОГО И СОЕВОГО СЫРЬЯ

## 1.1 Особенности кормления птицы и общая характеристика высокобелковых кормов

Особенности кормления сельскохозяйственной птицы определяются ее хозяйственными и биологическими особенностями [71, 74].

Ключевой проблемой кормления цыплят и цыплят-бройлеров является обеспечение интенсивного их роста при минимальных затратах кормов на единицу прироста живой массы [71].

При этом, сухое кормление птицы рассчитано на два возрастных периода: с первой до четвертой недели и с пятой недели и старше.

В первый период требуется содержание в 100 граммах корма 22 грамм сырого протеина, а во втором – 19,7 гр.

Согласно данным, приведенным в источнике [122] для кормления цыплят-бройлеров используют в первый период комбикорма по рецепту ПК-5-1-89 и ПК-6-4-89, которые в своей основе содержат шрот соевый обезжиренный от 12 % до 15 %, а также мясокостную муку – 2,0 % и кормовой жир до 2,7 %. При этом, в рецептуру добавляют синтетический метионин.

Для второго периода кормления предусмотрены рецепты серии К-5-3-89 и К-6-6-89, включающие мясокостную муку до 6%, а также шрот обезжиренный до 16 %.

Согласно приведенным данным, указанные выше рецептуры комбикормов обеспечивают получение живой массы птицы в 56-дневном возрасте 1800-1900 грамм, при затратах кормов на 1,0 кг прироста в количестве 2,2-2,5 кг.

Анализ приведенных данных показывает, что используемые рецептуры содержат обезжиренный шрот и, следовательно, в нем отсутствует витамин Е естественной природы.

В этой связи этот, так называемый «витамин размножения», вводят в ра-

ционы в его искусственной форме.

Широкое использование соевого шрота в кормлении птицы связано с наличием его больших объемов производства. Соевый шрот является побочным продуктом, получаемым при производстве соевого масла промышленным способом [112, 129].

В то же время, на основе соевого шрота в больших количествах производят и соевую муку в ее обезжиренной форме.

Основными стадиями производства обезжиренной соевой муки является очистка исходного соевого зерна, его сушка, дробление с удалением оболочки, подсушивание, экстракция масла растворителя типа гексана, помол лепестка и рассев на фракции. При этом, для получения качественного белка, оцениваемого по показателю растворимости белка, наиболее критической является процесс удаления гексана.

Для этого применяют обработку обезжиренной соевой муки перегретыми парами гексана, обработкой острым паром, или же проводят обжаривание (тостирование). При термической обработке происходит так называемая денатурация белка различной степени, которая определяет различный уровень биологической ценности соевого белка. В свою очередь, степень денатурации белка и, следовательно, его биологическая ценность, характеризующаяся прежде всего содержанием незаменимых аминокислот, зависит от режима термообработки, который условно делят на «мягкий» и «жесткий».

По данным Толстогузова В.Б. [129] растворимость белка уменьшается с 90,0 % до 25,0 % уже после 10,0 минут обработки соевой обезжиренной муки острым паром.

При этом, при «мягких» режимах обработки наблюдается остаточное количество антипитательных веществ в виде ингибиторов трипсина, которые по данным Liener замедляют рост птицы, при одновременном увеличении размеров поджелудочной железы [121, 129].

При этом, исследованиями было установлено, что такой энзим, как уреаза, разрушается при тепловой обработке соевой муки с такой же скоростью, как и ингибиторы трипсина, в качестве показателя оценки была принята актив-

ность уреазы. Она определяется в единицах рН.

В комбикормовой промышленности США была принята величина в 0,2 рН, хотя исследования показывали, что соевая обезжиренная мука со значением уреазного числа до 0,5рН допустима в кормах для птицы.

Наряду с обезжиренной соевой мукой получают и полуобезжиренную соевую муку на основе, так называемого, соевого жмыха, который образуется в результате отжима соевого масла на специальных прессах типа ПШМ-250 [37].

Содержание липидов в муке, полученной таким способом, составляет от 4,0 до 8,0 %, поэтому ее называют мукой с низкой жирностью.

По данным Толстогузова В.Б. [129] все три известных вида соевой муки характеризуются следующими показателями:

- необезжиреная соевая мука влажностью 8,0 % содержит 40 % белка, 18 % липидов и 5,5 % минеральных веществ;
- соевая мука низкой жирности и той же влажности содержит 45 % белка и 4,5 % липидов, при наличии 6,5 % минеральных веществ;
- обезжиренная соевая мука, при 8,0 % влажности содержит 50,0 % белка, до 1,0 % липидов и 6,5 % минеральных веществ.

Следует отметить, что получение соевого масла методом прессования, характеризуется жёсткими температурными режимами, поэтому содержащийся в жмыхе соевый белок, характеризуется низким значением коэффициента растворимости белка (КРБ).

В то же время известным является тот факт, что при жестких режимах обработки теряется часть незаменимых термолабильных аминокислот и, в частности – лизина, метионина, цистина и т.д.

По данным, приведенным в источнике [115], потери цистина достигают 50,0 %, при этом еще наблюдается и частичное окисление липидов.

При этом, по данным, приведенным в источнике [115], процент истинной переваримости лизина, метионина и цистина в муке из сои составляет соответственно: 91 %, 92 % и 82 %, а жмыха – 84 %, 93 % и 78 %.

В то же время, в источнике [115] приведены данные, характеризующие истинную переваримость определенных аминокислот в муке животного проис-

хождения следующих видов:

- 1) кровяная мука с содержанием протеина 81 % - 89 % - по лизину – 86 %, метионину – 91 % и цистину – 76 %;
- 2) перьевая мука с содержанием протеина 86 % - по лизину, метионину и цистину соответственно – 66 %, 91 % и 59 %;
- 3) рыбная мука – 60-63 % протеина: лизин – 88 %, метионин – 73 % и цистин – 73 %;
- 4) мясная мука с 50-54 %м белка – по лизину – 79 %, метионину – 92 % и цистину – 58 %;
- 5) мука из субпродуктов птицеводства, с содержанием 58 % белка – по лизину – 80 %, по метионину – 86 % и цистину – 61 %.

Анализ приведенных данных показывает, что наилучшие показатели имеет кровяная мука, а также мука, получаемая на основе субпродуктов птицы.

В качестве отходов убоя птицы получают кровь, кишечник, лапы, шеи, кости, обрезь, шкурку, которые используются в кормах после измельчения и сушки в виде соответствующего ассортимента муки.

По содержанию белка, макро- и микроэлементов, а также витаминов и, в частности  $B_{12}$ , мука на основе животного сырья представляет собой полноценный компонент для включения его в рецептуры для птицы с долей 8,0-10,0 % [115, 122]

Перечень видов муки с их характеристикой, приведен в таблице 1.1 [11, 12, 49].

Таблица 1.1 – Питательная ценность продуктов из отходового сырья мясной промышленности, % [49]

Кормовой продукт в виде муки:	Содержание, %					Содержание в 1 кг, г	
	Влажность	Протеин	Жир	БЭВ	Зола	Са	F
мясной (50-60 % белка)	8,500	57,000	15,600	4,200	14,700	35,700	19,200
мясокостной (20 % минеральных веществ)	10,000	50,800	15,600	3,600	16,300	31,800	14,500
кровянной	6,500	88,000	1,000	0,500	4,000	4,500	3,100

Мясную муку получают на основе внутренностей тушек птицы и т.д.; мясокостную – из голов, лапок и шей; перьевую – из перьев, а кровянную из крови.

Во всех случаях могут быть использованы отходы инкубации яиц.

Данными таблицы 1.2 характеризуется аминокислотный состав мясных продуктов на основе отходового соевого сырья и сырья, полученного из птицы.

Таблица 1.2 – Содержание аминокислот в мясных продуктах

Аминокислоты протеина	Соевый шрот, протеин – 45 %	Мука		
		мясная, с со- держанием белка 40,0 %	перьевая, с содержанием белка 85,0 %	из отходов переработки птицы, с содержанием белка 55,0 %
Аргинин	7,460	7,460	6,410	6,810
Гистидин	2,490	1,790	0,460	1,470
Лизин	6,170	5,490	1,760	6,970
Лейцин	7,690	6,530	8,480	5,140
Изолейцин	5,500	3,260	4,330	5,720
Метионин + Цистин	2,860	2,410	4,130	2,930
Фенилаланин	4,860	3,820	4,310	4,120
Треонин	4,030	3,620	4,510	4,940
Триптофан	1,690	0,730	0,660	0,340
Валин	5,400	5,280	7,450	5,600

Как следует из анализа данных таблицы 1.2 наибольшую биологическую ценность имеет соевый белок, содержащийся в соевом шроте.

Однако, как уже указывалось выше, соевый шрот является обезжиренным продуктом, а потому в его составе отсутствует витамин Е. Кроме этого, в соевом шроте присутствуют следы растворителя гексана.

Многочисленные исследования, проведенные за рубежом [149, 158, 167, 172, 181], показали большую эффективность скармливания бройлерам полноожирной термообработанной сои.

По результатам исследований было установлено, что улучшение использования кормов, входящих в рационы напрямую, было связано с введением полноожирной сои [75].

Исследованиями JNRA установлено, что при сравнении с контрольным, все рационы, содержащие термообработанную полноожирную сою в измельченном виде, улучшали как рост птицы, так и конверсию кормов [76].

Такие же результаты получил в опытах и Селл в 1984 г. [170].

Попадопулосом в 1987 г. установлено, что использование полноожирной термообработанной сои позволило получить общую экономию кормов, в результате снижения количества их потребления [165].

Аналогичные результаты в многочисленных опытах были получены Оэлтманом в 1986 г. и Арскоттом в 1985 г. [75, 152].

На основании многочисленных данных в приведенных работах [75, 76] отмечается, что только термообработанная соя, в количестве до 20,0 %, введенная в рационы бройлеров дает положительные результаты по росту цыплят, а также по конверсии кормов и снижению падежа птицы.

При этом, активность уреазы в подготовленной по мягким режимам термообработки полножирной сои должна находиться в пределах 0,02 – 0,1 рН, ед.

Кроме этого, в результате исследований установлены аминокислотный баланс полножирной термообработанной сои, а также модель идеального белка для бройлеров (таблица 1.3) [75, 76].

Таблица 1.3 – Аминокислотный баланс полножирной сои и модель идеального белка для бройлеров\*

Аминокислота	Процент в полножирной сое	Аминокислотный баланс полножирной сои лизин = 100	Аминокислотный баланс в идеальном белке для бройлера лизин = 100
Лизин	2,20	100	100
Метионин	0,50	23	44
Тreonин	1,41	64	67
Триптофан	0,48	22	19
Гистидин	0,89	40	44
Аргинин	2,55	116	90

\* Фейвор Паркер, 1983 [75]

На графике (рисунок 1.1) приведены данные, которые показывают, как и данные таблицы 1.1, что за исключением метионина все другие аминокислоты соевого белка представлены на приемлемом уровне.

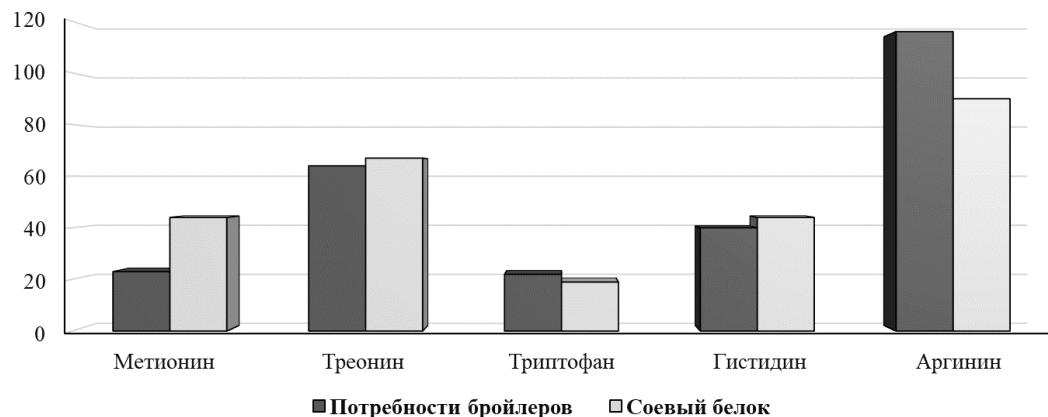


Рисунок 1.1 – Сравнительные данные по наличию аминокислот в белке сои и

потребностью бройлеров в аминокислотах, лизин = 100 [75]

При этом, отмечается, что дефицит метионина может быть восполнен использованием синтетического метионина.

Исследованиями также установлено, что конверсия кормов при использовании в рационах полножирной сои находится в пределах от 2,035 до 2,180.

В исследованиях, проведенных в Северно-Кавказском НИИ животноводства также установлено, что конверсия кормов при откорме цыплят-бройлеров составляет 2,020 при использовании термообработанной полножирной сои в количестве до 30,0 % [121].

При этом, и отечественные, и зарубежные специалисты в области кормления птицы отмечают, что корма в гранулированной физической форме наиболее полно отвечают физиологии цыплят-бройлеров, кур, уток и индеек [75, 76, 115, 121].

Согласно ГОСТ 2169-76 «Термины и определения» гранулированный комбикорм представляет собой продукт в виде плотных комочеков определенной формы и размеров, полученный путем прессования исходного сырья, предварительно подготовленного способом дезинтегрирования [73].

К гранулированно-формованному кормовому продукту для птицы предъявляются следующие требования [94]: по влажности гранулята – не > 14%; по крошимости – не > 8%; по проходу через сито с отверстиями диаметром 2,0 мм – не >10%; по длине – не > 3,0 мм; по диаметру – не > 5,0 мм; по органолептическим показателям – запах, вид и цвет – соответствующий; по виду – однородно-структурные; по зараженности исходного сырья вредителями – не допускается; по содержанию частиц металломагнитных примесей до 2,00 мм – не допускаются [73].

Требования к комбикормам для птицы и показатели качества крупки после гранулирования приведены в таблице 1.4 [73].

Как уже было установлено выше, наиболее полно физиологическим потребностям с.х. птицы отвечает полножирная термообработанная соя. При этом, ее физическая форма может быть в виде экструдата, жмыха или муки, по-

лученных при соблюдении мягких режимов термообработки [149, 150, 156, 159, 164].

Таблица 1.4 – Требования к качеству комбикормов для сельскохозяйственной птицы, характеризуемого остатком на сите, % [73]

Вид птицы	Диаметр отверстий сит, мм	
	3,0	5,0
Куры-несушки в возрасте 7,0 … 18,0 мес. (181,0 … 640,0 дней)	3,5 (не менее)	5 (не более)
Цыплята в возрасте 1,0 … 4,0 дней	5,0 (не более)	Не допускается
Молодняк в возрасте 5,0 … 20,0 дней	5,0 (не более)	То же
21,0 … 90,0 дней	15 (не более)	-II-
90,0 … 150,0 дней	3,5 (не менее)	5,0
Бройлеры в возрасте 5,0 … 50,0 дней	15 (не более)	Не допускается

Как показал проведенный анализ, всем этим требованиям в полной мере отвечает соевый мучной продукт, получаемый с помощью отечественного комплекта оборудования для производства соевой муки серии КПСМ-850 (рис. 1.2).

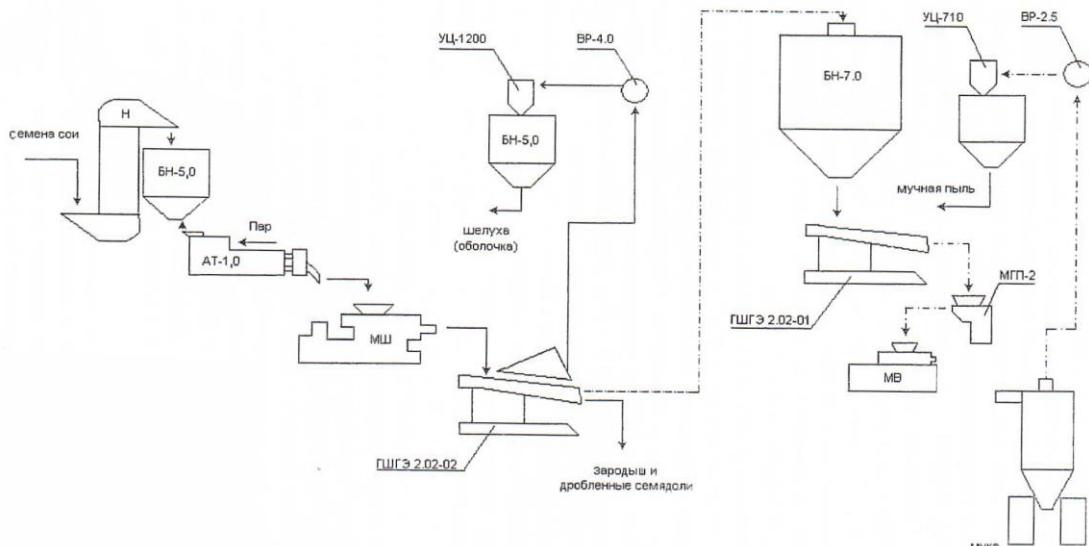


Рисунок 1.2 – Конструктивно-технологическая схема линии по производству соевой муки на основе комплекта оборудования КПСМ-850 [39]

Отличительной особенностью данного оборудования является то, что получаемые отходовые фракции в виде оболочковой, семядолевой и зародышевой составляющих в общем объеме до 15 %, также являются полноценным кормом и могут быть использованы в кормлении птицы различного вида и возраста [47, 118].

## 1.2 Обзор существующих способов и технологий трансформации продуктов убоя птицы в высокобелковые корма

Известно, что процесс выращивания птицы на мясо тесно связан с получением, так называемых, отходов от ее переработки, которые в общем объеме составляют не менее 30,0 %.

На сегодняшний день известны три способа трансформации такого сырья в кормовые продукты, содержащие полноценный по аминокислотному составу протеин. К ним относят паровой и ферментный гидролиз, а также экструзионную обработку. Данные технологии обладают и достоинствами, и недостатками, основными из которых являются высокие энергоемкость и металлоемкость.

Паровой гидролиз – наиболее распространенный способ трансформации отходового сырья в корма с помощью котлов-деструкторов, в результате реализации которого получают мясокостную муку.

К достоинствам данного способа относят: унификацию оборудования; возможность возвращения продукта в виде мясокостной муки в процесс выращивания птицы путем использования ее на корм; отсутствие предварительной сортировки отходов, что приводит к снижению затрат.

К недостаткам данного способа относят: низкое усвоение протеина мясокостной муки – 25...30 %; возможная токсичность мясокостной муки из-за термического перегрева.

Процесс ферментного гидролиза по технологии, разработанный ВНИИПП включает следующие операции: высокотемпературное воздействие на массу мягких отходов; ферментную обработку перопухового сырья; приготовление белковой добавки на основе крови.

С помощью данной технологии повышается усвояемость протеина до 80,0 %, а также она позволяет расширить ассортимент получаемой продукции в виде трех видов муки: мясокостной, перьевoy и кровяной [11, 12].

В таблице 1.5 приведены данные по энергоемкости существующих технологий трансформации исходного сырья.

Таблица 1.5 – Данные по энергоемкости существующих технологий [6]

№ п/п	Способ трансфор- мации сырья	Расход электроэнергии на производство 1 тонны го- тового продукта, кВт·ч	Расход пара на производство 1 тонны готового продукта, кг	Энергоемкость, кВт·ч/т
1	Экструдирование	240,000	-	240,000
2	Паровой гидролиз	220,000	1800,000	1768,000
3	Ферментный гид- ролиз	200,000	1500,000	1490,000

Анализ данных показывает, что наименее затратной является экструзионная технология трансформации сырья, которая к тому же не использует пар.

В то же время, расчеты, проведенные в отношении технической эффективности по трем известным вариантам (таблица 1.5) показали, что по первому варианту она составляет 4,17 кг/кВт·ч, а по второму и третьему соответственно – 4,54 кг/кВт·ч и 5,0 кг/кВт·ч.

Экструзионный способ обработки заключается в использовании кратковременного термического воздействия на смесь отходов птицы и зерна при соответствующем давлении в экструдере (рисунок 1.3) [6].



Рисунок 1.3 – Технологическая схема переработки отходов убоя  
в ООО «АгроСояКомплект» (ООО «ACK»)

В ЗАО «ЭКОРМ» предложен способ трансформации сырья на основе отходов животного происхождения по технологической схеме, аналогичной рисунку 1.3.

К недостаткам процесса переработки отходов способом экструзии отно-

сят высокую влажность готового продукта, а также невозможность переработки перопухового сырья [6]. При этом, установленная мощность эксрудера составляет 190,1 кВт. Это дает энергоемкость, равную  $N_{\mathcal{E}} = 0,278 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ , что является неприемлемым для КФХ, ИП и ЛПХ.

Применение тех или иных существующих способов переработки отходов убоя птицы авторы работы [11] определяют видом перерабатываемого сырья; типом его обработки, которая делится на раздельную или не раздельную, а также видом технологического воздействия на сырьё.

По данным автора работы [11] наиболее энергоемким, требующим наибольшего количества пара и электроэнергии является паровой гидролиз с использованием котлов-деструкторов.

Машины для приготовления мучных кормовых продуктов из животного сырья должны отвечать следующим требованиям: соответствовать по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям требованиям ГОСТ 17536-82; исходное мясное сырье и кровь должны проходить ветсанэкспертизу; необходимо выполнение всех технологических режимов; отсутствие потерь жира и белков; сырье должно быть бактериально обезврежено; отсутствие в мучном продукте частиц диаметром  $> 5 \text{ мм}$  и примесей; универсальность машины по сырью с высокой эксплуатационной надежностью и простотой в обслуживании; полная механизация и автоматизация управления и контроля; обязательное применение антиокислителей жира; отсутствие загрязненности на всех этапах; упаковка мучного продукта в соответствие с ГОСТ 2226-65; хранение мучного продукта при отрицательной температуре [12].

На наш взгляд, замена мучной формы данного продукта на гранулированную позволяет повысить эффективность производства данных БВКД, за счет снижения потерь и увеличения их хранимоспособности.

Наиболее простой технологией переработки мясокостного сырья, с целью его использования в качестве корма, является технология измельчения с последующим перемешиванием полученной фаршевой массы [43].

Существующие измельчители мясного и рыбного сырья разработаны для

грубого (в виде дробилок-измельчителей) и тонкого измельчения (в виде мясо-рубок-волчков) с большим разнообразием по их устройству [42, 45, 52].

Оборудование для грубого измельчения представлено следующими видами измельчителей.

Дробилка ДТК-78 предназначена для грубого измельчения мясокостных кормов и мороженой рыбы со средними размерами кусков 30...50 мм и суточной производительностью свыше 50 т кормов.

Силовой измельчитель серии К7-ФИС, кроме названных выше кормов, может измельчать сырую кость, головы и т.д.

Измельчитель типа ЦС-253 представляет собой силовой измельчитель с двухступенчатым рабочим органом для грубого и тонкого измельчения. Основные показатели измельчителей, указанных выше типов, приведены в таблице 1.6.

Установлено, что роторные дробилки более экономичны, чем силовые измельчители, удельный расход энергии их ниже на 40% [43, 52].

Таблица 1.6 – Техническая характеристика измельчителей мясокостных и рыбных кормов [45]

Показатель	Марка измельчителя серии:			
	ДТК-78	Ж9-ФИС	К7-ФИС	ЦС-253
Производительность, т/ч	15,0	1,5	3,0...4,5	10
Частота вращения рабочего органа, с <sup>-1</sup>	16,2	0,7	0,77	-
Мощность электродвигателя, кВт	55,0	10,0	22,0	75,0
Масса, кг	3215	1430	2840	3000

Для более тонкого измельчения мясо-рыбных кормов используют мясо-рубки различных серий и типов (таблица 1.7).

Таблица 1.7 – Техническая характеристика мясорубок [52]

Показатель	Марка мясорубки	
	МТК-78	В2-ФДЕ
Производительность, т/ч	20,0	6,0
Установленная мощность, кВт	75,0	40,0
Масса, кг	2275,0	2610,0

При малых объемах производствах продукта используют устройства – агрегаты, содержащие в одной конструкции дезинтеграторы грубого и тонкого измельчения в виде отечественных машин серий И-76, ЦСК-87, ИПА-69, а из

зарубежных – «шредеры», серии MS (MS180, MS62, MS42) различной пропускной способности.

Особенностью выполнения операций по технологии и рабочему процессу данных типов измельчителей и мясорубок являются обязательная ветсанэкс-пертиза исходного сырья, сортировка, дефростация и получение продукта соответствующего зооветребованиям [56].

### **1.3 Существующие технологии и совокупность оборудования для приготовления формованного-гранулированных кормовых смесей**

Существующие технологии по приготовлению формованно-гранулированных кормовых смесей характеризуются прежде всего видом исходного сырья, которое необходимо трансформировать в кормовые продукты определенным видам животных и птицы.

Соответственно, от вида исходного сырья зависит и перечень необходимого оборудования, а также технических средств, реализующих те или иные технологии по определённым технологическим схемам.

При этом, основными операциями при реализации процесса приготовления гранулированных кормовых смесей являются измельчение исходного сырья, смешивание измельченных компонентов согласно принятым рецептограм, а также осуществление собственно гранулирования с соблюдением всех принятых режимов для обеспечения надлежащего качества формировано-прессованных кормов в соответствии с нормируемым ГОСТом показателями прочности гранул, их размеру и т.д. [73].

При этом, измельчение фуражного зерна осуществляется, как правило, на решётных и безрешётных молоткового типа дробилках, рабочий процесс которых характеризуется высокими энергозатратами [2, 63-65, 70-73, 132, 133].

Смешивание осуществляют посредством смесителей периодического или непрерывного действия. При этом они подразделяются конструктивно на смесители для влажных и сухих кормов [2, 63-65, 70-73].

Конструктивно они также различаются по типу основного рабочего орга-

на, который может быть выполнен в виде барабанов различной конфигурации (рисунок 1.4), а также мешалок винтового, шнекового, лопастного и пропеллерного типа (рисунок 1.5).

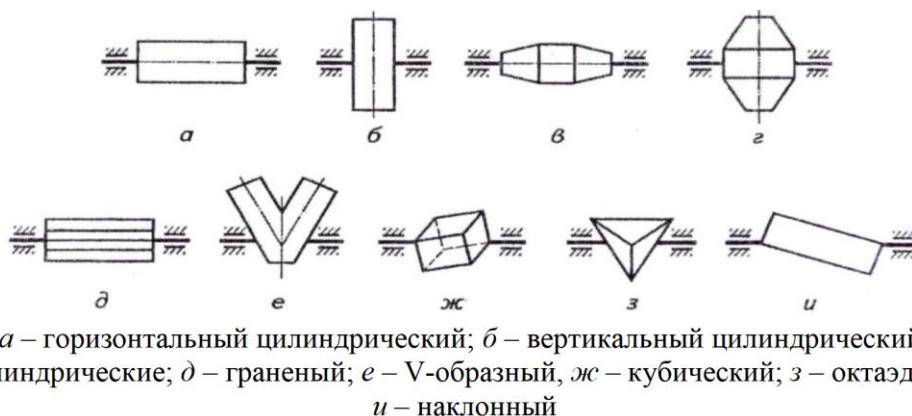
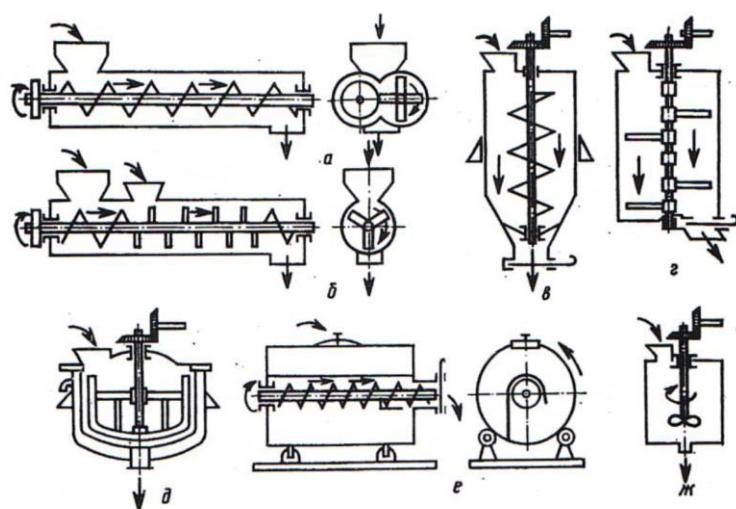


Рисунок 1.4 – Схемы барабанных смесителей порционного действия [71]



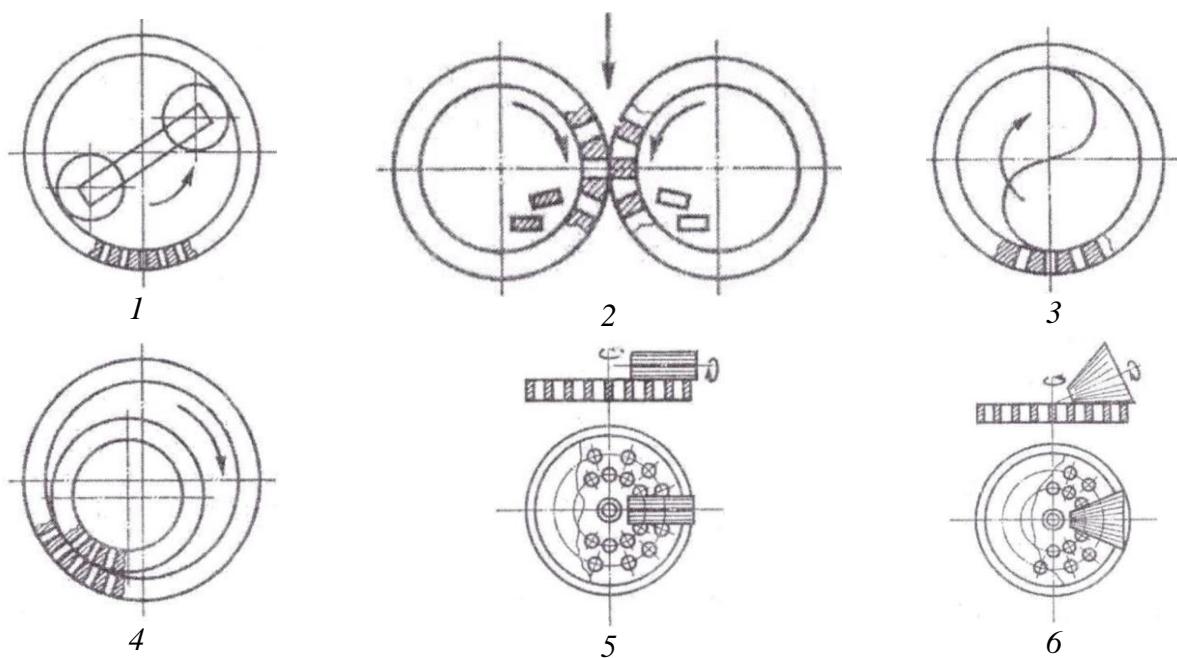
а, б – горизонтальные шнековый и шнеково-лопастной непрерывного действия;  
в – вертикальный шнековый периодического действия; г, д – лопастные периодического действия;  
жс – пропеллерный периодического действия

Рисунок 1.5 – Схемы основных типов смесителей [70]

Процесс получения гранул на основе предварительно подготовленного сырья путем измельчения и смещивания его по существующим традиционным схемам, осуществляется так называемым «сухим» способом [65].

Для этих целей используются грануляторы с кольцевой или дисковой матрицей (рисунок 1.6).

Как правило, данные типы прессов агрегатируются смесителями-кондиционерами для увлажнения смеси перед прессованием, а потому выполняются в виде модулей (рисунок 1.6 и 1.7).

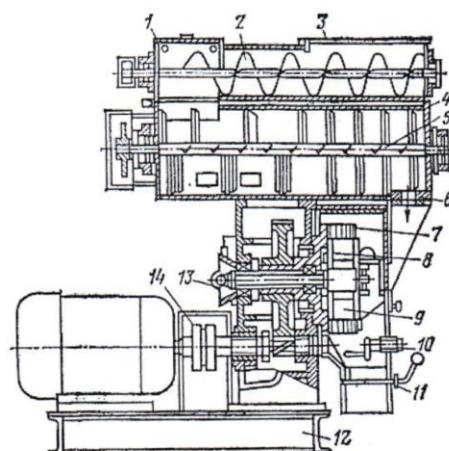


1-4 – вальцовые с кольцевой матрицей; 5, 6 – вальцовые с плоской матрицей

Рисунок 1.6 – Схемы рабочих органов прессов [65]



Рисунок 1.7 – Общий вид пресса-гранулятора с кольцевой матрицей и смесителем-кондиционером – Б6-ДГВ



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

Рисунок 1.8 – Конструктивная схема смесителя-гранулятора серии ДГ-1 [58]

При этом, пресс-гранулятор серии Б6-ДГВ дополнительно агрегатируется охладительно-сортировочной колонкой для удаления влаги, полученной смесью при кондиционировании. Конструктивно данный пресс является модификацией прессов типа ОГМ с производительностью 2,5 т/ч на легковесном сырье при установленной мощности электродвигателей 137,5 кВт и размером гранул 4,7-19,0 мм в зависимости от диаметра отверстий кольцевой матрицы, которая выполнена сменной.

Основным недостатком пресс-гранулятора серии ДГ-1 является невозможность получения с его помощью гранул диаметром менее 4,0 мм. В этой связи он снабжается дополнительно крошителем гранул для получения крошки при кормлении цыплят [58].

Вполне очевидным является тот факт, что применение данного типа пресс-грануляторов на малых птицеводческих фермах нецелесообразно ввиду их высокой энергоёмкости.

Анализом данных по литературным источникам [69, 117, 124] установлено, что для приготовления комбикормов за рубежом используют агрегаты в виде единого функционального малогабаритного модуля.

Так, американская фирма Weigh Tronix создала малогабаритный модуль SFM-2000 для производства комбикормов на местном сырье с использованием добавок промышленного производства.

В Швеции производство малогабаритных функциональных модулей осуществляют фирмы «Meton» и «Swegma». Однако, в них тоже используются молотковые дробилки, работа которых не исключает образование мучной пылевидной фракции, что является проблемой для таких схем кормопроизводства.

В Италии фирма «Seko» выпускает установки производительностью 350-550 кг/ч и 450-750 кг/ч с молотковыми дробилками мощностью 5,5 кВт и 7,5 кВт. Эта фирма оснащает кормоприготовительные агрегаты грануляторами с кольцевой матрицей серии РН-10 и РН-25 и охладителями гранул.

Обе модели могут работать от вала отбора мощности трактора с производительностью 200-400 кг/ч. Это доказывает, что в условиях коллективных и

фермерских хозяйств экономически целесообразным является использование малогабаритных агрегатов в модульном исполнении, позволяющем совершать выполнение двух или нескольких операций [69, 117].

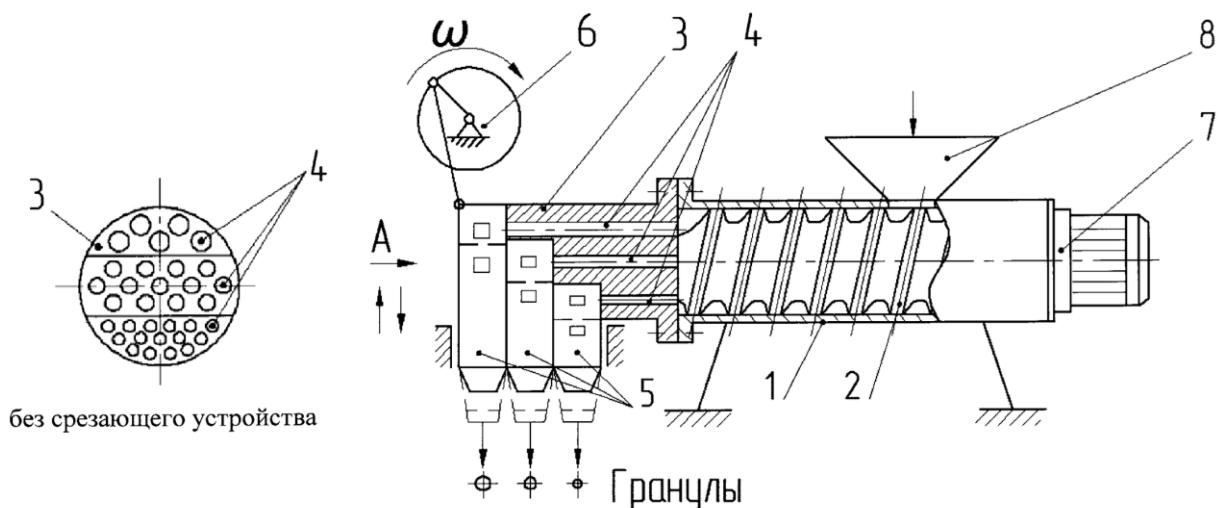
Анализ патентных материалов [81-111] показал, что в последнее десятилетие обозначился тренд на создание измельчителей-грануляторов, пастоизготавителей-грануляторов, а также смесителей-грануляторов винтового типа с расширенными техническими возможностями.

Данное направление заслуживает внимания с точки зрения получения гранул на основе различных сырьевых композиций с существенно меньшими энергоемкостью и металлоёмкостью [97, 9, 33-39, 46, 53, 54, 61, 62, 123, 142-144, 146].

Основоположниками данного направления являются учёные ВНИИПРХ, которые разработали двухчервячный пресс-гранулятор серии СНГ, а также смеситель для приготовления пастообразных кормов [51, 65].

Данные устройства работают на производстве влажных гранул, а потому они агрегатируются с сушилками [51].

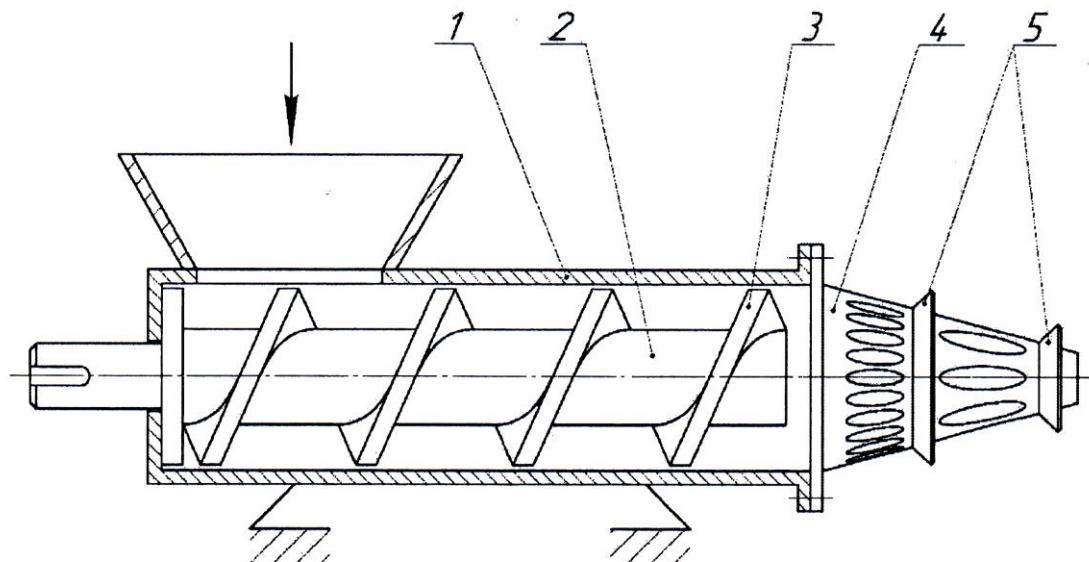
На рисунках 1.9-1.15 приведены конструктивно-технологические схемы пресс-грануляторов винтового типа с различной конфигурацией прессующих матриц.



1 – кожух; 2 – винт; 3 – матрица; 4 – отверстия; 5 – лотки; 6 – механизм привода лотков;  
7 – электродвигатель; 8 – бункер

Рисунок 1.9 – Схема пресс-гранулятора со ступенчатой матрицей

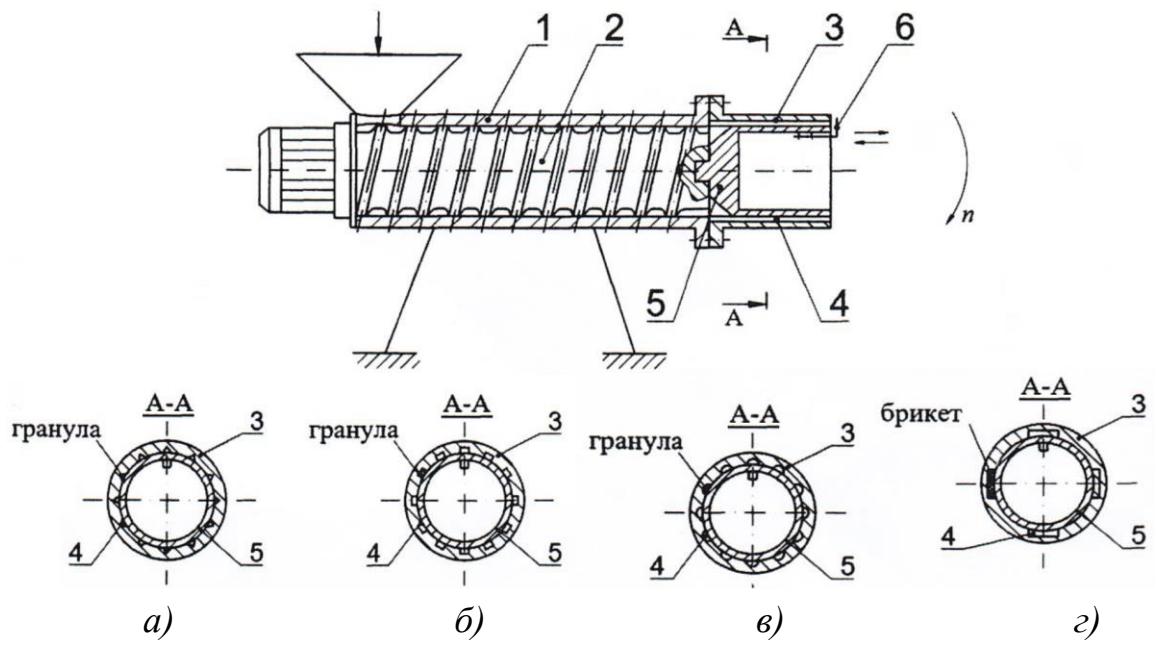
согласно патенту РФ № 269637



1 – кожух; 2 – вал винта; 3 – винт; 4 – матрица; 5 – обламыватели

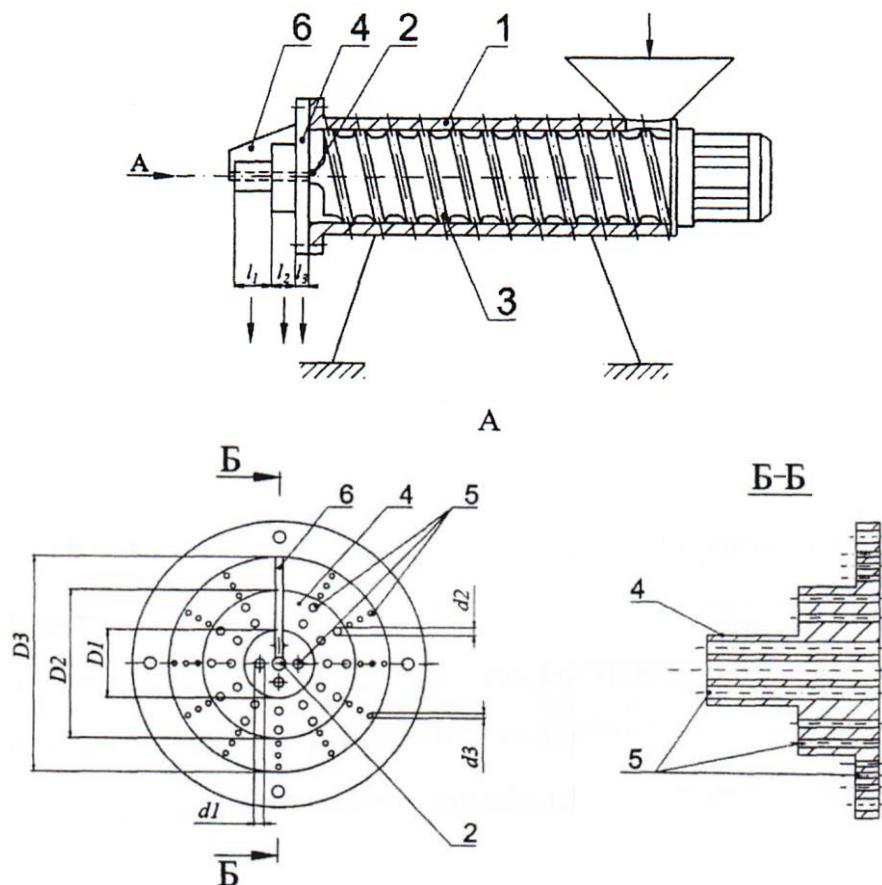
Рисунок 1.10 – Пресс-гранулятор с конической матрицей

согласно патенту РФ № 2794564



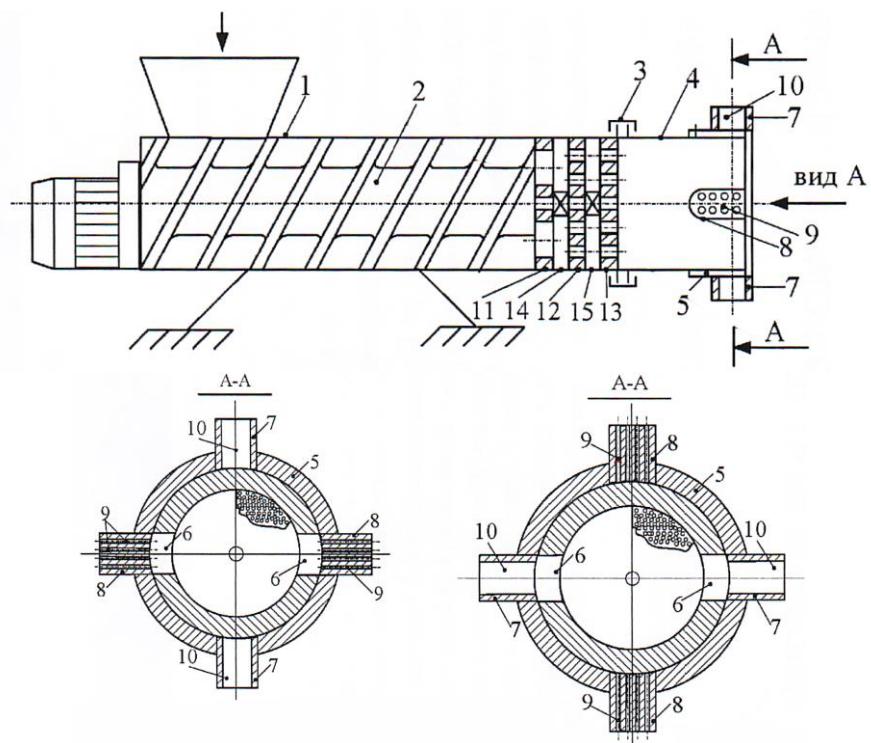
1 – кожух; 2 – винт; 3 – фильтра; 4 – пазы; 5 – ротор; 6 – обламыватель

Рисунок 1.11 – Пресс-гранулятор по патенту РФ № 2740651



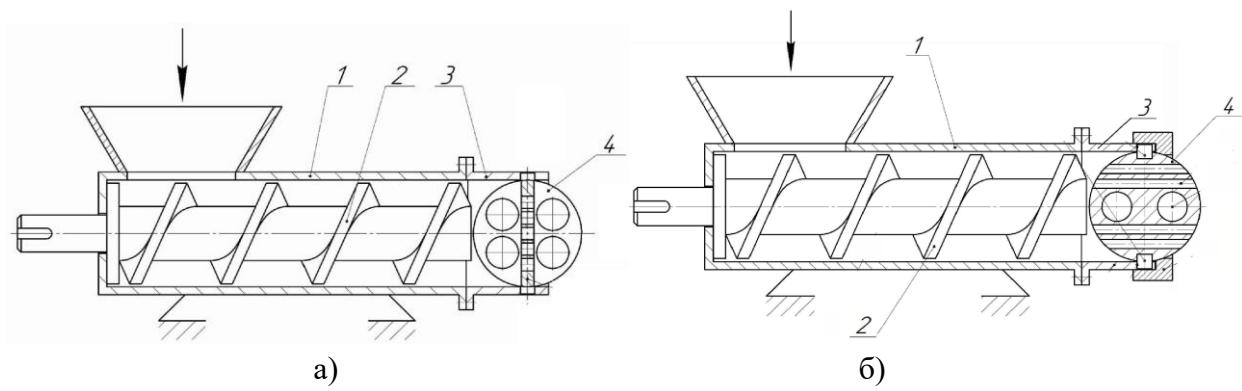
1 – кожух; 2 – вал; 3 – винт; 4 – матрица; 5 – отверстия-каналы; 6 – обламыватель

Рисунок 1.12 – Пресс-гранулятор согласно патенту РФ № 2740649



1 – кожух; 2 – вал; 3 – крепление; 4 – корпус прессующего узла; 5 – поворотная матрица; 6 – отверстия; 7 – патрубок; 8 – формирующая матрица; 9 – канал; 10 – канал для пасты; 11-13 – решётки; 12-15 – ножи

Рисунок 1.13 – Пастоизготовитель-гранулятор согласно патенту РФ № 2803521

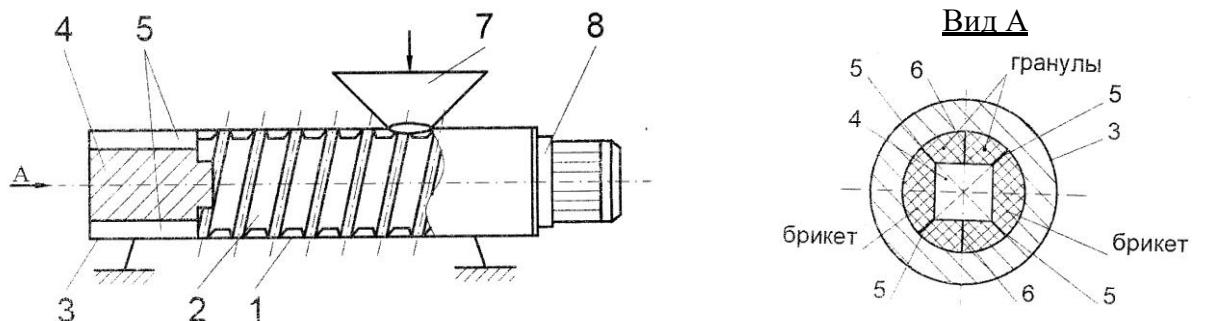


1 – кожух; 2 – винт; 3 – прессующий узел; 4 – фильтра

Рисунок 1.14 – Пресс-грануляторы:

а) с крестообразной дисковой матрицей согласно патенту РФ № 2781705;

б) шарообразный согласно патенту РФ № 2781714

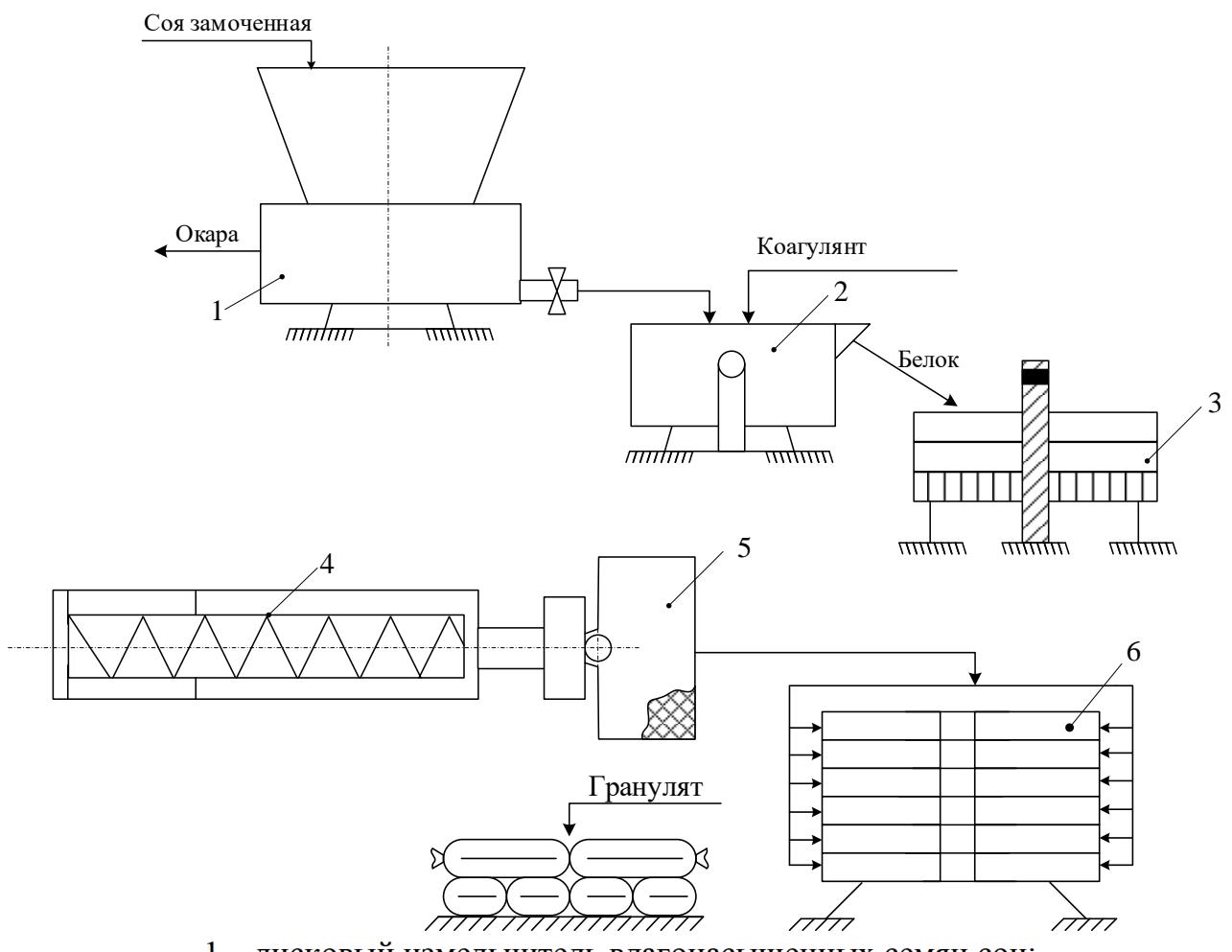


1 – корпус; 2 – шнек; 3 – кожух; 4 – фильтры; 5 – пластины; 6 – пластины; 7 – бункер

Рисунок 1.15 – Пресс-гранулятор согласно патенту РФ № 2604937

Отличительной особенностью данного типа устройств является их малая энергоемкость и металлоёмкость, а также расширенные технологические и технические возможности по ассортименту и размерным характеристикам готового формованного продукта. Предназначены они для получения гранул на основе влажных композиций и работают в комплекте с сушильными устройствами [89, 92, 108, 109].

Устройства данного типа применяются в технологических линиях по производству гранулята для птицы с использованием соевого термообработанного необезжиренного компонента. Так, технология получения гранулированных продуктов для цыплят, посредством совокупности оборудования, скомпонованного в линию, разработана и предложена Ковалёвой Л.А. [53, 54] (рисунок 1.16).



1 – дисковый измельчитель влагонасыщенных семян сои;  
 2 – ёмкость для накопления соевого молока и проведения коагуляции соевого белка;  
 3 – устройство для отжима влаги из белкового коагулята; 4 – смеситель-гранулятор;  
 5 – сетчатый лоток для гранул; 6 – сушильное устройство

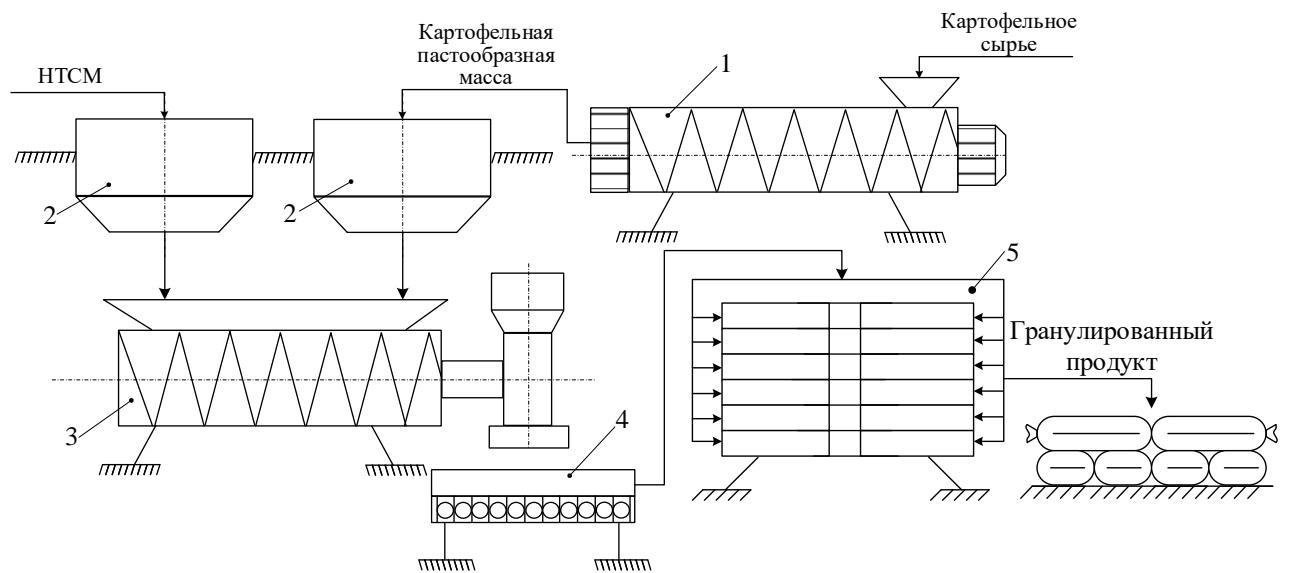
Рисунок 1.16 – Аппаратурная схема линии с оборудованием для приготовления высокобелкового гранулята цыплятам бройлерам

В качестве базовой машины в данной линии используется смеситель-гранулятор – 4, ось винта которого смешена, за счет чего винт-шнек при работе совершает сложное движение по эпициклоиде. Полученные гранулы высокой однородности сушатся в камерной сушилке серии «ЭСПИС-4-Универсал» – 6 (рисунок 1.16).

В результате проведенных исследований Зайцевой М.А. [46] разработана технологическая линия производства белково-углеводных гранул на основе соевой муки и картофельной пасты, в качестве базовой машины в которой также используется смеситель-гранулятор – 3 (рисунок 1.17).

Полученные гранулы накапливаются в сетчатом лотке, далее они поме-

щаются в камеры сушильного шкафа и высушиваются для содержания влаги 8-10%. Качество гранул по крошимости обеспечивается их структурой, которая формируется за счёт картофельной углеводной составляющей.



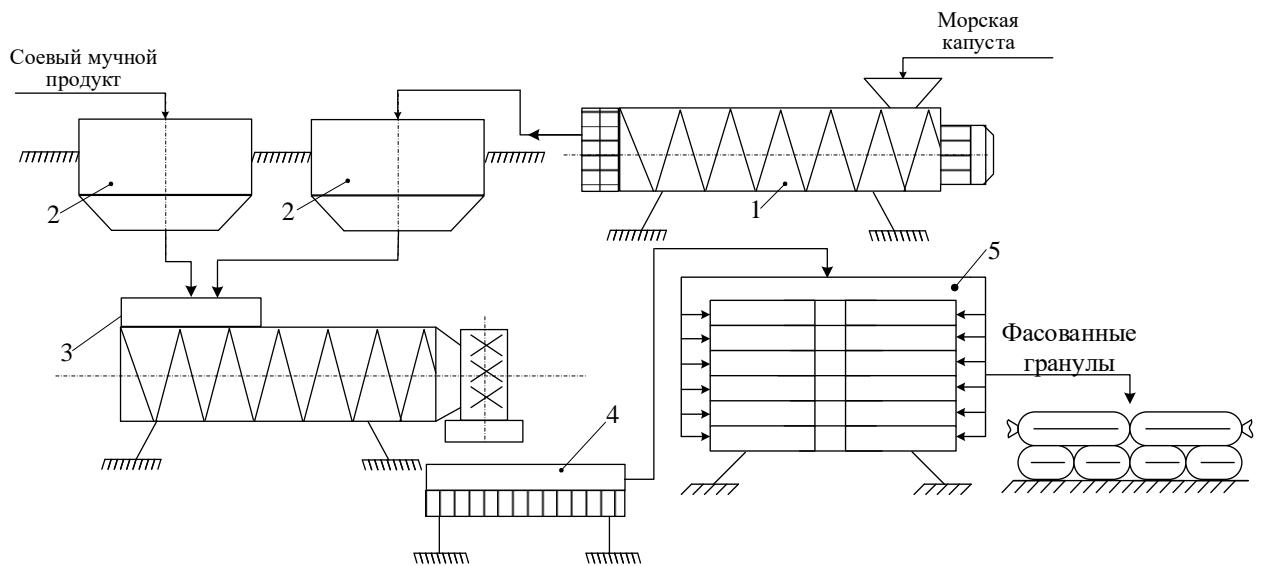
HTCM – необезжиренная термообработанной соевая мука

1 – дезинтегратор-пастоизготовитель (мясорубка); 2 – бункера-дозаторы; 3 – смеситель-гранулятор со смещенной геометрической осью; 4 – лоток сетчатый;  
5 – сушильное устройство «ЭСПИС-4-Универсал»

Рисунок 1.17 – Аппаратурно-технологическая схема линии производства соево-картофельного гранулированного продукта

В результате исследований, проведенных Бушуевым С.В. предложена технологическая линия с совокупностью оборудования по производству соево-ламинариевого кормового продукта для птицы в виде гранулята [10-12] (рисунок 1.18).

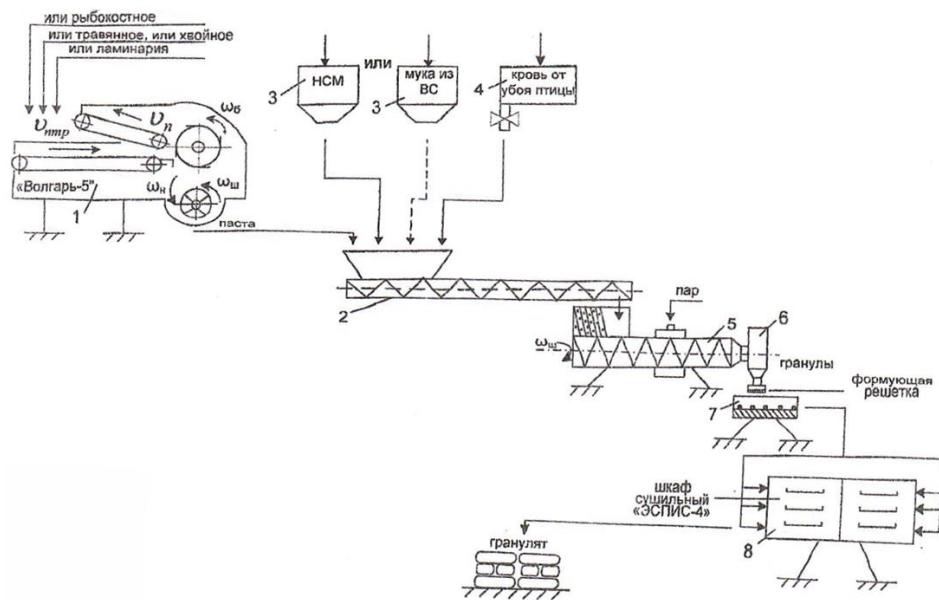
Особенностью линии является то, что в процессе работы смесителя-гранулятора осуществляется усреднение влаги в смеси за счет диффузии и формируется тестообразный продукт, который хорошо формуется в гранулы различного диаметра.



1 – дезинтегратор морской капусты; 2 – бункера-дозаторы муки и пасты;  
 3 – смеситель-гранулятор; 4 – лоток сетчатый;  
 5 – сушильный шкаф «ЭСПИС-4-Универсал»

Рисунок 1.18 – Аппаратурно-технологическая схема линии производства соево-ламинариевого гранулята птице

На рисунке 1.19 представлена аппаратурная схема линии приготовления кормовой добавки, разработанной в ДальГАУ под руководством Воякина С.Н. [142].



1 – измельчитель сырья растительного и животного происхождения; 2 – смеситель-усреднитель; 3 – дозаторы соевой необезжиренной термообработанной муки; 4 – дозатор кровяного компонента; 5 – смеситель; 6 – пресс-гранулятор; 7 – лоток; 8 – камера-сушилка «ЭСПИС-4-Универсал»;

Рисунок 1.19 – Схема линии по приготовлению кормового продукта с.х. птице

Характерной особенностью данной линии является наличие в ней смесителя-усреднителя влаги, обеспечивающего получение тестообразного продукта в виде соево-рыбокостных, соево-кровяных и других видов композиций.

На рисунках 1.20 и 1.21 приведены технологическая и аппаратурная схемы приготовления кормовых продуктов в виде пасты и гранулята для гусей и уток с использованием пастоизготовителя-гранулятора, защищенного патентом на изобретение [89].

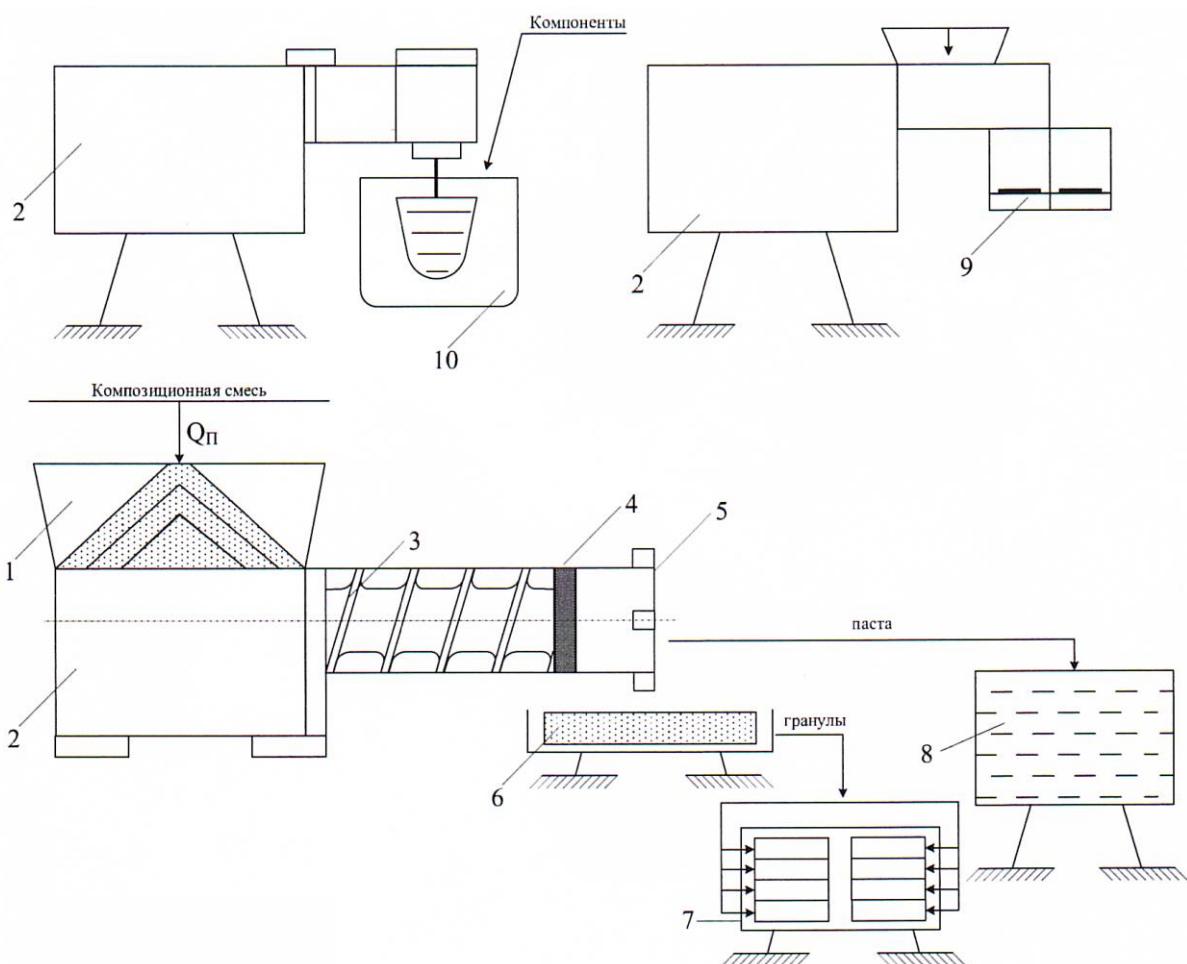


Рисунок 1.20 – Технологическая схема приготовления кормовых продуктов водоплавающей птице:

I – режим приготовления пастообразного продукта;

II – режим получения гранулята

В ДальГАУ разработана технология производства белково-витаминных продуктов с использованием пасты на основе зелёной массы зерновых культур или свекольной ботвы, а также соевой необезжиренный термообработанной муки (рисунок 1.23) [143, 144].



1 – приемный бункер; 2 – привод; 3 – винт; 4 – измельчающе-гомогенизирующий узел; 5 – формующе-гранулирующий узел; 6 – лоток сетчатый; 7 – камерная сушилка «ЭСПИС-4»- «Универсал»; 8 – емкость; 9 – измельчитель (модуль); 10 – смеситель (модуль)

Рисунок 1.21 – Аппаратурная схема линии приготовления кормовых продуктов для гусей и уток

Данная технология реализуется посредством совокупности оборудования, которая представлена линией (рисунок 1.22). Особенностью данной линии является производство гранул «влажным» способом с предварительным получением соевого-травяной композиции с усреднённой влажностью.

Известна также технология производства высокобелкового гранулята на основе рыбно-жомовой композиции (рисунок 1.23).

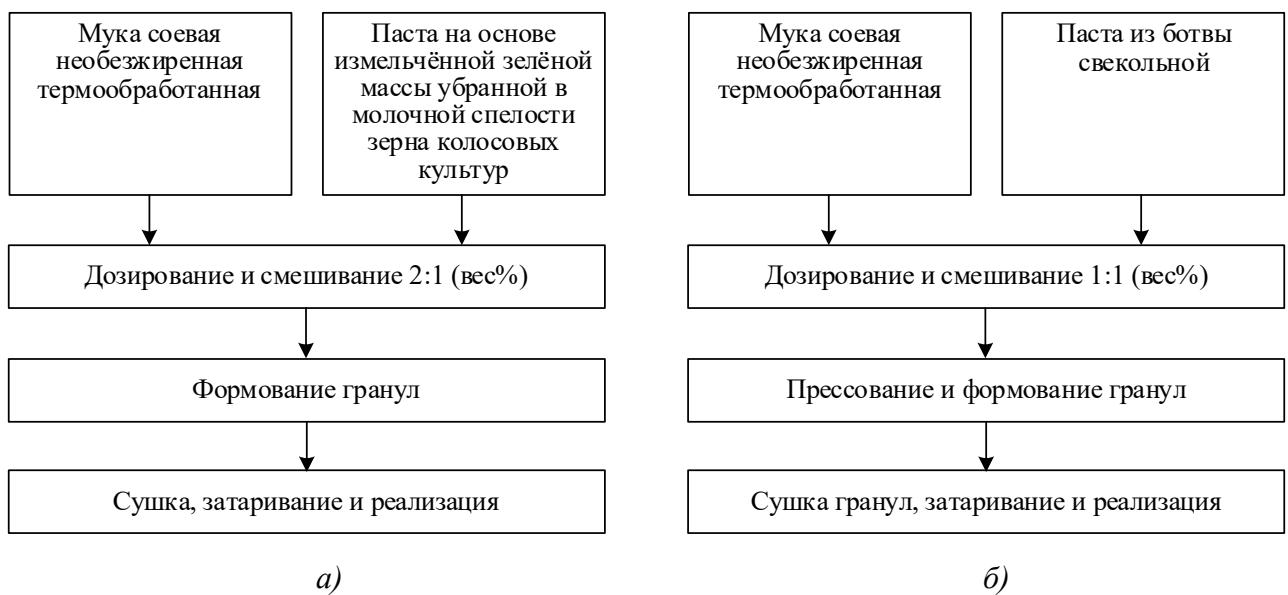
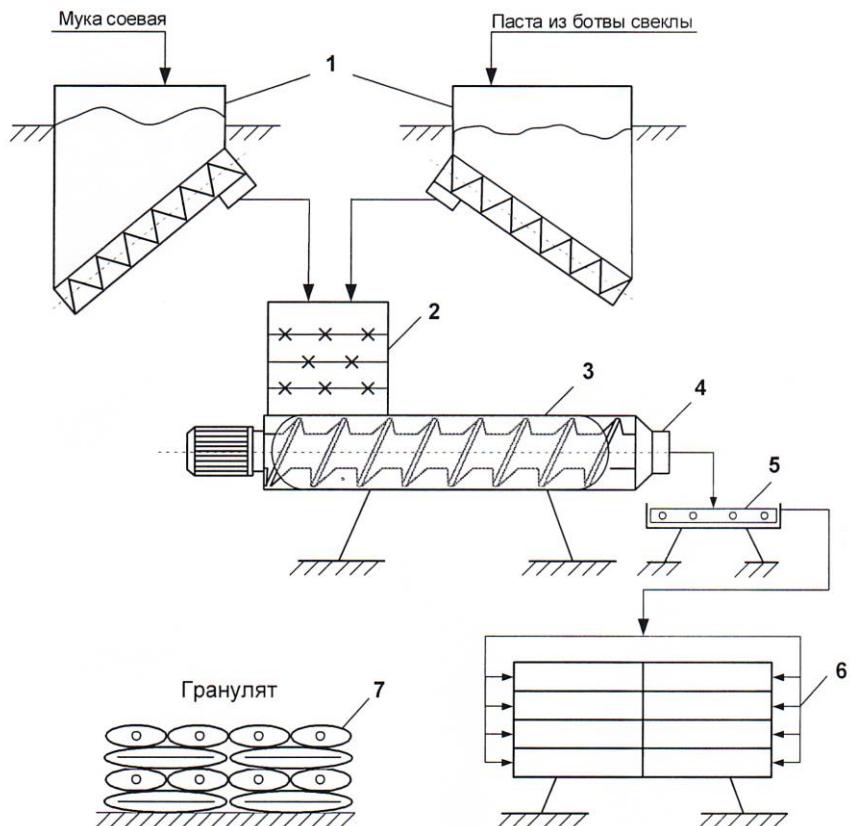


Рисунок 1.22 – Принципиальные технологические схемы производства гранулята с использованием соевой муки в композиции: с зелёной массой зерновых культур – *а*); со свекольной ботвой – *б*)



1 – бункеры-дозаторы; 2 – смеситель; 3 – винтовой пресс; 4 – гранулирующе-бrikетирующий узел, 5 – лоток сетчатый; 6 – шкаф сушильный «ЭСПИС-4- Универсал; 7 – гранулят

Рисунок 1.23 – Аппаратурная схема линии производства белково-витаминных продуктов

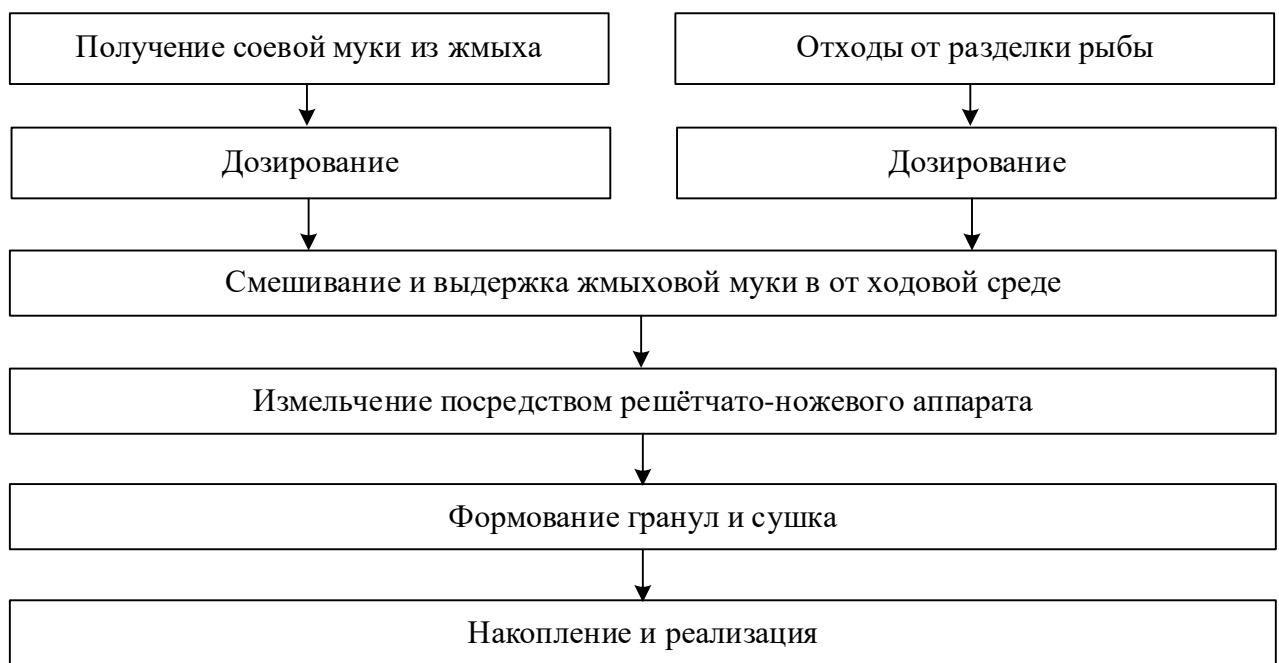


Рисунок 1.24 – Принципиальная технологическая схема производства высокобелкового гранулята животным и птице

Полученную жмыховую муку смешивают с отходами от разделки рыбы, которую выдерживают в отходовой среде в течение получаса. За это время жмыховая мука насыщается присутствующими в этой среде влагой и питательными веществами, что приводит к существенному размягчению структуры жмыховой муки.

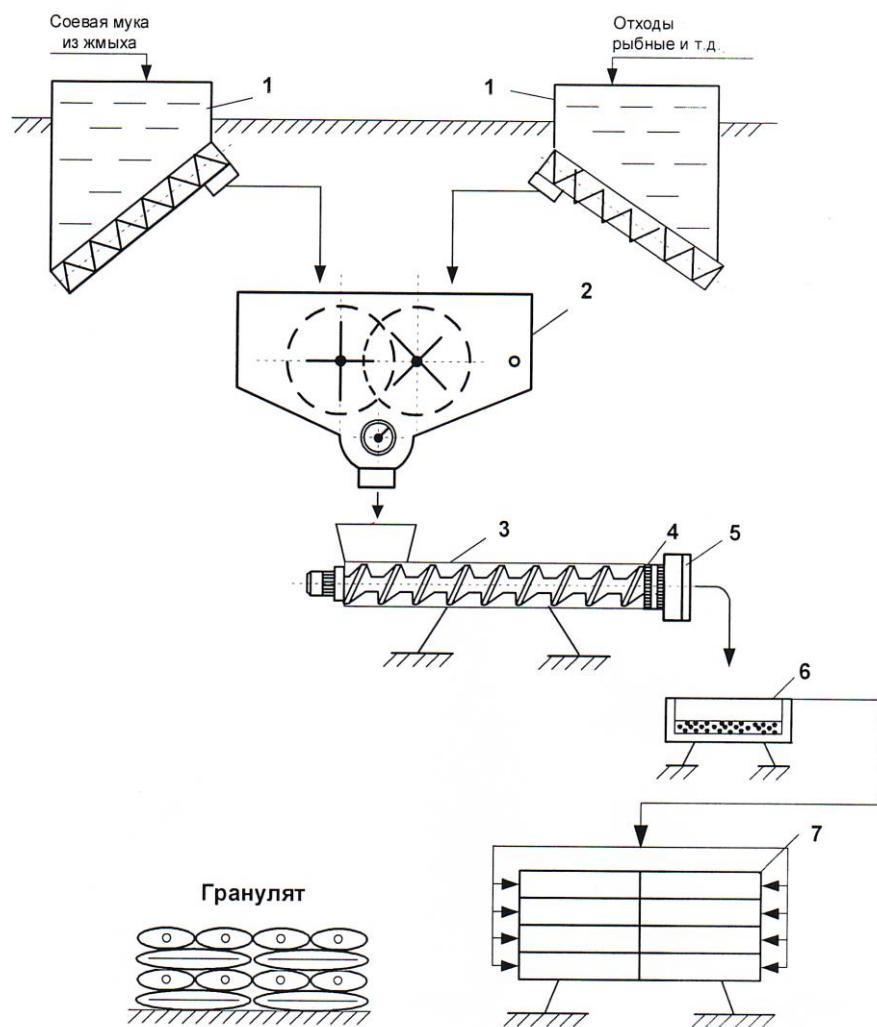
Благодаря данному подходу полученная смесь эффективно, т.е. со значительно меньшими затратами энергии измельчается и дополнительно перемешивается с помощью решётчато-ножевого аппарата – 4 измельчителя-гранулятора – 3 (рисунок 1.25).

Таким образом, проведенным анализом установлено, что рациональным подходом к получению кормовых добавок для птицы является получение их в виде гранулята посредством, так называемого, влажного гранулирования.

Обусловлено это тем, фактом, что получение высокобелковых продуктов в виде муки на основе животного высокобелкового сырья промышленными способами является высокозатратным процессом, связанным с необходимостью их предварительной перед гранулированием, измельчением, термообработкой и сушкой до содержания влаги 10-11 %.

В то же время, усреднение влаги во «влажном» и «сухом» компонентах

животного и растительного происхождения, в процессе их смешивания и формования позволяет снизить затраты энергии, как минимум, на пятьдесят процентов.



1 – бункера-дозаторы; 2 – смеситель; 3 – измельчитель-гранулятор;  
4 – измельчающий аппарат; 5 – гранулирующая матрица; 6 – лоток;  
7 – шкаф сушильный «ЭСПИС-4 -Универсал»

Рисунок 1.25 – Аппаратурная схема линии производства высокобелкового гранулята

При этом также установлено, что промышленное производство муки на основе сырья животного происхождения включает дезинтеграцию мясного или мясокостного сырья.

Существенные затраты энергии при этом, приходится на сушку термообработанного сырья, его измельчение в муку и последующее гранулирование мучной массы для исключения процессов окисления жиров, в составе муки.

#### **1.4 Обзор научных исследований, направленных на повышение эффективности процесса получения гранулированных кормовых смесей**

Как установлено ранее, к гранулированным кормам для с.х. птицы предъявляются требования по влажности, которая не должна превышать 14,0 %, крошимости – не более 8,0 %, размерам, по диаметру от 1,0 до 5,0 мм и длиннее – не более 3,0 мм, а также по органолептическим показателем – запаху, виду и цвету, которые должны соответствовать таковым как у качественного сырья.

При этом, однородность структуры получаемых гранул, как основной фактор, определяющий степень крошимости готовых гранул, в первую очередь зависит от степени измельчения сырья, входящего в состав исходных смесей, сформированных в соответствии с рекомендуемыми рецептурами кормления птицы.

К основным физико-механическим и реологическим свойствам и показателем субпродуктового сырья, получаемого в результате убоя и переработки птицы относят влажность, размерно-массовые характеристики, плотность, влагоудерживающую способность, предельное напряжение сдвига, а для получаемых фаршей – коэффициент бокового распора и вязкость [8].

Как известно, влажность является одним из важнейших показателей, и исходного сырья, и готового продукта, в то время как гранулометрический состав характеризует качество работы измельчителей. При этом, учитывается степень измельчения, так как с увеличением степени измельчения выравнивается размер полученных частиц продукта, а также изменяются его показатели по предельному напряжению сдвига, вязкости и скорости сдвига [8].

Химический состав отходов убоя и готовой мясокостной муки в звероводстве исследовали Ю.Т. Тихонов, Е.А. Тихонов, В.С. Снытко, П.Т. Клецкин и ряд других учёных [127,128].

Исследования по реологии мясных и мясокостных гомогенизированных фаршей для зверей проводились Б.В. Горбарцом, М.А. Трутневым, Н.А. Барсовым под руководством Б.И. Вагина [5, 8, 45].

В результате проведённых исследований были установлены вышеперечисленные показатели в зависимости от температуры измельчаемого сырья, а также затраты энергии, в зависимости от способа измельчения [45].

Исследования рабочего процесса устройств с решетчато-ножевым аппаратом, как правило направлены на обоснование их параметров, в рамках получения расчетных формул по определению пропускной способности, потребной мощности и качественных показателей по однородности гранулометрического состава [45, 65].

Профессором Мельниковым С.В. установлено, что подача шнекового пастоизготовителя, каковым является мясорубка, лимитируется пропускной способностью режущего аппарата и, главным образом, решёткой. Она же обеспечивает и степень измельчения мясного и мясокостного субпродуктового сырья в зависимости от диаметра выполненных в ней отверстий.

Повышения пропускной способности измельчителей с решётчато-ножевым аппаратом (РНА) добиваются путём увеличения угловой скорости подающего винта, а степени измельчения путем увеличения первьев активных ножей, а также количеством ступеней измельчения вводя дополнительные режущие пары «нож-решетка» [65].

Исследованиями установлено, что высокий разброс показателей по анатомо-морфологическому составу сырья, в том числе и субпродуктовому, определяет и высокий разброс показателя влажности.

Так, мышечная ткань, кости, кишечник, жировая ткань и мозг птицы имеют большие различия по показателю влажности. В этой связи, важное значение имеет оценка выравнивающей способности РНА по влажности на выходе фарша из измельчителя данного типа.

Производительность режущего аппарата –  $Q_{uz}$  данного типа определяют по режущей способности активного ножа  $A_h$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ , под которой понимают суммарную площадь рабочей поверхности, описываемой лезвиями ножа –  $A_p$  в единицу времени,  $\text{кг}/\text{м}^2$ , с учётом коэффициента использования режущей способности ножа –  $\phi_0$ .

$$Q_{u_3} = \varphi_0 \cdot A_u / A_p \quad (1.1)$$

Для одного ножа режущая способность определяется как

$$A_u = 0,25 \cdot R^2 \cdot \omega_u \cdot k \cdot f_p, \quad (1.2)$$

где  $R$  – радиус решётки, м;  $\omega$  – угловая скорость ножа,  $\text{с}^{-1}$ ;  $k$  – число перьев ножа;  $f_p$  – коэффициент использования живого сечения решётки.

При этом, значение  $A_p$  зависит от степени измельчения и осевой скорости перемещения мясокостного сырья через отверстие решётки.

Исследованию затрат энергии при работе РНА посвятили свои труды Кузьмов Н.Т., Моисеенко Г.С., Рыжука А.М. и другие [45, 65].

При этом, основы по затратам энергии на измельчение какого-либо сырья или продукта с учётом их деформации, разработаны академиком П.А. Ребиндером [57].

Основы теории резания лезвием разработаны академиком Горячким В.П. [28].

Дальнейшее развитие она получила в трудах академика Желиговского В.А. и профессора Резника Н.Е. [65].

Исследованию процесса смещивания в смесителях порционного и непрерывного действия с точки зрения кинетики смещивания, а также установления статистических и вероятностных показателей посвящены труды Раскатовой Е.А., Жевлакова П.К., Кукты Г.М., Бурмага А.В., Самуйло В.В. и других учёных [59, 60, 79, 80].

При этом, установлено, что смещивание сухих и влажных компонентов требует больших затрат энергии и продолжительности процесса.

В этой связи актуальным является вопрос о функциональной связи измельчения влажного сырья и его смещивания с сухим компонентом. Следует предположить, что в случае смещивания исходного фарша, например, с соевой мукой, данный фактор будет оказывать существенное влияние на усреднение влаги в композициях и, в конечном итоге, на качество готовых гранул.

Обусловлено это тем, что такие составляющие мясокостного сырья,

например, птицы, такие как мышечная, костная, мозговая и жировая ткань, а также шкурка при своей различной массовой доле в сырье имеют и различное содержание влаги. Однако такие данные в литературных источниках отсутствуют.

Исследованиям процесса смещивания компонентов различной влажности с целью установления параметров ее распределения в конечном продукте в виде сформованных гранул, а также влияния на их крошимость, посвящены работы к.т.н. Бушуева С.В., Макарова В.А., Зайцевой М.А., Ковалевой Л.А., Крючковой Л.Г., Школьниковой М.А. и д.т.н. Воякина С.Н. [7, 46, 53, 96, 142-144, 146, 147].

В результате проведенных исследований, с позиций диффузионного явления, получены зависимости, характеризующие качественные показатели процесса усреднения влаги в соево-картофельных, соево-сапропелевых, соево-ламинариевых, соево-рыбокостных, соево-травяных, соево-тыквенных и другого вида композициях [7, 19, 53, 62, 144, 146].

Однако процессы получения соево-мясокостных композиций в настоящее время, согласно литературным источникам малоизучены, а потому недостаточно данных для их проектирования.

Получению гранулированных кормовых смесей методом «влажного» прессования также посвящены работы Калиновской О.П., Тюкаева И.Ш., Лысенко В.Я., Гриба В.К., Полунина Н.И. и других учёных [51, 52, 65].

Данным коллективом был разработан двухвинтовой смеситель-гранулятор с кулачковым проталкивающим рабочим органом. В результате проведённых исследований обоснованы потребляемая мощность и пропускная способность данного устройства, которое функционально сопряжено с вибрационной сушилкой [52].

Для данного типа сушилки установлено влияние начальной влажности гранулированного комбикорма на основе измельченного фуражного зерна на процесс его сушки, а также высоты слоя гранул и интенсивности сушильного агента.

Таким образом, на основании проведенного обзора можно заключить, что получение кормовой добавки на основе, например, соево-мясокостных композиций требует разработки своих новых подходов к обоснованию и схемы технологической линии, и параметров технических средств, входящих в ее состав.

### **Выводы:**

1. В результате проведенного анализа установлено, что особенности кормления птицы обуславливают включение в их рационы высокобелковых компонентов в виде мясной и мясокостной муки, а также соевого шрота.

При этом, производство мясной и мясокостной муки характеризуется высокими затратами энергии, труда и средств, а в соевом компоненте в виде шрота отсутствует витамин Е естественной природы.

В то же время, многочисленными в рамках зарубежных и отечественных исследований доказана высокая эффективность скармливания полножирного термообработанного соевого продукта.

2. Анализом также установлено, что существующие технологии и принятая на их основе совокупность оборудования и технических средств, в виде технологических линий, обладают высокими энергоемкостью и металлоемкостью.

В частности, линия по получению экструдата на основе продуктов забоя птицы с получением мясо-зерновой смеси, имеет установленную мощность электродвигателей на уровне 191,1 кВт, при энергоемкости  $N_E = 0,278 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ .

При этом, с ее помощью невозможно использование соевого компонента, с получением продукта в виде соево-мясокостной композиции.

3. Проведенный анализ также показал, что наиболее эффективными устройствами для переработки отходов убоя птицы являются силовые измельчители и мясорубки винтового типа с решетчато-ножевым аппаратом.

Установлено, что основными показателями, которые оказывают существенное влияние на все показатели готового мясокостного фарша, являются влажность и гранулометрический состав, определяющие однородность смеси.

При этом, отсутствуют данные, характеризующие влажность по анатомо-

морфологическим составляющим мясокостного сырья и, в частности, отходов убоя и переработки птицы.

В этой связи отсутствуют данные по выравнивающе-усредняющей способности решетчато-ножевым аппаратом влажности в готовом фарше существующими типами мясорубок. Следует предположить, что равномерность распределения влаги в готовом фарше (однородность) будет оказывать существенное влияние на равномерность распределения влаги в композициях, например, с соевой мукой, и, следовательно, на качество формируемых и высушенных гранул.

4. Для известных типов смесителей-грануляторов обоснованы параметры по производительности и мощности на получении влажных гранул на основе комбикормов зернового состава, однако отсутствуют данные на получение гранул на основе соево-мясокостных композиций.

5. Установлено также, что основная часть затрат связана с реализацией процессов измельчения, смещивания, гранулирования смеси и сушки полученных гранул, которые должны иметь требуемые показатели по размеру, влажности и крошимости.

Данным фактом обусловлено наличие противоречия между мотивацией производителя получать кормовую добавку для рационов кормления с/х птицы относительно невысокой себестоимости и высокими затратами на осуществление процессов измельчения, смещивания, сушки и гранулирования.

В этой связи существует объективная необходимость изыскания рациональных способов переработки сырья животного и растительного происхождения, а также разработки высокоэффективных технических средств, скомпонованных в технологическую линию, с обоснованием их оптимальных конструктивных и режимных параметров.

По нашему предположению, сформированному на основании проведенного анализа, наиболее эффективным способом получения высокобелковой кормовой добавки является способ, при котором, на основе предварительно полученной мясокостной пасты соответствующей влажности из отходов убоя

птицы и необезжиренной соевой муки  $W = 8-10 \%$  готовится смесь, содержание влаги в которой имеет усредненное значение на уровне 30-35 % с последующим ее гранулированием и сушкой.

В связи с изложенным целью исследований является повышение эффективности процесса приготовления высокобелковой кормовой добавки на основе сырья животного и растительного происхождения, путем обоснования способа и параметров технических средств для ее получения.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- на основании анализа литературных источников обосновать рациональный способ приготовления высокобелковой кормовой добавки на основе отходов убоя птицы и соевого компонента, соответствующей трансформации;
- разработать функционально-структурную схему и экономико-математическую модель оценки функционирования технической системы по приготовлению кормовой добавки птице;
- установить аналитические зависимости, характеризующие процесс получения высокобелковой кормовой добавки с помощью функционально сопряженных соответствующих технических средств, скомпонованных в технологическую линию;
- получить экспериментальные математические модели оценки соево-мясокостных фаршевых композиций по реологическим и технологическим показателям, обосновать параметры и степень сходимости результатов теоретического и экспериментального характера;
- провести производственную проверку основных результатов исследований, дать им технико-экономическую оценку и разработать методику расчета параметров технологической линии и рекомендации по ее использованию в системе кормления с/х птицы.

## Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПРОЦЕССА И ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛЯТА НА ОСНОВЕ СОЕВО-МЯСОКОСТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

### 2.1 Обоснование способа и экономико-математической оценки модели процесса получения гранулята на основе соево-мясокостной композиции

Анализ существующих рационов кормления с.х. птицы показывает, что полноценное кормление птицы может быть обеспечено в настоящее время, только лишь с использованием кормовых компонентов, содержащих относительно высокое количество протеина, а также кальция, фосфора, биологически активных и других веществ.

При этом, в качестве высокобелковых компонентов в рецептуру включают соевый и подсолнечниковый шрот, а также мясокостную, кровяную и рыбную муку [122].

В связи с тем, что шроты являются обезжиренными продуктами рецептуры предусматривается использование жира кормового в количестве 2-3 % [122].

Как установлено анализом (глава 1), существующие технологии по производству мясокостной муки не являются эффективными, в виду высоких затрат, связанных с измельчением исходного мясокостного сырья, а также с процессом удаления большого количества влаги из него.

По данным Безматерных А.А. и ряда других ученых, количество удаляемой влаги из мясного сырья составляет от 55 до 60 %, т.е. больше половины перерабатываемого сырья [6, 42, 49, 128].

Затраты труда и средств, связанные с удалением влаги из сырья, можно значительно снизить путем применения способа усреднения влаги при получении бинарных (2-х компонентных) композиций, например, соево-мясокостных.

При этом, процесс усреднения содержания влаги, согласно данному способу (патент РФ № 2607103) [107], происходит в начале – в процессе получения мясокостного фарша, а затем – в процессе его перемешивания с соевым компонентом, содержащим в своем составе жиры, т.е. соевое масло с

токоферолами (витамином Е).

При этом, в качестве соевого компонента используется необезжиренная термообработанная соевая мука (НТСМ), производимая на агрегатах серии КПСМ-850 [50, 62].

Данный технологический подход, как показали наши расчеты [21], позволяет уменьшить до 50% издержек при приготовлении соево-мясного гранулята.

В то же время, анализ процесса приготовления высокобелкового гранулята, на основе данного способа, показывает, что он включает три элемента, чтобы получить гранулят, отвечающий предъявляемым требованиям (рисунок 2.2) при минимально возможных затратах на его производство [15-24, 95-100, 105-109, 139-141].

При этом, производство такого гранулята, характеризуется удельными эксплуатационными издержками –  $\mathcal{EI}_i$  по каждому из принятых элементов системы:

$$\mathcal{EI} = \sum_{i=1}^n (\mathcal{IE}_i) \cdot Q_i \cdot t \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

где  $n$  – количество элементов, обеспечивающих реализацию технологического процесса приготовления гранулята на основе соево-мясокостной композиции;

$Q_i$  – производительность линии приготовления гранулята, кг/ч;

$t$  – продолжительность работы линии, ч.

Анализ данной модели показывает, что принятое условие выполнимо при снижении составляющей  $\mathcal{IZ}_i$  при соответствующих значениях параметра  $Q_i$ , кг/ч.

Анализ также показывает, что уменьшение размера удельных эксплуатационных затрат возможно при совмещении определенного числа операций, путем выполнения их в одной машине.

Такой машиной может быть смеситель-гранулятор, включающий три функциональных узла. Структурная схема данной машины представлена на рисунке 2.2. Она разработана на основании ранее проведенного анализа, в соответствии с приведенной на рисунке 2.1 классификацией операций по производству мясокостного, гранулята с использованием необезжиренной соевой муки.

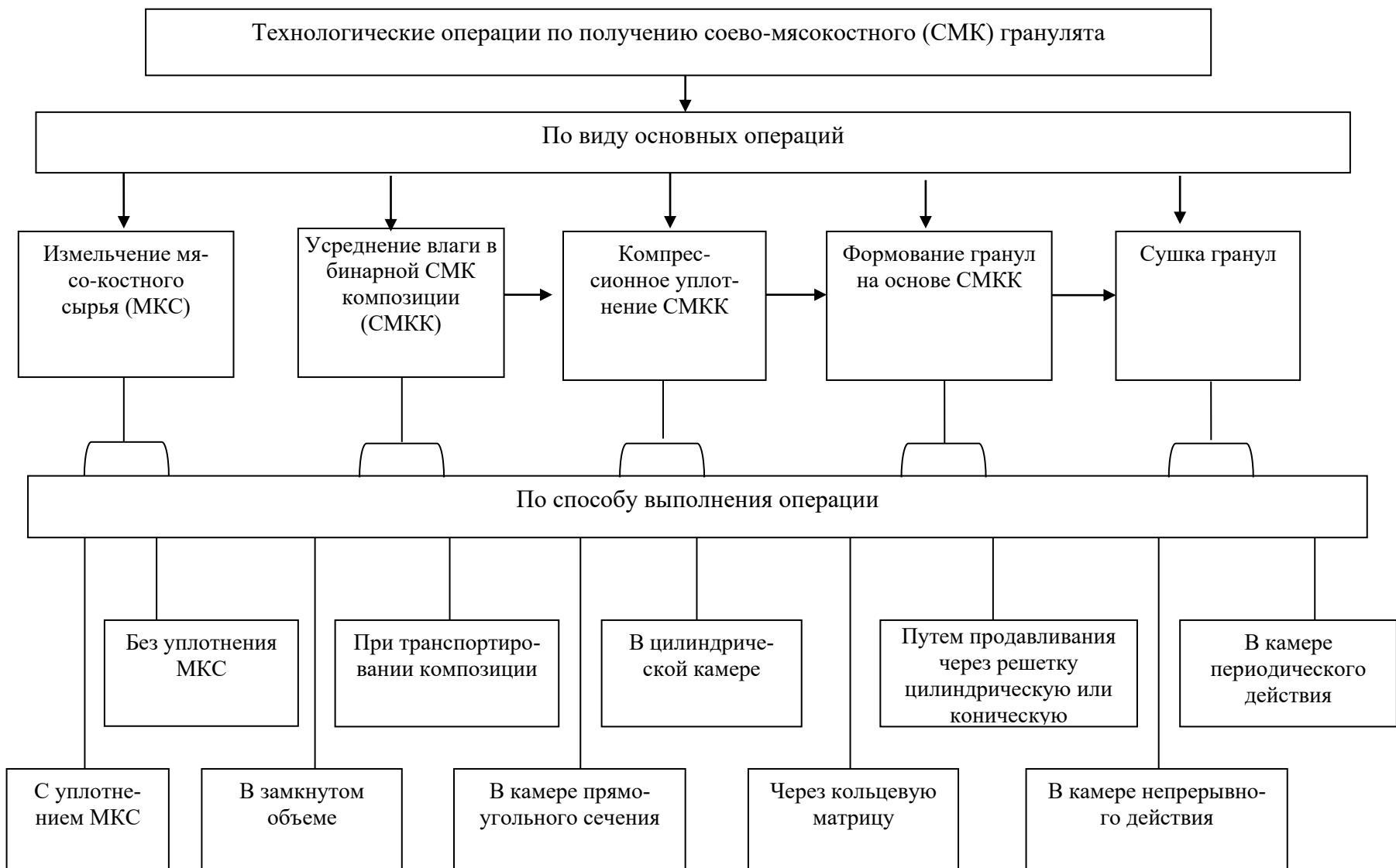


Рисунок 2.1 – Схема классификации технологических операций получения соево-мясокостного гранулята

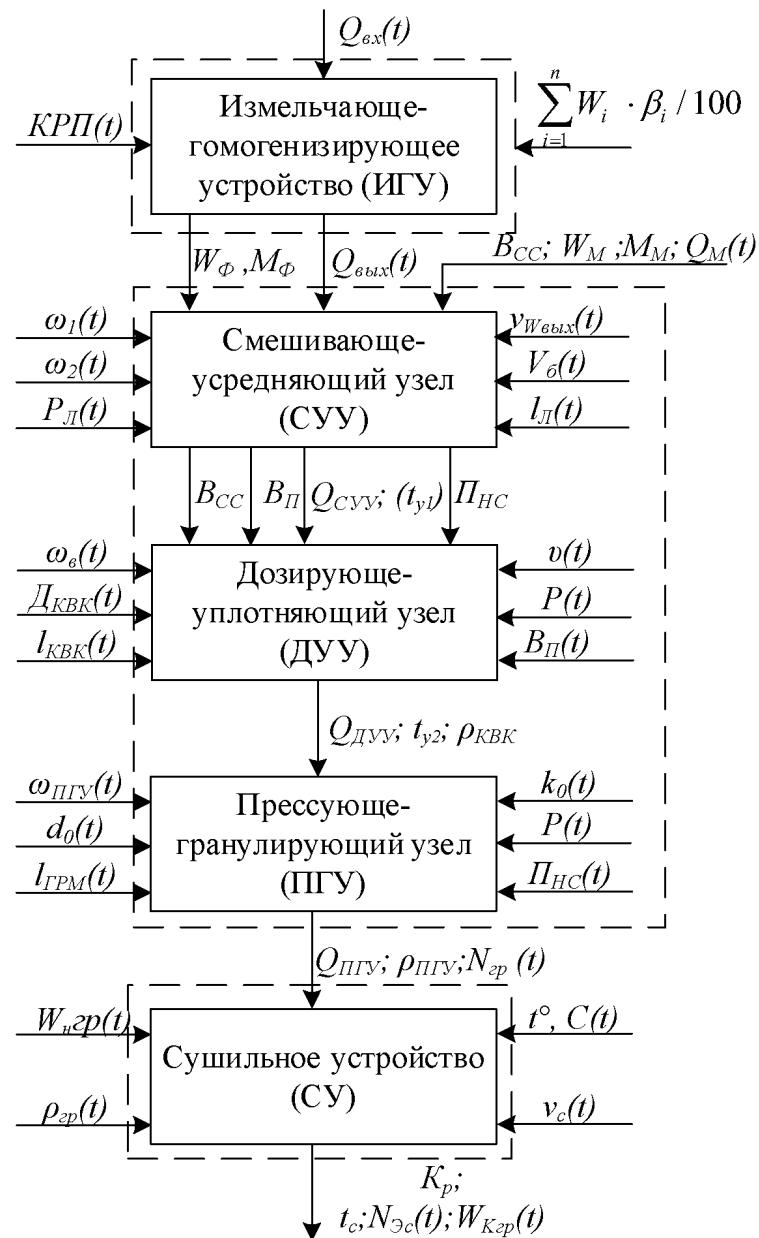


Рисунок 2.2 – Функционально-структурная схема технической системы в виде совокупности оборудования для получения соево-мясокостного гранулята

На рисунке 2.2 приняты следующие обозначения:  $Q_y$  – подача мясокостного сырья в ИГУ, к/ч;  $KРП(t)$  – совокупность конструктивно-режимных параметров ИГУ;  $\sum_{i=1}^n W_i \cdot \beta_i / 100$  – усредненное значение влажности –  $W$  по составляющим  $\beta_i$  мясокостного сырья, %;  $B_{CC}$  – влагосвязывающая способность фарша, %;  $W_\phi, W_M$  – влажность мясокостного фарша и соевой термообработанной необезжиренной муки, %;  $v_{W_{belyx}}(t)$  – показатель неравномерности распределения влаги в фарше, %;  $M_\phi, M_M$  – масса подаваемой в бункер СУУ МКФ и

подающейся в ПГУ, кг/ч;  $Q_{СУУ}; (t_{y1}) \Pi_{HC}$  – подача смеси в СУУ, кг/ч;  $Q_{ДУУ}; t_{y2}; \rho_{KVK}$  – подача смеси в ДУУ, кг/ч;  $Q_{ПГУ}; \rho_{ПГУ}; N_{ep}(t)$  – подача смеси в ПГУ, кг/ч;  $t^\circ, C(t)$  – температура и влажность гранул, %;  $v_c(t)$  – скорость движения гранул в сушильной камере, м/с;  $K_p$  – коэффициент поглощения влаги гранул, %;  $t_c; N_{\Theta c}(t); W_{Kep}(t)$  – температура и влажность гранул в сушильной камере, кг/ч.

HTCM, кг;  $\omega_1(t)$ ,  $\omega_2(t)$  – угловая скорость валов СУУ,  $\text{с}^{-1}$ ;  $P_{\text{л}}(t)$  – усилие на лопасти вала СУУ;  $V_{\delta}(t)$  – объем бункера СУУ,  $\text{м}^3$ ;  $l_{\text{л}}(t)$  – длина лопасти СУУ, м;  $Q_{\text{СУУ}}$  – производительность СУУ, кг/ч ( $\text{м}^3/\text{с}$ );  $\rho_{\kappa}$  – плотность в КВК,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $t_y$  – время усреднения влаги в соево-мясокостной композиции (СМКК), с;  $Q_{\text{ПГУ}}$  – производительность ПГУ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\omega_{\text{в}}(t)$ ,  $\omega_{\text{ПГУ}}(t)$  – угловые скорости валов,  $\text{с}^{-1}$ ;  $D_{\text{КВК}}$ ,  $l_{\text{КВК}}$  – диаметр и длина компрессионно-выравнивающей камеры, м;  $\Pi_{\text{HC}}$ ,  $B_{\text{П}}$  – предельное напряжение сдвига, Па и вязкость,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;  $B_{\text{CC}}$  – водосвязывающая способность, %;  $\rho_{\text{ПГУ}}$  – плотность гранул на выходе из ПГУ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $k_o$  – количество отверстий в матрице ПГУ, шт.;  $N_{\text{ep}}(t)$  – удельная мощность на гранулировании,  $\text{kВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ ;  $P$  – давление в КВК, МПа;  $W_{\text{нep}}(t)$  – исходная влажность гранул, %;  $\rho_{\text{ep}}(t)$  – плотность сушеных гранул,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $t^{\circ}_c$  – температура сушки,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $v_c(t)$  – интенсивность сушки, %/с;  $Kp$  – крошимость сушеных гранул, %;  $t_c$  – время сушки, с;  $N_{\text{Эc}}$  – энергоемкость процесса сушки,  $\text{kВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ ;  $W_{Kep}$  – конечная влажность гранул, %.

Вполне очевидным является тот факт, что на принятую систему функционирования должны быть наложены определенные ограничения.

Так, на элементы технической системы, представленной на рисунке 2.2, наложены следующие ограничения:

- по производительности линии:

$$Q_{\text{Л}} \leq Q_{\text{СУУ}} \leq Q_{\text{ДУУ}} \leq Q_{\text{ПГУ}} = f(W_{\phi}; W_M; t_y; \rho_{\kappa}) \rightarrow \text{opt}, \quad (2.2)$$

- по плотности СМКК:

$$\rho_{\kappa} = f(B_{\text{CC}}; \Pi_{\text{HC}}; \omega_{\text{ПГУ}}/\omega_{\text{в}}; P) \rightarrow \max, \quad (2.3)$$

- по энергоемкости:

$$N_{\text{Э}} = f(Q_{\text{Л}}) \rightarrow \min,$$

- по крошимости гранул:

$$Kp = f(v_{\text{W}_{\text{нep}}}; W_{\text{н}}; W_{Kep}; t_c) \rightarrow \min \quad (2.4)$$

Совокупность уравнений (2.1) – (2.4) в виде системы (2.5) можно принять в качестве экономико-математической модели оценки функционирования предложенной технической системы

$$\left. \begin{array}{l}
 \mathcal{EI} = \sum_{i=1}^n (I\mathcal{E}_i) \cdot Q_i \cdot t_i \rightarrow \min; \\
 \text{при } Q_i = f(W_{\phi}; W_M; t_y; \rho) \rightarrow \text{opt}; \\
 \rho = f(B_{CC}; \Pi_{HC}; \omega_e / \omega_{\text{ПГУ}}; P) \rightarrow \max; \\
 N_{\mathcal{E}} = f(Q_i) \rightarrow \min; \\
 Kp = f(\nu_{W_{\text{был}}}; W_{\text{н}}; W_{Kp}; t_c) \rightarrow \min
 \end{array} \right\} \quad (2.5)$$

Таким образом, в процессе дальнейших исследований надлежит установить зависимости, характеризующие критерии, приведенные в предложенной системе уравнений (2.5), с выявлением факторов, обеспечивающих выполнение процессов в соответствии с исходными требованиями.

## 2.2 Теоретическое обоснование рабочего процесса и параметров измельчающе-гомогенизирующего устройства

Согласно технологическому процессу (рисунок 2.2) первой операцией является приготовление мясокостного фарша с помощью ИГУ.

Особенностью данного процесса является, что на переработку подается исходное субпродуктово-мясокостное сырье (МКС) с высокими колебаниями влажности –  $W_i$  по своим составляющим. В качестве таких составляющих, в исходном МКС, получаемых от переработки птицы – отходов, например, в виде голов, шей и кишечника, можно выделить:

- мышечная ткань –  $W_1, \%$ ;
- жировая составляющая –  $W_2, \%$ ;
- костная ткань –  $W_3, \%$ ;
- мозговая составляющая –  $W_4, \%$ ;
- шкурка –  $W_5, \%$ ;
- кишечник –  $W_6, \%$ .

Каждая из данных составляющих МКС имеет определенную массовую долю –  $\beta_i$  в общем количестве, подлежащего измельчению и гомогенизации сырья.

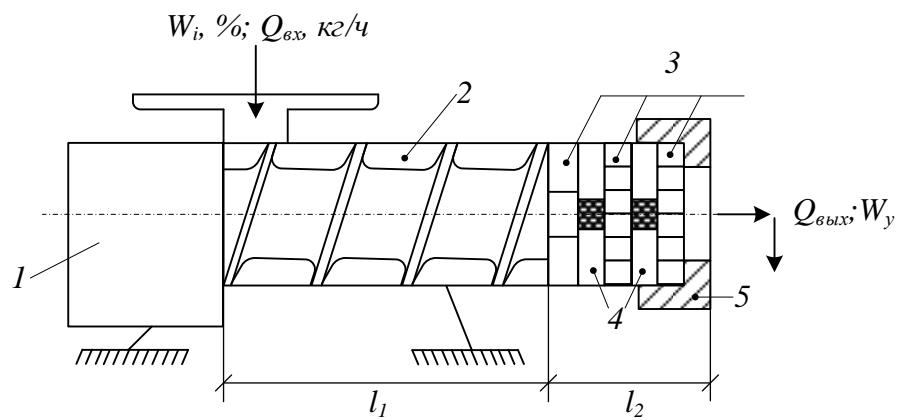
Для последующей оценки среднего содержания влаги в МКС необходимо определить его количественное значение через средневзвешенную характеристи-

стику

$$W_y = \sum_{i=1}^6 W_i \cdot \beta_i / 100, \quad (2.6)$$

где значения  $W_i$  и  $\beta_i$  определяются экспериментально.

В качестве ИГУ для данного вида МКС выбран измельчитель с многоступенчатым решетчато-ножевым аппаратом, обладающим высокой измельчающей-перетирающе-смешивающей способностью (ИПСС). Его конструктивно-технологическая схема представлена на рисунке 2.3. Формализованная потоковая модель функционирования ИГУ приведена на рисунке 2.4.



1 – привод; 2 – винт; 3 – измельчающие решетки; 4 – ножи перьевого типа; 5 - гайка

Рисунок 2.3 – Аппаратурная схема ИГУ

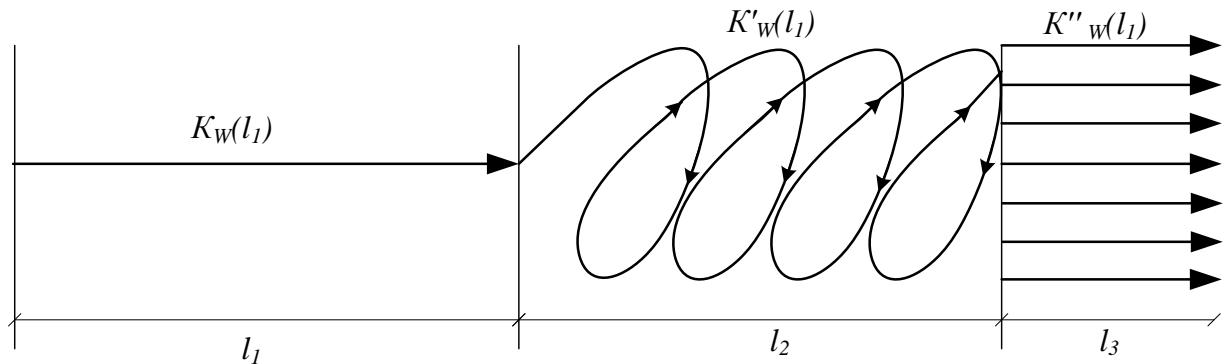


Рисунок 2.4 – Формализованная потоковая модель функционирования ИГУ при измельчении МКС

Формально процесс измельчения МКС с помощью принятого ИГУ можно представить в виде случайного, который описывается математическим аппаратом с использованием корреляционных функций по отклонению содержания

влаги  $W, \%$  в потоке  $K_W(l_i)$  на длине  $l = \sum_{i=1}^m l_i$ , где  $l_i$  – длина участков, определяемых конструкцией ИГУ (рисунки 2.3 и 2.4).

При этом, поток на каждом из выделенных участков длиной  $l_i$  характеризуется неразрывностью

$$F_1 \cdot \rho_1 \cdot v_1 = F_2 \cdot \rho_2 \cdot v_2 = F_3 \cdot \rho_3 \cdot v_3, \quad (2.7)$$

где  $F_1, F_2, F_3$  – площадь поперечного сечения потока на соответствующем участке –  $l_i, \text{м}^2$ ;

$\rho_1, \rho_2, \rho_3$  – плотность субпродуктового МКС соответственно на длине –  $l_i, \text{кг/м}^3$ ;

$v_1, v_2, v_3$ , – скорость движения МКС на соответствующих участках –  $l_i, \text{м/с}$ .

Для выражения (2.7) справедливо следующее равенство соотношений

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{v_2}{v_1} = \text{const} \quad (2.8)$$

Данное равенство характеризует поток (рисунок 2.4), как «сжимающийся» на участке –  $l_2$  и растягивающе-разветвляющийся на участке –  $l_3$ .

При этом, на участке –  $l_2$  происходит его трансформация путем гомогенизации, т.е. МКС претерпевает тонкую дезинтеграцию, с активным перераспределением полученных частиц по его составляющим и по влажности, посредством действия на сырье пассивных (решеток) и активных (ножей) элементов.

В результате такого воздействия образуется гомогенизированная смесь частиц по составляющим и влажности, которая на выходе представляет собой совокупность элементарных потоков по диаметру равных диаметру отверстий  $d_o$  последней решетки, в количестве, равном числу отверстий –  $k_o$  в решетке на участке, равном –  $l_3$  (рисунок 2.4).

Данный подход позволяет представить среднее значение влажности  $W$  в полученным потоке (рисунок 2.4), как

$$\overline{W_y} = l^{-1} \int_0^l W_{ex}(l) dl \quad (2.9)$$

В соответствии с законом нормального распределения случайной величины в отношении разброса значений влаги в принятом потоке имеем, что абсолютное отклонение параметра –  $W$  равно  $\pm\Delta = \bar{W} - W_p$ , где  $W_p$  – расчетное значение влажности по длине потока субпродуктового мясокостного сырья (МКС), %. Следовательно, при  $\Delta = 2 \cdot \sigma_w^2$  с учетом того, что  $\nu_w = \Delta/W_p$ , где  $\nu_w$  – относительное отклонение влажности в МКС, а  $\sigma_w$  – среднеквадратическое отклонение значений влажности в МКС, получаем

$$\sigma_w^2 = \nu_w^2 \cdot W_p^2 / 4 \quad (2.10)$$

Согласно положениям теории вероятностей [13] имеем, что

$$\sigma_w^2 = M \left\{ \left[ l^{-1} \int_0^l W(l) dl - W_p \right]^2 \right\} = l^{-2} \int_0^l \int_0^l K_{\bar{W}}(l - l') dl \cdot dl', \quad (2.11)$$

где  $K_{\bar{W}}(l - l')$  – корреляционная функция случайной функции  $W(l)$  в интервале длины потока  $\Delta l = (l - l')$ ;

$M$  – математическое ожидание.

При  $\sigma^2 = 0$ ,  $\nu_w = 0$ , и  $\bar{W} = W_p$  согласно положениям теории вероятности [13] можно записать, что

$$\int_0^l \int_0^l K_{\bar{W}}(l - l') dl \cdot dl' < 2\sigma_w^2 \cdot l \cdot \Delta l + \varepsilon l^2, \quad (2.12)$$

где  $\Delta l$  – интервал корреляции длины участка в диапазоне интервала корреляции.

Разделив неравенство (2.12) на величину  $l^2$  получаем

$$(\nu_w^2 \cdot W_p^2) / 4 = [(2\sigma_w^2 \cdot \Delta l) / l] + K_w(\Delta l) \quad (2.13)$$

Аппроксимируем  $K_w(\Delta l)$  выражением

$$K_w(\Delta l) = \sigma_w^2 \cdot e^{-\alpha \cdot \Delta l} \cdot \cos \beta \cdot \Delta l, \quad (2.14)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры функции, характеризующие степень ее убывания и колебания.

С учетом зависимостей (2.13) и (2.14) получаем, что

$$\nu_w = 2W_p^{-1} \sqrt{\frac{2\sigma_w^2 \cdot \Delta l + \sigma_w^2 \cdot l \cdot e^{-\alpha \cdot \Delta l} \cdot \cos \beta \cdot \Delta l}{l}} \quad (2.15)$$

На участке  $l_2$ , поток с оценкой, равной  $\nu_w$  трансформируется в количество потоков на участке  $l_3$ , равное  $n = k_o$ , в связи с чем можно записать

$$\sigma_{W_{\text{вых}}}^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sigma_{W_{\text{вх}}}^2, \quad (2.16)$$

или

$$\sigma_{W_{\text{вых}}}^2 = k_o^{-2} \sum_{i=1}^{k_o} \sigma_{W_{\text{вх}}}^2, \quad (2.17)$$

Объемную производительность ИГУ представим как

$$Q_V = \frac{\pi d_o^3 \cdot \dot{\gamma} \cdot Z_o}{32}, \quad (2.18)$$

где  $d_o^3$  – диаметральный размер отверстия в последней решётке, мм;  
 $\dot{\gamma}$  – скорость сдвига субпродуктового фарша,  $\text{с}^{-1}$ .

Выразив параметр  $\dot{\gamma}$  через предельное напряжение сдвига –  $\Pi_{HC}$ , Па и вязкость –  $B_{\Pi}$ , Па·с и решив уравнение (2.18) относительно параметра  $k_o$ , получаем

$$k_o = \frac{10,2 Q_V \cdot B_{\Pi}}{d_o^3 \cdot \Pi_{HC}} \quad (2.19)$$

Подставляя значения  $k_o$  из равенства (2.19) в уравнение (2.17) имеем

$$\sigma_{W_{\text{вых}}}^2 = \left[ \frac{0,0981 \cdot d_o^3 \cdot \Pi_{HC}}{Q_V \cdot B_{\Pi}} \right]^{-2} \cdot \sum_{i=1}^{k_o} \sigma_{W_{\text{вх}}}^2 \quad (2.20)$$

Для оценки равномерности распределения влаги в измельченной мясокостной композиции принят коэффициент вариации

$$\nu_{W_{\text{вых}}} = \frac{100 \cdot \sqrt{\sigma_{W_{\text{вых}}}^2}}{W_{\text{вых}}}, \% \quad (2.21)$$

Зависимость (2.20) устанавливает взаимосвязь между конструктивными параметрами ИГУ, его подачей, реологическими показателями получаемого фарша в виде мясокостной смеси, а также равномерностью распределения влаги в ней, оцениваемой дисперсией входного и выходного потока –  $\sigma_{W_{\text{вх}}}^2$ ,  $\sigma_{W_{\text{вых}}}^2$ .

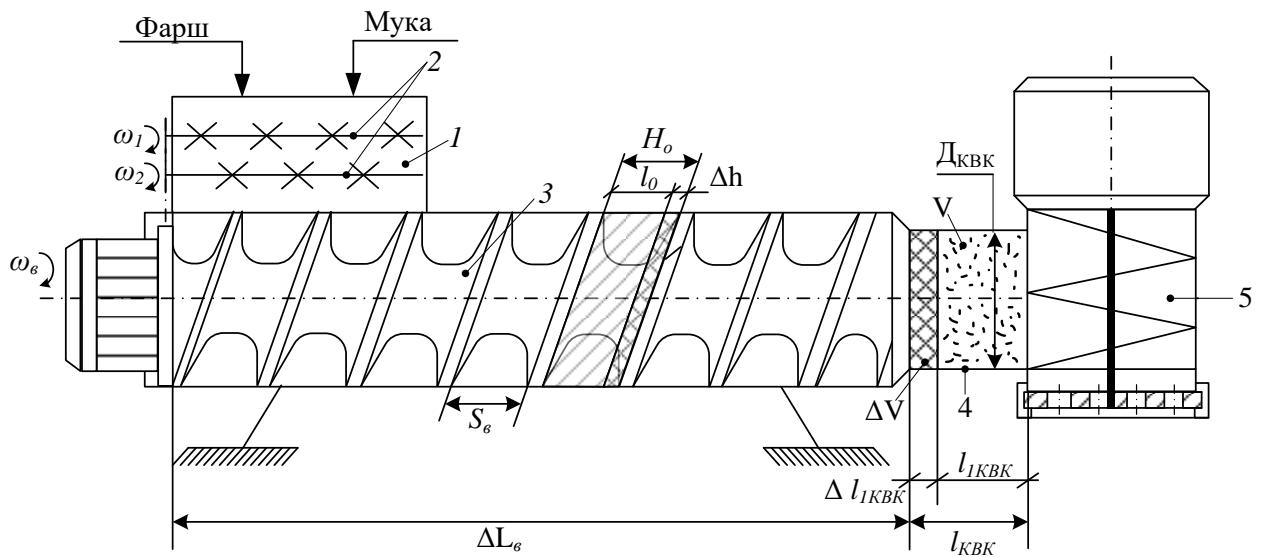
Выравнивающе-усредняющую способность ИГУ можно оценить посред-

ством соотношения

$$K = \sigma_{W_{ex}}^2 / \sigma_{W_{вых}}^2 \quad (2.22)$$

### 2.3 Обоснование параметров смещающе-усредняющего узла в составе агрегата

Согласно функционально-структурной схеме процесса получения соево-мясокостного гранулята (рисунок 2.2), вторым функциональным структурным элементом является СУУ.



1 – бункер СУУ; 2 – валы смещающие; 3 – винт;  
4 – компрессионно-выравнивающая камера; 5 – гранулятор

Рисунок 2.5 – Схема к обоснованию параметров смещающе-усредняющего узла

Данный узел представляет собой бункер 1 (рисунок 2.2) внутри которого размещены смещающие рабочие органы – 2.

При работе СУУ, в бункер – 1 подаются в определенном соотношении мясокостный фарш в количестве –  $M_{\phi}$  и соевая необезжиренная термообработанная мука в количестве –  $M_M$ .

При функционировании СУУ, масса продукта, в количестве

$\sum_{i=1}^n M = M_{\phi} + M_M$  перемешивается с интенсивностью перераспределения, определяемой значениями угловых скоростей –  $\omega_1$  и  $\omega_2$  рабочих органов – СУУ и

ПГУ.

При этом, влага, содержащаяся в объёме мясокостного фарша (МКФ)  $V_F = M_F / \rho_{cp}$ , где  $\rho_{cp}$  – плотность МКФ перераспределяется в объеме –  $V_M = M_M / \rho_M$  НТСМ, где  $\rho_M$  – плотность НТСМ в результате чего, на основе исходных продуктов, формируется соево-мясокостная композиция (СМКК) с трансформированными показателями и свойствами.

За счет перераспределения влаги происходит ее усреднение в структуре смеси до значения, равного

$$W_y = \sum_{i=1}^n W_i \cdot M_i / 100, \quad (2.23)$$

где  $n$  – количество компонентов.

При этом, продолжительность работы СУУ –  $t_y$ , определяется получением смеси с равномерно-распределённым мучным компонентом в фаршевой среде, а также равномерно распределенной влагой в муке, перешедшей в результате диффузионного процесса в состав этой муки из фарша.

Значением данного параметра определяется производительность СУУ –  $Q_{СУУ}$ , которая характеризуется зависимостью

$$Q_{СУУ}^m = \sum_{i=1}^u M_i / t_y \quad (2.24)$$

Для объёмной производительности имеем, что

$$Q_{СУУ}^v = \sum_{i=1}^u M_i / \rho_y \cdot t_y, \quad (2.25)$$

где  $\rho_y$  – усредненное значение плотности (плотность полученной композиции).

Для определения основных параметров, характеризующих рабочий процесс СУУ в виде однородности СМКК –  $\theta$ , % и продолжительности получения композиции –  $t_y$  с требуемым показателем  $[\theta]$ , % использован следующий подход.

Определяющим исходным фактором, для данного процесса является соотношение компонентов, которое в принципе определяет вероятность взаимодействия в виде соприкосновения влажной и сухой частиц друг с другом, для

обеспечения «передачи» влаги.

В рамках данного подхода примем, что число частиц сухого компонента равно  $K_1$ , влажного –  $K_2$ , а время возможного их взаимодействия между собой равным  $\Delta$ . За период смещивания –  $T_y$  – число сухих частиц, вступавших во взаимодействие с влажными является случайной величиной –  $\Delta K_1$ . При этом за период, равный –  $\Delta$ , каждый из влажных компонентов –  $\Delta K_2$  совершает количество контактов, равное  $j = y_2 \cdot \Delta$ , где  $y_2 = i \cdot \gamma_2$  – интенсивность возможного нахождения частиц из числа  $K_2$  в зоне соприкосновения с частицей из числа  $K_1$ , а  $\gamma$  – вероятность ее контакта с соответствующей частицей из их числа из этого числа –  $K_1$ . Для данного подхода справедливо равенство

$$\Delta K_1 = -y_2 \cdot K_2 \cdot \Delta \quad (2.26)$$

Дифференциальным уравнением (2.26) является

$$\frac{dK_1}{dt} = -y_2 \cdot \Delta K_2 \quad (2.27)$$

Соответственно, можно записать, что

$$\frac{dK_2}{dt} = -y_1 \cdot \Delta K_1, \quad (2.28)$$

при  $\Delta K_1(0) = K_1$  и  $\Delta K_2(0) = K_2$ .

Последующее дифференцирование

$$\frac{d^2 K_1}{dt^2} = y_1 \cdot y_2 \cdot \Delta K_1 \quad (2.29)$$

дает, что

$$\Delta K_1 = C_1 \cdot e^{(y_1 \cdot y_2)^{0.5} \cdot T_y} + C_2 \cdot e^{-(y_1 \cdot y_2)^{0.5} \cdot T_y} \quad (2.30)$$

Уравнение (2.30) можно представить в следующем виде

$$\Delta K_1 = C_3 \cdot ch \left[ \sqrt{y_1 \cdot y_2} \cdot T_y \right] + C_4 \cdot sh \left[ \sqrt{y_1 \cdot y_2} \cdot T_y \right] \quad (2.31)$$

Для второго компонента соответственно получаем, что

$$\begin{aligned} \Delta K_2 = & -C_3 \cdot \left\{ \left[ \sqrt{y_1 / y_2} \right] \cdot sh \left[ \sqrt{y_1 \cdot y_2} \cdot T_y \right] \right\} - \\ & -C_4 \left\{ \left[ \sqrt{y_1 / y_2} \right] \cdot ch \left[ \sqrt{y_1 \cdot y_2} \cdot T_y \right] \right\} \end{aligned} \quad (2.32)$$

Значения  $C_1$  и  $C_4$  соответственно равны

$$\left. \begin{array}{l} C_3 = K_1; \\ C_4 = -\left(\sqrt{y_2/y_1}\right) \cdot K_2 \end{array} \right\} \quad (2.33)$$

С учетом значений системы (2.33) получаем

$$\Delta K_1 = K_1 ch\left[\sqrt{y_1 \cdot y_2}\right] \cdot T_y - K_2 \left[\sqrt{y_2/y_1}\right] \cdot sh\left[\sqrt{y_1 \cdot y_2}\right] \cdot T_y \quad (2.34)$$

$$\Delta K_2 = K_1 \left[\sqrt{y_1/y_2}\right] \cdot sh\left[\sqrt{y_1 \cdot y_2}\right] \cdot T_y + K_2 \cdot ch\left[\sqrt{y_1 \cdot y_2}\right] \cdot T_y \quad (2.35)$$

Примем следующие соотношения:

$$\varepsilon_1 = \Delta K_1 / K_1; \quad (2.36)$$

$$\varepsilon_2 = \Delta K_2 / K_2 \quad (2.37)$$

Для данных равенств, с учетом уравнений (2.27) и (2.28) имеем

$$\frac{d\varepsilon_1}{dt} = -y_2 \frac{K_2}{K_1} \cdot \varepsilon_2; \quad (2.38)$$

$$\frac{d\varepsilon_2}{dt} = -y_1 \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot \varepsilon_1 \quad (2.39)$$

Интегрирование данных уравнений приводит к следующему их виду ( $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1$ , а  $T_y = 0$ )

$$\sigma_1 = y_1 \cdot K_1 \cdot K_2^{-1}; \quad (2.40)$$

$$\sigma_2 = y_2 \cdot K_2 \cdot K_1^{-1} \quad (2.41)$$

С учетом (2.40) и (2.41) уравнения (2.38) и (2.39) имеют вид

$$\frac{d\varepsilon_1}{dt} = -\sigma_2 \cdot \varepsilon_2; \quad (2.42)$$

$$\frac{d\varepsilon_2}{dt} = -\sigma_1 \cdot \varepsilon_1 \quad (2.43)$$

Значения  $\sigma_2$  и  $\sigma_1$  показывают интенсивность возможных контактов частиц сухого компонента, с каким-то числом влажных частиц в принятом устройстве, за принятое время  $-\Delta_i$ , с какой-то степенью вероятности  $-\gamma_2$ .

Данный факт обусловлен случайным воздействием смещающих органов на влажные и сухие частицы компонентов, при их определенном соотношении  $-C(t)$ , подаваемых в бункер смесителя-усреднителя (рисунок 2.2).

Решение уравнений (2.42) и (2.43) позволяет получить

$$\varepsilon_1 = ch\left[\sqrt{\sigma_1 \cdot \sigma_2}\right] \cdot T_y - \left[\sqrt{\sigma_2/\sigma_1}\right] \cdot sh\left[\sqrt{\sigma_1 \cdot \sigma_2}\right] \cdot T_y; \quad (2.44)$$

$$\varepsilon_2 = ch\left[\sqrt{\sigma_1 \cdot \sigma_2}\right] \cdot T_y - \left[\sqrt{\sigma_1/\sigma_2}\right] \cdot sh\left[\sqrt{\sigma_1 \cdot \sigma_2}\right] \cdot T_y \quad (2.45)$$

Введем следующие переменные

$$\Delta' = (\sigma_1 \cdot \sigma_2)^{\frac{1}{2}} \cdot T_y; \quad (2.46)$$

$$(\sigma_1/\sigma_2)^{\frac{1}{2}} = \beta \quad (2.47)$$

и, получим, что

$$\varepsilon_1 = ch \cdot \Delta' - \beta^{-1} \cdot sh \cdot \Delta'; \quad (2.48)$$

$$\varepsilon_2 = ch \cdot \Delta' - \beta \cdot st \cdot \Delta' \quad (2.49)$$

При значениях параметра  $\beta = 1,0$  параметр  $\varepsilon_2$  равен

$$\varepsilon_2 = \exp(-\Delta') \text{ и параметр } \theta(\gamma_2) = 50 \% \quad (2.50)$$

При этом имеем, что

$$\Delta' = \ln \varepsilon_1 = \ln \varepsilon_2 \quad (2.51)$$

С учетом равенства (2.46) получаем

$$T_y = \ln \varepsilon_1 / (\sigma_1 \cdot \sigma_2)^{\frac{1}{2}}$$

Тогда, согласно равенству (2.25) производительность смесителя-усреднителя при  $t_y = T_y$ , определится

$$Q_{Cuy}^V = \sum_{i=1}^n M_i (\sigma_1 \cdot \sigma_2)^{\frac{1}{2}} / \rho_y \cdot \ln \varepsilon_1 \quad (2.52)$$

При величине  $\beta > 1$ , значения параметра, характеризующего степень усреднения влаги между частицами компонентов увеличивается, т.е.  $\theta(\gamma_2) \rightarrow 100 \%$ .

Соответствующие расчеты показывают, что при  $C = 1:1 = 50:50$  с интенсивностью контактирования  $1/4$  в секунду с вероятностью  $\gamma_1 = 0,56$  и не контактированием половины частиц от принятого их количества с  $\gamma_2 = 0,5$  получаем, что  $\varepsilon_1 = 0,28$ , а  $\varepsilon_2 = 0,125$ .

Для параметра  $\Delta'$  имеем, что  $\Delta' = [0,28 \cdot 0,125]^{\frac{1}{2}} \cdot T_y = 0,19 T_y$ .

Для параметра  $\beta$  имеем, что  $\beta = [0,28/0,125]^{\frac{1}{2}} \cdot T_y = 1,5$ .

В момент времени, который при  $\beta = 0$  и  $ch\Delta' - \beta ch\Delta' = 0$  получаем  $th\Delta' = \beta^{-1} = 1,5^{-1} = 0,668$ .

При  $th\Delta' = 0,6680$ ,  $\Delta' = 0,8$  и, тогда  $T_y = 257$  с.

Для значения  $\varepsilon_1$  имеем, что  $ch0,8 - 0,668 \cdot sh \cdot 0,8 \approx 1,4 - 0,6 = 0,8$ .

Соответственно  $\varepsilon_2 = 1,0 - 0,8 = 0,2$ .

Таким образом, при принятых значениях параметров степень усреднения влаги в композиции, как  $\min$  составляет  $\theta(\gamma_2) = 80\%$ .

Мощность, потребная на привод СУУ равна:

$$N_{СУУ} = n_e \cdot M_e \cdot \omega_e, \quad (2.53)$$

где  $n_e$  – число валов СУУ;

$M_e$  – момент на валу СУУ;

$\omega_e$  – угловая скорость валов СУУ.

Момент на валу СУУ равен

$$M_e = P_l \cdot l_l, \quad (2.54)$$

где  $P_l$  – сопротивление вращению лопасти, определяемое по формуле [65];

$l_l$  – длина лопасти.

## 2.4 Обоснование параметров рабочего процесса и параметров дозирующе-уплотняющего узла в составе агрегата

Рабочий процесс ДУУ (рисунок 2.6) представляет собой два последовательно выполняемых процесса – первый, связан с транспортировкой соево-мясокостной композиции и ее забором от СУУ винтом, а второй с трансформацией потока СМКК в компрессионно-выравнивающей камере КВК.

При этом, подачу винтового устройства представили, как

$$Q_e = 0,16 \cdot F_e \cdot \rho_e \cdot S_e \cdot \omega_e \cdot \varphi_e, \quad (2.55)$$

где  $F_e$  – площадь поперечного сечения продукта в виде кольца, м;

$\rho_e$  – плотность продукта в межвитковом пространстве винта,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$S_e$  – шаг витков, м;

$\omega_e$  – угловая скорость винта, м;

$\varphi_e$  – коэффициент заполнения винта.

Согласно технологическому процессу пропускная способность КВК ха-

рактеризуется следующей зависимостью

$$Q_e \leq Q_{KVK} = 0,16 F_{KVK} \cdot \rho_{KVK} \cdot \Delta l_{KVK} \cdot \omega_e \quad (2.56)$$

Решение уравнений (2.55), (2.56) относительно параметра  $\Delta l_{KVK}$  (рис. 2.6) дает следующее соотношение

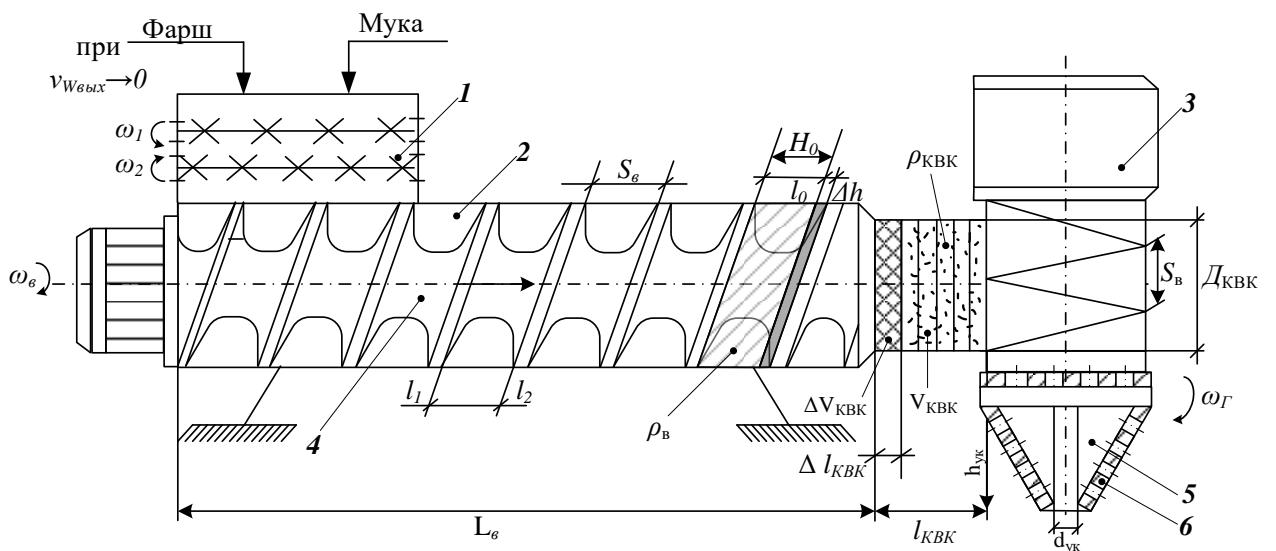
$$\Delta l_{KVK} = \frac{0,16 \cdot F_e \cdot \rho_e \cdot S_e \cdot \omega_e \cdot \varphi_e}{0,16 F_{KVK} \cdot \rho_{KVK} \cdot \omega_e} = \frac{F_e \cdot \rho_e \cdot S_e \cdot \varphi_e}{F_{KVK} \cdot \rho_{KVK}} = \frac{S \cdot Z}{k_y}, \quad (2.57)$$

где  $k_y$  – степень уплотнения продукта в КВК, ед.;

$Z$  – коэффициент пропорциональности.

Значение параметра  $\Delta l_{KVK}$  характеризует степень сжатия кормового потока от величины  $S = l_2 - l_1$  до величины  $\Delta l_{KVK}$  (рисунок 2.6).

При этом, кормовой поток, перемещаемый винтом, по своим характеристикам  $F_e$ ,  $\rho_e$  и  $\omega_e$  не является постоянным, в виду колебаний их значений при перемещении винтом соево-мясокостной композиции. В определенной степени данный кормовой поток имеет колебания в своем составе такого параметра, как влажность –  $W, \%$ .



1 – СУУ; 2 – ДУУ; 3 – ПГУ; 4 – винт; 5 – четырехлопастной ротор; 6 – коническая матрица  
Рисунок 2.6 – Конструктивно-технологическая схема устройства для получения влажного соево-мясокостного гранулята

Согласно рисунку 2.6, соево-мясокостная композиция, подаваемая винтом – 3 устройства и трансформированная по структуре и форме, занимает объ-

ем в КВК – 2, равный  $V_{KBK} = 0,785 \cdot \pi \cdot D_{KBK}^2 \cdot l_{KBK}$ . При этом, СМКК уплотняется, путем постоянного приращения элементарных объемов, равных  $\Delta V_{KBK} = \frac{\pi \cdot D_{KBK}^2 \cdot \Delta l_{KBK}}{4}$ , за  $n$  циклов, равных  $V_{KBK}/\Delta V_{KBK}$ . Величина создаваемого бокового давления, в данном случае, равна

$$P_0 = F_R / (\pi \cdot D_{KBK} \cdot k \cdot \Delta l_{KBK} \cdot f) = 0,318 F_R / (D_{KBK} \cdot h \cdot \Delta l_{KBK} \cdot f), \quad (2.58)$$

где  $f$  – коэффициент трения;

$F_R$  – сила уплотняющая СМКК в КВК, равная сумме осевой –  $F_a$  и окружной сил –  $F_t$ , Н.

С учетом вращающего момента –  $T_M$ , создаваемого винтом, боковое давление определится как

$$P_T = 2T_M / (\pi \cdot D_{KBK}^2 \cdot n \cdot \Delta l_{KBK} \cdot f) = 0,637 \cdot T_M / (D_{KBK}^2 \cdot n \cdot \Delta l_{KBK} \cdot f) \quad (2.59)$$

Давление, с учетом действия двух сил равно

$$\begin{aligned} P_R &= \sqrt{F_a^2 + (2T_M / D_{KBK})^2} / (f \cdot \pi \cdot D_{KBK} \cdot n \cdot \Delta l_{KBK}) = \\ &= 0,318 \left[ F_a^2 + (2T_M / D_{KBK})^2 \right]^{0.5} \cdot (f \cdot \pi \cdot D_{KBK} \cdot n \cdot l_{KBK})^{-1} \end{aligned} \quad (2.60)$$

Под действием данного давления, в условно замкнутом объеме КВК, происходит структурная трансформация состава СМКК, путем дальнейшего перераспределения влаги от мясокостного фарша к соевой муке, с одновременным вытеснением воздуха из СМКК и уменьшением количества пор в ее объеме.

Процесс перехода молекул воды от фарша к соевой муке, в соответствии с законом Фика [123], является диффузионным и, поэтому зависимость, характеризующая их поток определяется, как скорость

$$-dW/dt = 12,56 \cdot l_{nep} \cdot D_\phi \cdot W^2,$$

или

$$-dW/dt = C \cdot W^2, \quad (2.61)$$

где  $C = 12,56 \cdot l_{nep} \cdot D_{cp}$ , а  $l_{nep}$  – расстояние диффузионного перехода молекул воды  $l_{nep} = 2R$ ;  $D_\phi$  – коэффициент, характеризующий процесс диффузии.

Интегрирование уравнения (2.61) при  $W = W_h$  и  $t_h = 0$  дает значение содержания воды в элементарном слое СМКК

$$W = W_h \cdot (1 + C \cdot W_h \cdot t_h)^{-1} \quad (2.62)$$

В уравнении (2.62) произведение  $C \cdot W_h \cdot t_h$  является безразмерной величиной, а произведение  $C \cdot W_h$  имеет размерность –  $\text{с}^{-1}$ .

Тогда продолжительность диффузионного процесса равна

$$t_y = (C \cdot W_h)^{-1} \quad (2.63)$$

откуда получаем, что

$$W_i = W_h \cdot (1 + t/t_y)^{-1} \quad (2.64)$$

При значениях  $t = t_y$  имеем, что  $W = W_0/(1+1) = W_h/2$ , т.е. концентрация воды в СМК фарше уменьшается вдвое, следовательно имеет место усреднение.

Из уравнений (2.61) и (2.62) имеем, что

$$t_y = (8 \cdot \pi \cdot l_{nep} \cdot D_\phi \cdot W_h)^{-1} \quad (2.65)$$

С учетом известного выражения для коэффициента диффузии [123]

$$D_\phi = \xi \cdot T \cdot (6 \cdot \pi \cdot B_\Pi \cdot R)^{-1}, \quad (2.66)$$

где  $\xi$  – коэффициент, характеризующий газовую постоянную;

$T$  – температура соево-мясной композиции;

$B_\Pi$  – вязкость соево-мясной композиции, равная  $B_\Pi = \Pi_{hc}/\dot{\gamma}$ .

С учетом уравнения (2.65) получаем, что

$$t_y = \frac{3\Pi_{hc}}{8\xi \cdot T \cdot \dot{\gamma} \cdot W_h} = 0,375\Pi_{hc} (\xi \cdot T \cdot W_h \cdot \dot{\gamma} \cdot R)^{-1} \leq [t_y], \quad (2.67)$$

где  $[t_y]$  – допустимое по требованиям время усреднения влаги.

Фактическая продолжительность выравнивания влаги по ее содержанию в СМКК зависит от параметров ДУУ и определяется как

$$t_y = \frac{L_e}{v_0} + l_{KVK}/v_{KVK}, \quad (2.68)$$

где  $L_e, l_{KVK}$  – продольный размер винта и КВК (рис. 2.4);

$v_0, v_{KVK}$  – скорость перемещения СМКК в устройстве ДУУ и КВК.

Параметр  $v_0$  определяется по формуле [65]:

$$v_0 = r_{cp} \cdot \omega_e \cdot \sin \alpha_c \cdot (\cos \alpha_c - f \sin \alpha_c), \quad (2.69)$$

где  $r_{cp}$  – средний радиус винта;

$\omega_e$  – угловая скорость винта,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\alpha_c$  – угол развертки винта, определяемый через шаг витков винта);

$f$  – коэффициент трения.

Скорость движения СМКК в КВК определили с учетом условия поточности, при котором

$$Q_{CVV} \leq Q_{KVK}, \quad (2.70)$$

где  $Q_{KVK}$  – подача продукта в КВК.

Согласно неравенству (2.70) и уравнению (2.55) имеем, что

$$0,16 \cdot F_e \cdot \rho_e \cdot S_e \cdot \omega_e \cdot \varphi_e = 0,785 \cdot \mathcal{D}_{KVK}^2 \cdot \rho_{KVK} \cdot v_{KVK} \quad (2.71)$$

Решая данное равенство относительно параметра  $v_{KVK}$  получаем, что

$$v_{KVK} = \frac{0,2F_e \cdot S_e \cdot \omega_e \cdot \varphi_e \cdot \rho_e}{\mathcal{D}_{KVK}^2 \cdot \rho_{KVK}}, \quad (2.72)$$

где  $\rho_e / \rho_{KVK} = 1/k_y$  – величина обратная степени уплотнения СМКК.

При условии, что  $\vartheta_0 = v_{KVK}$ , получим расчетную зависимость, позволяющую определить длину рабочей камеры, в которой размещен винт:

$$L_k = 0,375 \cdot \Pi_{HC} \cdot r_{cp} \cdot \omega_e \cdot \sin \alpha_c (\cos \alpha_c - f \sin \alpha_c) \cdot (\xi \cdot T \cdot W_h \cdot \dot{\gamma} \cdot R)^{-1} \quad (2.73)$$

С учетом принятых выше параметров расчетное значение пропускной способности -  $Q_{DUU}$  составит

$$Q_{DUU} = 2,67(V_k - V_e) \cdot \rho_{c-y} \cdot \xi \cdot T \cdot W_h \cdot \dot{\gamma} \cdot \Pi_{HC}^{-1}, \quad (2.74)$$

где  $V_k$  и  $V_e$  – объемы соответственно камеры корпуса винта и собственно винта.

Абсолютное приращение объема спрессованного продукта определяется в соответствии с разностью [134, 136] (рис. 2.7)

$$\Delta V = d_x \cdot d_y \cdot d_z (1 + \varepsilon_x) (1 + \varepsilon_y) (1 + \varepsilon_z) - d_x \cdot d_y \cdot d_z \quad (2.75)$$

или

$$\Delta V = d_x \cdot d_y \cdot d_z (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z), \quad (2.76)$$

где  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$  – относительное сжатие по осям.

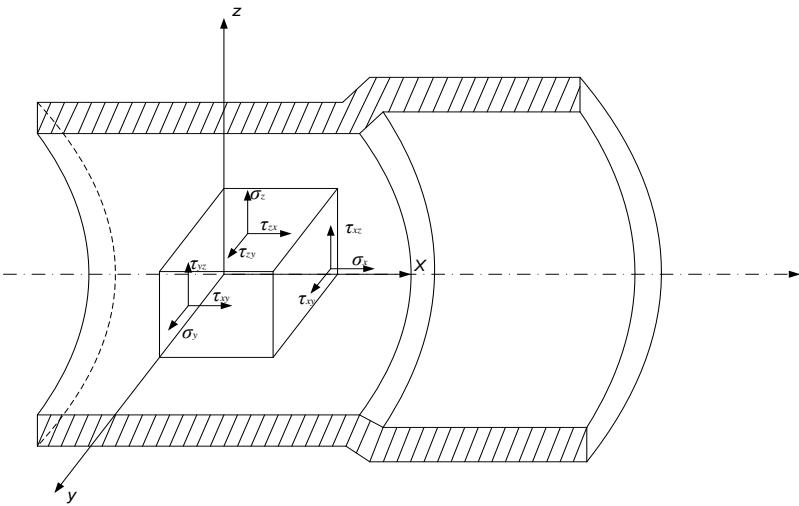


Рисунок 2.7 – Схема к определению давления в компрессионно-выравнивающей камере дозирующее-уплотняющего узла

Тогда, для относительного изменения объема продукта в компрессионно-выравнивающей камере можно записать, что оно равно сумме линейных деформаций по трем осям [134, 136]

$$e_v = \Delta V \cdot (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) \cdot V^{-1}, \quad (2.77)$$

где

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_z}{E} \quad (2.78)$$

В этом равенстве  $\mu$  – коэффициент Пуассона,  $E$  – модуль упругости первого рода.

Такие же выражения получаются и для  $\varepsilon_y$ ,  $\varepsilon_z$ . В итоге, по аналогии имеем

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] \cdot E^{-1}; \\ \varepsilon_y &= [\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)] \cdot E^{-1}; \\ \varepsilon_z &= [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] \cdot E^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (2.79)$$

Сложение левых и правых частей этих равенств дает известное выражение для объемной деформации продукта в компрессионной камере КВК

$$\frac{\Delta V}{V} = e_v = (1 - 2\mu)(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \cdot E^{-1} \quad (2.80)$$

Примем, что

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = K_\sigma \quad (2.81)$$

при

$$\sigma_1 + \sigma_2 = \zeta_0 \cdot P, \sigma_3 = P \quad (2.82)$$

где  $\zeta_0$  – коэффициент бокового распора.

Тогда

$$K_\sigma = 0,5P + \zeta_0 P \quad (2.83)$$

и

$$P = K_\sigma / (0,5 + \zeta_0) \quad (2.84)$$

С учетом выражения (2.80) имеем, что

$$e_V = (1 - 2\mu) \cdot K_\sigma \cdot E^{-1} \quad (2.85)$$

С учетом выражения (2.83)

$$\frac{\Delta V}{V} = e_V = (1 - 2\mu) \cdot (0,5 + \zeta_0) \cdot P \cdot E^{-1} \quad (2.86)$$

откуда

$$P = \Delta V \cdot E \cdot [V \cdot (0,5 - \mu + \zeta_0 - 2\mu\zeta_0)]^{-1} \quad (2.87)$$

Согласно обобщенной теореме взаимности работ [134] для схемы, представленной на рисунке 2.6 можно записать

$$p \cdot \Delta H = P \cdot \Delta V, \quad (2.88)$$

где  $p$  – сила, приводящая к уменьшению объема;

$\Delta H$  – изменение расстояния в уплотняемом продукте под действием давления  $P$ .

При этом, изменение расстояния под действием давления можно определить через начальную и конечную пористость бинарной композиции  $\beta_n$  и  $\beta_k$  [136]:

$$\Delta H = \Delta h \cdot n = H_0 \left( \frac{\beta_n - \beta_k}{1 + \beta_n} \right), \quad (2.89)$$

где  $\beta_n$  и  $\beta_k$  – начальное и конечное значение коэффициента пористости СМКК.  $n$  – число уплотненных порций кормового продукта, равное  $L_e/S_e$ , где  $L_e$  – длина винта,  $S_e$  – шаг витков винта.

Соответственно, изменение объема определим как

$$\Delta V = P \cdot H_0 (1 - 2\mu) \cdot E^{-1} = P \cdot \Delta h \cdot L_e (1 - 2\mu) \cdot (E \cdot S_e)^{-1} \quad (2.90)$$

Решение уравнения (2.88), с учетом (2.89) и (2.90) относительно  $P$ , дает

$$P = E \cdot \left( \frac{\beta_h - \beta_k}{1 + \beta_h} \right) (1 - 2\mu) \quad (2.91)$$

Приравнивая правые части выражений (2.87) и (2.91) и решая равенство относительно параметра  $V$ , имеем

$$V = \Delta V \cdot \left\{ \left( \frac{\beta_h - \beta_k}{1 + \beta_h} \right) \cdot (1 - 2\mu)^2 \cdot (0,5 + \zeta_0) \right\}^{-1} \quad (2.92)$$

Для компрессионно-выравнивающей камеры цилиндрической формы имеем, что

$$V = 0,785 \cdot \varDelta_{KVK}^2 \cdot l_{KVK}, \quad (2.93)$$

где  $\varDelta_{KVK}$  – диаметральный размер компрессионно-выравнивающей камеры, м;  
 $l_{KVK}$  – продольный размер КВК, м.

Совместное решение уравнений (2.92) и (2.93), относительно параметра  $\varDelta_{KVK}$ , дает следующую аналитическую зависимость

$$\varDelta_{KVK} = \left\{ 1,27 \cdot \Delta V \cdot \left[ l_{KVK} \cdot \left( \frac{\beta_h - \beta_k}{1 + \beta_h} \right) \cdot (1 - 2\mu)^2 \cdot (0,5 + \zeta_0) \right]^{-1} \right\}^{0,5} \quad (2.94)$$

Плотность кормового продукта в компрессионно-выравнивающей камере определили согласно зависимости

$$\rho_k = \rho_0 + kP, \quad (2.95)$$

где  $k$  – эмпирический коэффициент, имеющий размерность  $\text{с}^2/\text{м}^2$ ;

$P$  – давление на продукт, Па.

С учетом выражения (2.87) можно записать, что

$$\rho_{KVK} = \rho_0 + \Delta V \cdot E \cdot k [V \cdot (0,5 - \mu + \zeta_0 - 2\mu\zeta_0)]^{-1} \quad (2.96)$$

Для обоснования длины КВК –  $l_{KVK}$ , представим объем СМКК, с наличием пор, как

$$V_h = 0,785 \varDelta_{KVK}^2 \cdot l_{KVK} (1 + \beta_h)^{-1} \quad (2.97)$$

и после уплотнения, с каким-то конечным количеством воздушных пор

$$V_k = 0,785 \varDelta_{KVK}^2 \cdot l_y (1 + \beta_k) \quad (2.98)$$

Длина уплотненной части СМКК определится как

$$l_y = l_{KBK} (1 + \beta_h) (1 + \beta_k)^{-1}, \quad (2.99)$$

а величина  $\Delta l_k$ , как

$$\Delta l_k = l_{KBK} (\beta_h - \beta_k) (1 + \beta_k)^{-1} \quad (2.100)$$

В уравнении (2.100) разность  $\beta_h - \beta_k$  примем равной

$$\Delta \beta = C_1 \cdot P, \quad (2.101)$$

где  $C_1$  – коэффициент пропорциональности, с размерностью  $\text{м}^2/\text{Н}$

и, тогда

$$\Delta l_k = l_{KBK} (C_1 \cdot P) (1 + \beta_k)^{-1} \quad (2.102)$$

Примем, что  $C_1 / (1 + \beta_k) = C_2$  и получим, что

$$l_{KBK} = \Delta l_k \cdot C_2 \cdot P, \quad (2.103)$$

где  $P$  определяется по формуле (2.91).

Для объемной подачи –  $Q_V$ , характеризующей функционирование КВК имеем, что

$$Q_V = 0,0981 \cdot D_{KBK}^3 \cdot \Pi_{HC} \cdot B_\Pi^{-1}, \quad (2.104)$$

где  $\Pi_{HC}$  – предельное напряжение сдвига, Па;

$B_\Pi$  – вязкость СМКК, Па·с.

Мощность, потребная на функционирование ДУУ и КВК определится как

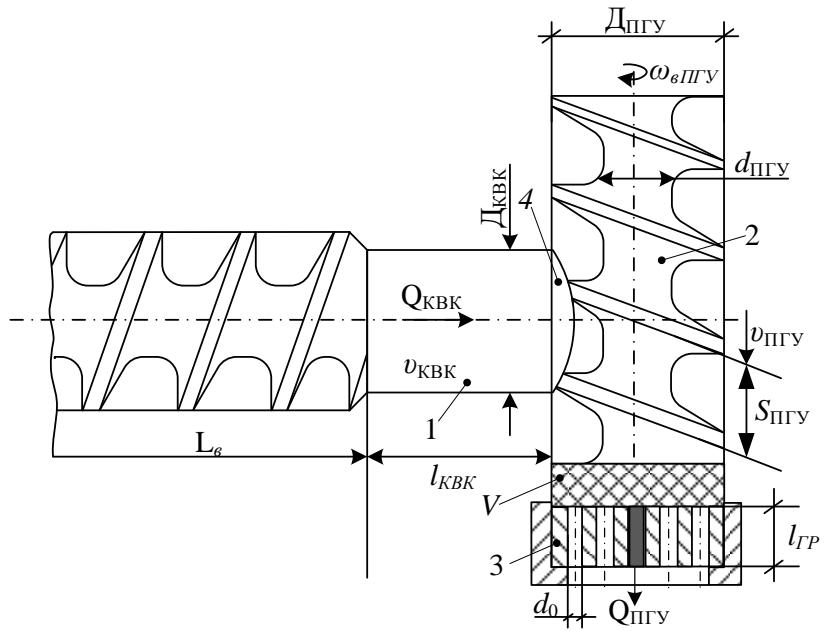
$$N_{DUU} = P \cdot Q_V, \quad (2.105)$$

или в развернутом виде

$$N_{DUU} = 0,0981 D_{KBK}^3 \cdot E (\beta_h - \beta_k) (1 + \beta_h)^{-1} \cdot (1 - 2\mu) \cdot \Pi_{HC} \cdot B_\Pi^{-1} \quad (2.106)$$

## 2.5 Обоснование параметров рабочего процесса прессующе-гранулирующего узла в составе агрегата

Согласно рабочему процессу предложенного смесителя-гранулятора, СМКК из компрессионно-выравнивающей камеры, с плотностью  $\rho_{KBK}$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$  и усредненным значением влаги –  $W_{KBK}$ , % поступает в горловину ПГУ (рисунок 2.8).



1 – компрессионно-выравнивающая камера ДУУ;

2 – винт ПГУ; 3 – гранулирующая головка; 4 – горловина ПГУ

Рисунок 2.8 – Схема к определению конструктивно-технологических параметров ПГУ с цилиндрической формующей матрицей

Для массовой подачи ПГУ имеем, что

$$Q_{MПГУ} = 0,125 \left( \frac{D_e^2 - d_e^2}{S_e} \cdot \omega_e \right) \cdot S_{eПГУ} \cdot \rho_{KVK} \cdot \omega_{eПГУ} \cdot \varphi, \quad (2.107)$$

где  $\varphi$  – коэффициент заполнения винта, равный единице, а  $\rho_{KVK}$  определяется по формуле (2.96).

Из условия поточности имеем:

$$D_{ПГУ} = \sqrt{\left( \frac{\left( D_e^2 - d_e^2 \right) \cdot S_e \cdot \omega_e}{S_{ПГУ} \cdot \omega_{ПГУ}} \right)} \quad (2.108)$$

Для объемной производительности ПГУ имеем, что

$$Q_{VПГУ} = 0,0981 d_0^3 \cdot k_0 \cdot \Pi_{HC} \cdot B_{\Pi}^{-1} = [Q_V], \quad (2.109)$$

где  $d_0$  – диаметральный размер отверстия в гранулирующей головке ПГУ, м;

$k_0$  – количество отверстий в матричной головке ПГУ;

$[Q_V]$  – нормируемая производительность ПГУ, кг/с.

Согласно условию (2.109) можно определить количество отверстий требуемого диаметра в матрице:

$$k_0 = [Q_V] \cdot B_{\Pi} / 0,0981 d_0^3 \cdot \Pi_{HC} \quad (2.110)$$

Мощность, потребная для привода ПГУ с цилиндрической матрицей равна

$$N_{ПГУ} = 0,0981d_0^3 \cdot k_0 \cdot \Pi_{HC} \cdot B_{\Pi}^{-1} \cdot E \cdot (\beta_{\mu} - \beta_{\kappa}) \cdot (1 + \beta_{\mu}) \cdot (1 - 2\mu) \quad (2.111)$$

Параметры ПГУ с конической матрицей определили в соответствии с рисунком 2.9 [15].

Производительность  $Q_B$  винтового пресс-гранулятора зависит от объема массы, находящейся в пространстве между лопастями 2 ротора –  $\Delta V$  и поступающей в единицу времени в виде готовых гранул из отверстий конической матрицы 10 (рисунок 2.9).

$$Q_B \leq Q_{YT} = 0,159\Delta V \cdot \rho \cdot \omega, \quad (2.112)$$

где  $\rho$  – плотность продукта,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\omega$  – угловая скорость лопастного ротора,  $\text{с}^{-1}$ .

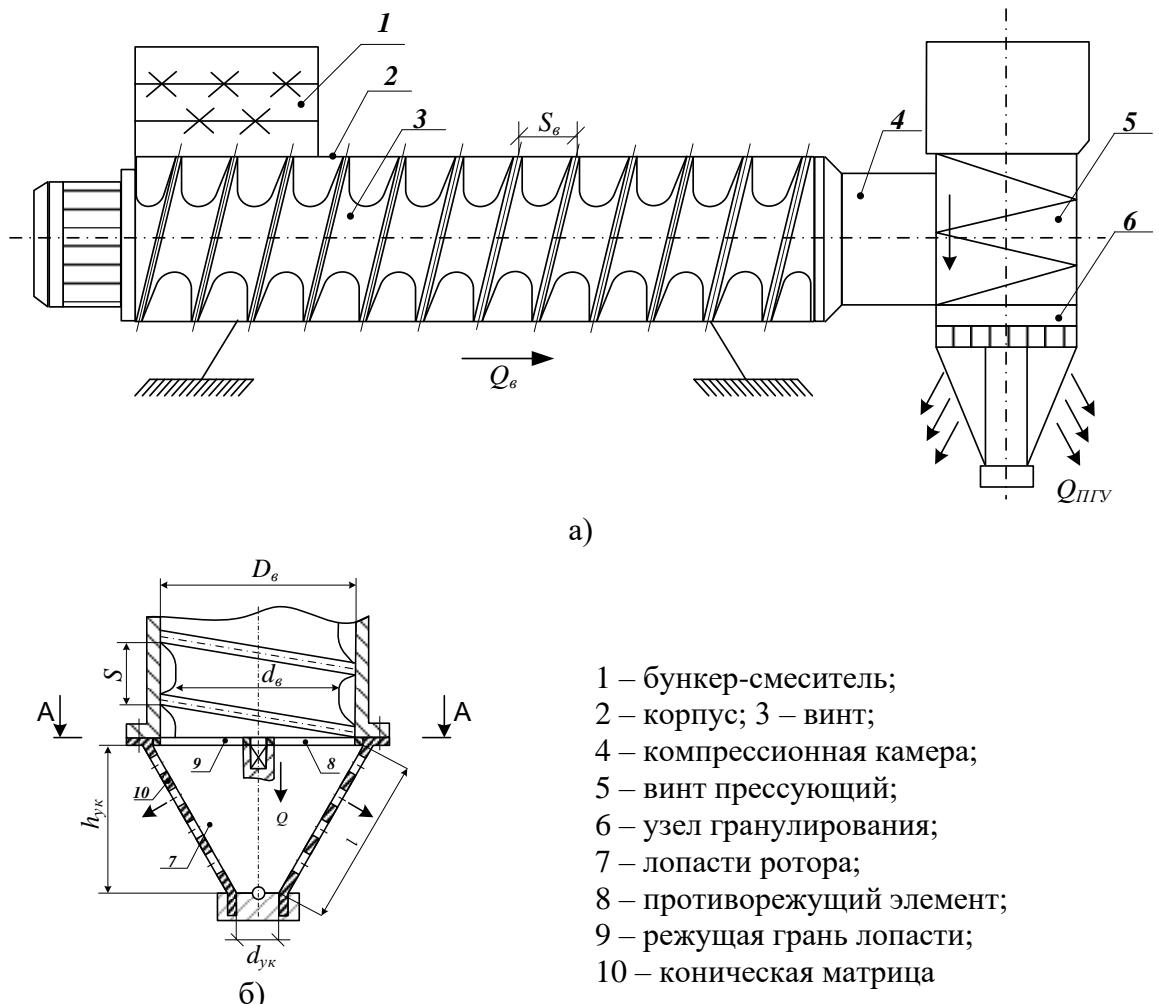


Рисунок 2.9 – Общий вид винтового пресс-гранулятора – а)

и узла гранулирования – б)

Объем массы  $\Delta V$  определим как разность между объемом усеченного конуса –  $V_{yk}$ , в виде которого выполнена гранулирующая матрица 1, и объемом –  $V_{lp}$ , занимаемым лопастным ротором 2.

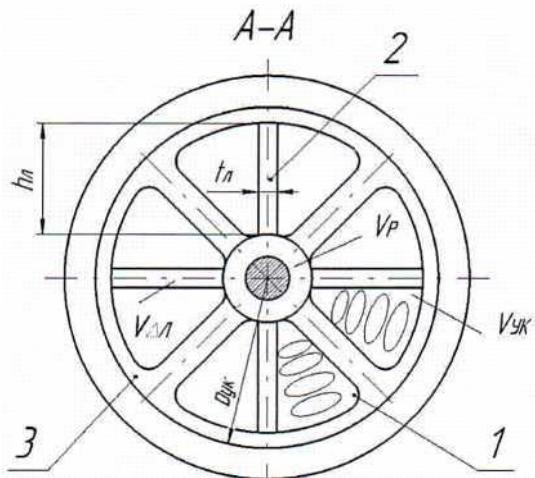
$$\Delta V = V_{yk} - V_{lp} \quad (2.113)$$

При этом объем  $V_{lp}$ , представим как

$$V_{lp} = 4\Delta V_{\wedge} + V_p, \quad (2.114)$$

где  $\Delta V_{\wedge}$  – объем пластины с основанием в виде треугольника (рисунок 2.9 б);

$V_p$  – объем условного цилиндра (рисунок 2.9 б), м<sup>3</sup>.



1 – коническая матрица; 2 – лопастной ротор; 3 – противорежущий элемент с окнами

Рисунок 2.10 – Схема к расчету производительности винтового

пресс-гранулятора

Тогда получаем, что

$$V_{yk} = 0,262 \cdot h_{yk} \left( d_{yk}^2 + d_{yk} \cdot D_{yk} + D_{yk}^2 \right), \quad (2.115)$$

где  $d_{yk}, D_{yk}$  – диаметры оснований усеченного конуса, соответственно, малого и большого (рисунки 2.9 и 2.10), м;

$h_{yk}$  – высота усеченного конуса (рисунок 2.9б).

Для объема лопастного ротора имеем, что

$$V_{lp} = 4 \left( 0,5 \cdot h_{yk} \cdot h_l \cdot t_l \right) + 0,785 h_{yk} \cdot d_{yk}^2, \quad (2.116)$$

где  $h_l$  – высота лопасти, м;

$t_l$  – толщина лопасти, м;

или

$$V_{\text{лр}} = 2,285h_{y\kappa} \left( h_{\text{л}} \cdot t_{\text{л}} + d_{y\kappa}^2 \right), \quad (2.117)$$

Тогда для объема  $\Delta V$  имеем

$$\Delta V = 0,115h_{y\kappa} \left[ \left( d_{y\kappa}^2 + d_{y\kappa}D_{y\kappa} + D_{y\kappa}^2 \right) - \left( h_{\text{л}} \cdot t_{\text{л}} + d_{y\kappa}^2 \right) \right] \quad (2.118)$$

Согласно равенствам (2.112) и (2.118) получаем

$$Q_{B\Gamma} = 0,018h_{y\kappa} \cdot \rho \cdot \omega \left[ \left( d_{y\kappa}^2 + d_{y\kappa}D_{y\kappa} + D_{y\kappa}^2 \right) - \left( h_{\text{л}} \cdot t_{\text{л}} + d_{y\kappa}^2 \right) \right] \quad (2.119)$$

С учетом неразрывности потока, в соответствии с рисунком 2.9а, можно записать:

$$Q_y \leq Q_{\Pi} \leq Q_{\epsilon} \leq Q_{y\varphi}, \quad (2.120)$$

где  $Q_y$  – производительность устройства, кг/с;

$Q_{\Pi}$  – подача узла прессования, кг/с;

$Q_{\epsilon}$  – подача подающе-дозирующего узла, кг/с;

$Q_{y\varphi}$  – подача узла гранулирования, кг/с.

Из условия  $Q_{\Pi} \leq Q_{\epsilon}$  определим шаг  $S_{\epsilon}$  винта – 3 (рисунок 2.9б), решив предварительно составленное равенство относительно параметра  $S$ :

$$\begin{aligned} S_{\epsilon} &= \frac{0,018h_{y\kappa} \cdot \rho \cdot \omega \left[ \left( d_{y\kappa}^2 + d_{y\kappa}D_{y\kappa} + D_{y\kappa}^2 \right) - \left( h_{\text{л}} \cdot t_{\text{л}} + d_{y\kappa}^2 \right) \right]}{0,125\omega_{\epsilon} \cdot \rho_{\epsilon} \left( D_{\epsilon}^2 - d_{\epsilon}^2 \right)} = \\ &= \frac{0,144h_{y\kappa} \cdot k_y \left[ \left( d_{y\kappa}^2 + d_{y\kappa}D_{y\kappa} + D_{y\kappa}^2 \right) - \left( h_{\text{л}} \cdot t_{\text{л}} + d_{y\kappa}^2 \right) \right]}{D_{\epsilon}^2 - d_{\epsilon}^2}, \end{aligned} \quad (2.121)$$

где  $k_y$  – степень уплотнения продукта, ед.;

$D_{\epsilon}$ ,  $d_{\epsilon}$  – соответственно, диаметры винта и вала (рисунок 2.9а, б).

Из условия  $Q_{\text{в}} \leq Q_{y\varphi}$  определим необходимое количество гранулирующих отверстий –  $k_o$ , выполненных в теле конической матрицы:

$$k_o = \frac{0,125\omega_{\epsilon} \cdot \rho_{\epsilon} \left( D_{\epsilon}^2 - d_{\epsilon}^2 \right) \cdot S}{0,0981d_o^3 \cdot \dot{\gamma}} = \frac{1,27\omega_{\epsilon} \cdot \rho_{\epsilon} \left( D_{\epsilon}^2 - d_{\epsilon}^2 \right) \cdot S_{\epsilon}}{d_o^3 \cdot \dot{\gamma}}, \quad (2.122)$$

где  $d_o$  – диаметр отверстия в матрице, м;

$\dot{\gamma}$  – скорость сдвига ( $\text{с}^{-1}$ ), которая связана с предельным напряжением сдвига –  $\Pi_{HC}$ , Па и вязкостью  $B_{\Pi}$ , Па·с, как  $\dot{\gamma} = \Pi_{HC} / B_{\Pi}$  или  $\Pi_{HC} = B_{\Pi} \cdot \dot{\gamma}$ .

Для мощности  $N$  имеем:

$$N = P \cdot Q_{yz}, \quad (2.123)$$

где  $P$  – давление, создаваемое винтом, Па.

Данный параметр определяется по известной зависимости [123]

$$P = P_o \cdot e^{l_k \cdot k}, \quad (2.124)$$

где  $P_o$  – давление в конце винта, Па;

$l_k$  – длина канала, м;

$k$  – эмпирический коэффициент.

Для показателя энергетической эффективности предложенного устройства получаем:

$$\varTheta_N = \frac{0,0984 \cdot d_o^3 \cdot \dot{\gamma} \cdot k_o \cdot P_o \cdot e^{l_k \cdot k}}{Q_{yz}}, \quad (2.125)$$

где параметр  $Q_{yz}$  определяется по зависимости (2.119).

Общая мощность, потребная на привод агрегата, составит

$$N_{OM} = (N_{CYU} / \eta) + (N_{DUU} / \eta) + (N_{PTU} / \eta), \quad (2.126)$$

где составляющие определяются по формулам (2.53), (2.106) и (2.111).

## 2.6 Обоснование параметров обезвоживания гранул с помощью сушильного устройства камерного типа

Заключительным этапом в технологии приготовления высокобелковой гранулированной кормовой добавки на основе СМКК является сушка влажных гранул в сушильном устройстве камерного типа, согласно патенту РФ № 2607103 [107].

Производительность сушки по сухому продукту, определяется как

$$Q_c = \left( \frac{G}{t_c} \right) \cdot \left[ \frac{100 - W_h}{100} \right], \quad (2.127)$$

где  $G$  – количество высушиваемого гранулированного продукта;

$t_c$  – продолжительность сушки гранул;

$W_h$  – исходная влажность гранул.

Количество высушиваемого продукта в виде влажных гранул, размещенных на сетчатых лотках, определили как

$$G = d_{ep} \cdot a \cdot b \cdot k \cdot n_n \cdot \rho_k, \quad (2.128)$$

где  $d_{ep}$  – диаметр гранул на основе СМКК;

$a, b$  – соответственно ширина и длина лотка сушильной установки;

$k$  – коэффициент, учитывающий плотность укладки гранул в лотке;

$n_n$  – число лотков в сушильной установке;

$\rho_k$  – плотность гранул, определяется по выражению (2.96).

Параметр, связанный с продолжительностью сушки гранул, характеризующийся повышением их прочности в процессе обезвоживания, определили используя следующий подход.

Учитывая, что в процессе обезвоживания гранул их крошимость снижается, запишем следующее дифференциальное уравнение

$$\frac{d_{Kp}}{dt} = -\xi_1 \cdot Kp_i \text{ при } Kp_i > 0, \xi_1 > 0 \text{ и } t = t_c, \quad (2.129)$$

где  $\xi_1$  – коэффициент пропорциональности;

$t^c$  – продолжительность процесса сушки гранул.

Разделяя переменные и проведя интегрирование, получаем, что

$$\left. \begin{aligned} \frac{d_{Kp_i}}{dt} &= -\xi_1 \cdot t; \\ \text{и } \ln Kp_i &= -\xi_1 \cdot t + \ln C \end{aligned} \right\} \quad (2.130)$$

В конечном итоге, имеем

$$Kp_i = e^{-\xi_1 \cdot t} \quad (2.131)$$

При условии, что  $t = 0$ ,  $Kp_i = Kp_k$  и  $C = Kp_h$ , где  $Kp_i$ ,  $Kp_k$ ,  $Kp_h$  – соответственно текущее, конечное и начальное значения крошимости гранул, получаем

$$Kp_i = Kp_h \cdot e^{-\xi_1 \cdot t_c} \quad (2.132)$$

В то же время, исследованиями Доценко С.М. и других ученых [40, 59] установлено, что изменение влажности высушиваемых гранул в процессе сушки, подчиняется следующей зависимости:

$$W_i = W_h \cdot e^{-\xi_2 \cdot t_c}, \quad (2.133)$$

где  $W_i$  – текущее значение влажности гранул, %;

е – основание натурального логарифма;

$\xi_2$  – эмпирический коэффициент.

С учетом конечных допускаемых значений крошимости –  $[Kp_k]$  и влажности  $[W_k]$  гранул имеем

$$\left. \begin{aligned} t_c &= \frac{2,3}{\xi_1} \ln \left\{ \frac{Kp_h}{Kp_k} \right\}; \\ t_{c_1} &= \frac{2,3}{\xi_2} \ln \left\{ \frac{W_h}{W_k} \right\} \end{aligned} \right\}, \quad (2.134)$$

где  $[Kp_k]$  и  $[W_k]$  – допускаемые по зоотребованиям значения крошимости и влажности гранул.

Подставляя данные значения в формулу (2.127) с учетом (2.128) и (2.134) имеем, что

$$\begin{aligned} Q_c &= \frac{d_{ep} \cdot a \cdot b \cdot [\rho_k] \cdot k \cdot n \left[ (100 - W_h) / 100 \right] \cdot \xi_1}{2,3 \ln (Kp_h / [Kp_k])} = \\ &= \frac{0,43 \cdot d_{ep} \cdot a \cdot b \cdot k \cdot n \cdot [\rho_k] \cdot \left[ (100 - W_h) / 100 \right] \cdot \xi_1}{\ln (Kp_h / [Kp_k])} \end{aligned} \quad (2.135)$$

В уравнениях (2.134) взаимосвязь между параметрами определяется как

$$\xi_1 = \xi_2 \cdot \frac{\ln (Kp_h / [Kp_k])}{\ln (W_h / [W_k])} \quad (2.136)$$

При этом, интенсивность процесса сушки равна

$$\mathcal{G} = Kp_h \cdot \xi_1 \cdot e^{-\xi_1 t_c} \quad (2.137)$$

Общая потребная мощность на получение гранул –  $N_{OM}$  и их сушку –  $N_C$  определяется с учетом равенства (2.126)

$$N_{OKD} = N_{OM} + N_C \quad (2.138)$$

где  $N_C$  – мощность калорифера и нагревательных элементов, кВт.

### Выводы:

1. На основе разработанной классификации технологических операций получения соево-мясокостного гранулята обоснована совокупность функционально сопряженных взаимосвязанных технических средств, в виде структур-

но-функциональной схемы технической системы получения соево-мясокостного гранулята, по качеству отвечающего зоотехническим требованиям, включающая: измельчающе-гомогенизирующее устройство (ИГУ); смешивающе-усредняющий узел (СУУ); дозирующее-уплотняющий узел (ДУУ); прессующе-гранулирующий узел (ПГУ); сушильное устройство;

2. С учетом данного подхода разработана экономико-математическая модель оценки предложенной технической системы с соответствующими ограничениями по качеству ее работы на получении гранулята;

3. На основе положений теории случайных функций обоснованы параметры выходного потока, в виде фарша на основе мясокостного сырья, с учетом влажности его анатомо-морфологических составных частей, проходящих через решетчато-ножевой аппарат ИГУ.

Получена аналитическая зависимость, характеризующая оценку выходного потока через его корреляционную функцию колебания влажности мясокостного сырья с установлением показателя дисперсии.

Установлены возможности сглаживания колебаний влажности входного потока мясокостного сырья, путем их усреднения в процессе трансформации с помощью решётчато-ножевого аппарата измельчителя, обладающего режуще-перетирающе-смешивающей способностью, которую оценили посредством соотношения значения дисперсии входного –  $\sigma_{W_{вх}}^2$  и выходного –  $\sigma_{W_{вых}}^2$  потоков по колебаниям влажности исходном разнородном по анатомо-морфологическим показателям и, конечном – измельчённо-гомогенизированном.

С учётом данного факта получена зависимость, характеризующая дисперсию колебаний влажности –  $\sigma_{W_{вых}}^2$  в входном потоке, от диаметра отверстий в последней решётке, предельного напряжения –  $P_{HC}$  и вязкости –  $B_{II}$  фарша, а также объёмной пропускной способности ИГУ;

4. Для разработанного модуля, выполненного в виде трёхузловой системы, содержащей смешивающе-усредняющий, дозирующее-уплотняющий и прессующе-гранулирующие узлы, обоснованы соответствующие рабочие про-

цессы и параметры:

– для СУУ с позиций вероятностного, обоснован рабочий процесс, при котором влага от частиц влажного компонента, в виде гомогенизированного фарша из мясокостного сырья, путём единичного контактирования переходит к условно сухим частицам соевой муки, в результате чего влага в композиции усредняется во всём её объеме. На основе данного подхода получена зависимость, характеризующая продолжительность процесса смешивания, которая, позволила получить выражение для определения производительности СУУ;

– для ДУУ с позиции диффузионного явления обоснован процесс дополнительного перераспределения влаги в соево-мясокостной композиции под действием давления, создаваемого винтом в компрессионно-выравнивающей камере с находящимся в ней продуктом в объёмно-напряжённом состоянии.

На основе данного подхода установлены зависимости, характеризующие продолжительность усреднения влаги в ДУУ от реологических и диффузионных показателей, длины винта –  $L_v$ , диаметра –  $D_{KVK}$  и длины  $l_{KVK}$  компрессионно-выравнивающие камеры ДУУ, давления –  $P$ , плотности композиции –  $\rho_k$  в ней, а также пропускной способности  $Q_{ДУУ}$  и мощности –  $N_{ДУУ}$  ДУУ;

– для ПГУ обоснован рабочий процесс с применением цилиндрической и конической матриц.

С учётом характерных условий подачи трансформированной по показателям усреднённой влажности –  $W_y$  и плотности –  $\rho_k$  композиции обоснованы длина формирующего канала –  $l_k$  матрицы, количество отверстий –  $k_o$  в ней, а также пропускная способность  $Q_{ПГУ}$  и мощность  $N_{ПГУ}$  ПГУ.

5. На основе теоретического анализа рабочего процесса сушильного устройства для гранул, получены зависимости, характеризующие процесс обезвоживания гранул в устройстве камерного типа по его пропускной способности, мощности и интенсивности сушки –  $v_c$ .

6. Значение ряда параметров принятой на исследование технической системы неизвестны, в связи с чем их надлежит установить в ходе эксперимента.

## Глава 3 ПРОГРАММА, МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1 Программа и методы исследований

В соответствии с программой экспериментальных исследований предусматривалось решение следующих вопросов [15-24, 81-85, 100, 106, 107, 139-141]:

- установление объема работ и выбор методов по теме исследования;
- выделение факторов, влияющих на критерии оценки процессов на основе полученных аналитических зависимостей;
- изготовить экспериментальную установку, а также сменные узлы для проведения физического эксперимента и подобрать приборы с необходимым оборудованием;
- определить физико-механические и реологические характеристики СМКК с последующим изучением влияния факторов на критерии оптимизации процессов смешивания, гранулирования и сушки гранул;
- обработать экспериментальные данные с последующим обоснованием оптимальных значений параметров.

На начальном этапе необходимо установить исходные данные по массовой доле фракционных составляющих мясокостного сырья в виде голов, шей и кишечника цыплят-бройлеров и содержанию в них влаги.

На основании полученных данных, для отходовой композиции головы + шеи + кишечник определить дисперсию по влажности входного потока.

Затем, на выходе из измельчителя МКС, определить степень трансформации исходного сырья в готовый гомогенизированный фарш в зависимости от числа отверстий решетки, которое зависит от диаметра отверстий в ней.

На втором этапе исследований необходимо было установить влияние таких факторов как:

- длина частиц в полученном фарше на основе мясокостного сырья –  $l_{\text{мк}}$ , неоднородность его гранулометрического состава –  $v$ , % и массовой доли

необезжиренной соевой муки –  $M_d$ , % на технологическую и реологическую характеристики получаемой СМКК в виде водосвязывающей способности, %  $B_{CC} = F(l_{mk}; v; M_d) \rightarrow \text{opt}$  и предельного напряжения сдвига, Па  $\Pi_{HC} = f(l_{mk}; v; M_d) \rightarrow \text{opt}$ .

Экспериментальным путем также необходимо изучить следующие процессы:

- смешивания с усреднением влаги и получением соево-мясокостных гранул посредством установления зависимостей, характеризующихся функциональными уравнениями

$$\left. \begin{aligned} \rho_e &= F[\omega_c; \omega_e; l_k] \rightarrow \max; \\ N_{CYY} &= F[\omega_c; \omega_e; l_k] \rightarrow \min \end{aligned} \right\}, \quad (3.1)$$

где  $\rho_e$  и  $N_{CYY}$  – соответственно показатели плотности влажных гранул,  $\text{кг}^2/\text{м}^3$  и энергоемкость получения гранул (кВт · ч/кг);

$\omega_c, \omega_e$  – соответственно угловые скорости винтов СУУ и ПГУ,  $\text{с}^{-1}$ ;

$l_k$  – длина формующего канала, м.

- сушки, с одновременной термообработкой гранул, путем установления показателей их крошимости, %, энергоемкости, (кВт · ч/кг):

$$\left. \begin{aligned} K_p &= F[W_h; t_c^0; M_d] \rightarrow \min; \\ N_{\mathcal{E}C} &= F[W_h; t_c^0; M_d] \rightarrow \min \end{aligned} \right\}, \quad (3.2)$$

где  $W_h$  – параметр исходной влажности соево-мясокостных гранул, %;

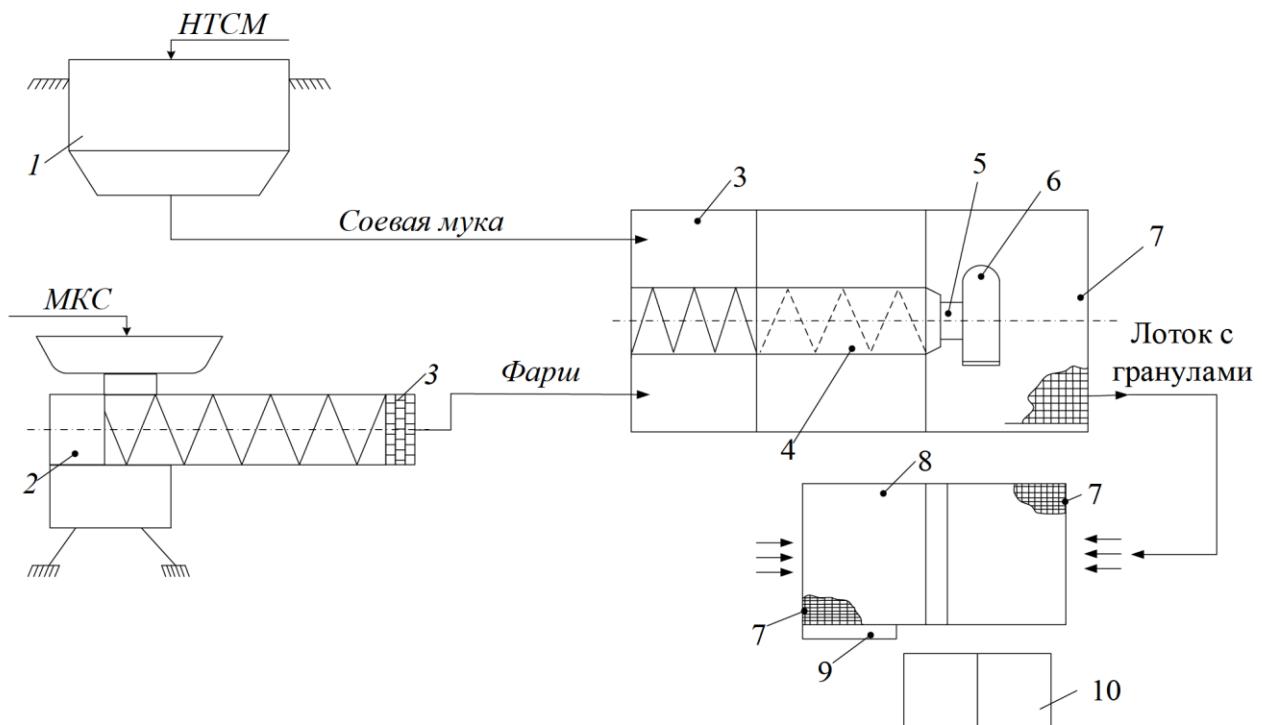
$t_c^0$  – параметр температурной обработки влажных гранул,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$M_d$  – параметр массовой доли необезжиренной термообработанной соевой муки в композиции, %.

*Экспериментальная установка и оборудование для проведения эксперимента.*

В рамках экспериментальных исследований использовано технологическое оборудование, которое было доработано с обеспечением возможности варьирования значениями факторов в необходимых пределах.

Оборудование установлено в определенной функциональной последовательности, согласно предложенной технологии и программе (рисунки 3.1 - 3.9).



- 1 – бункер-питатель необезжиренной термообработанной соевой муки (HTCM);  
 2 – дезинтегратор мясокостного субпродуктового сырья (МКС) (мясорубка ММ);  
 3 – бункер смесителя-гранулятора (СУУ); 4 – винт смесителя;  
 5 – компрессионно-выравнивающая камера (КВК); 6 – прессующий узел; 7 – лоток сетчатый;  
 8 – шкаф сушильный ЭСПИС-4 «Универсал»; 9 – блок управления; 10 – весы.

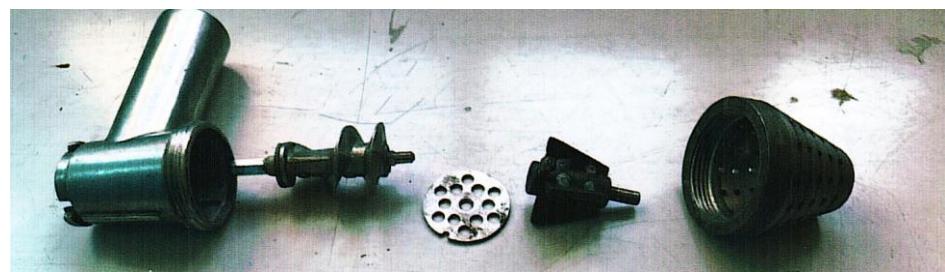
Рисунок 3.1 – Конструктивно-технологическая схема экспериментальной установки (вид сверху)

На рисунках 3.2 и 3.3 представлен общий вид используемого в эксперименте измельчителя-мясорубки серии ММ.

Общий вид узла измельчителя – ММ и измельчающего механизма представлен в приложениях П1 и П2.



a)



б)

Рисунок 3.2 – Общий вид измельчителя МКС – а)

и установки для получения гранул – б)

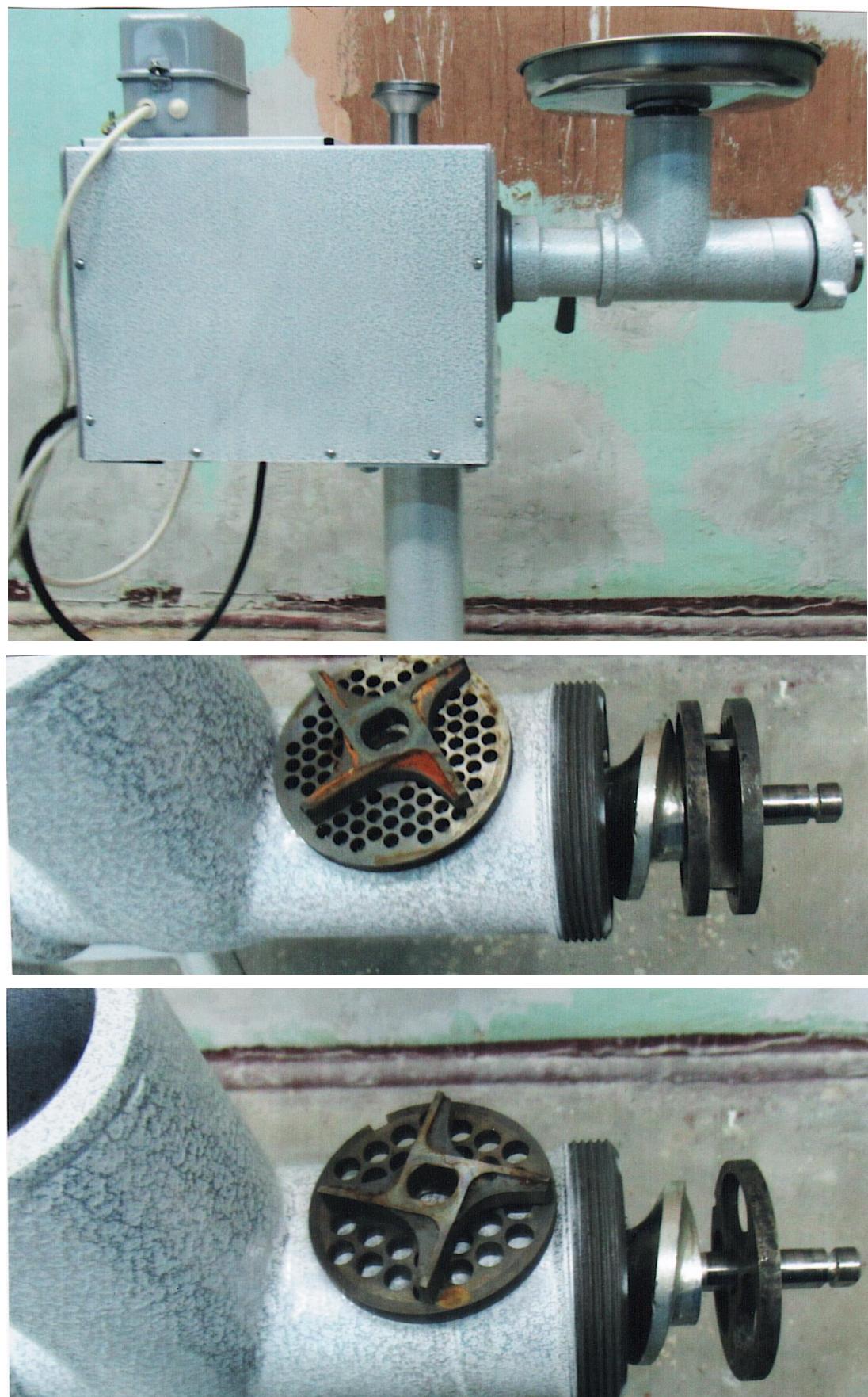


Рисунок 3.3 – Общий вид мясорубки серии ММ для получения мясокостного фарша



а)



б)

Рисунок 3.4 – Общий вид исходного субпродуктового мясокостного сырья



Рисунок 3.5 – Общий вид фаршево-супродуктовых проб

На рисунке 3.6 представлен общий вид гранулирующей установки с компрессионно-выравнивающей камерой и сушильного шкафа.



Рисунок 3.6 – Общий вид гранулирующей установки – а)  
и сушильного шкафа серии «Универсал»-ЭСПИС-4 – б)

На рисунке 3.7 (а, б) представлен общий вид установки с узлами в виде смесителя, КВК и гранулирующей головки (см. приложение, рисунок 3П).

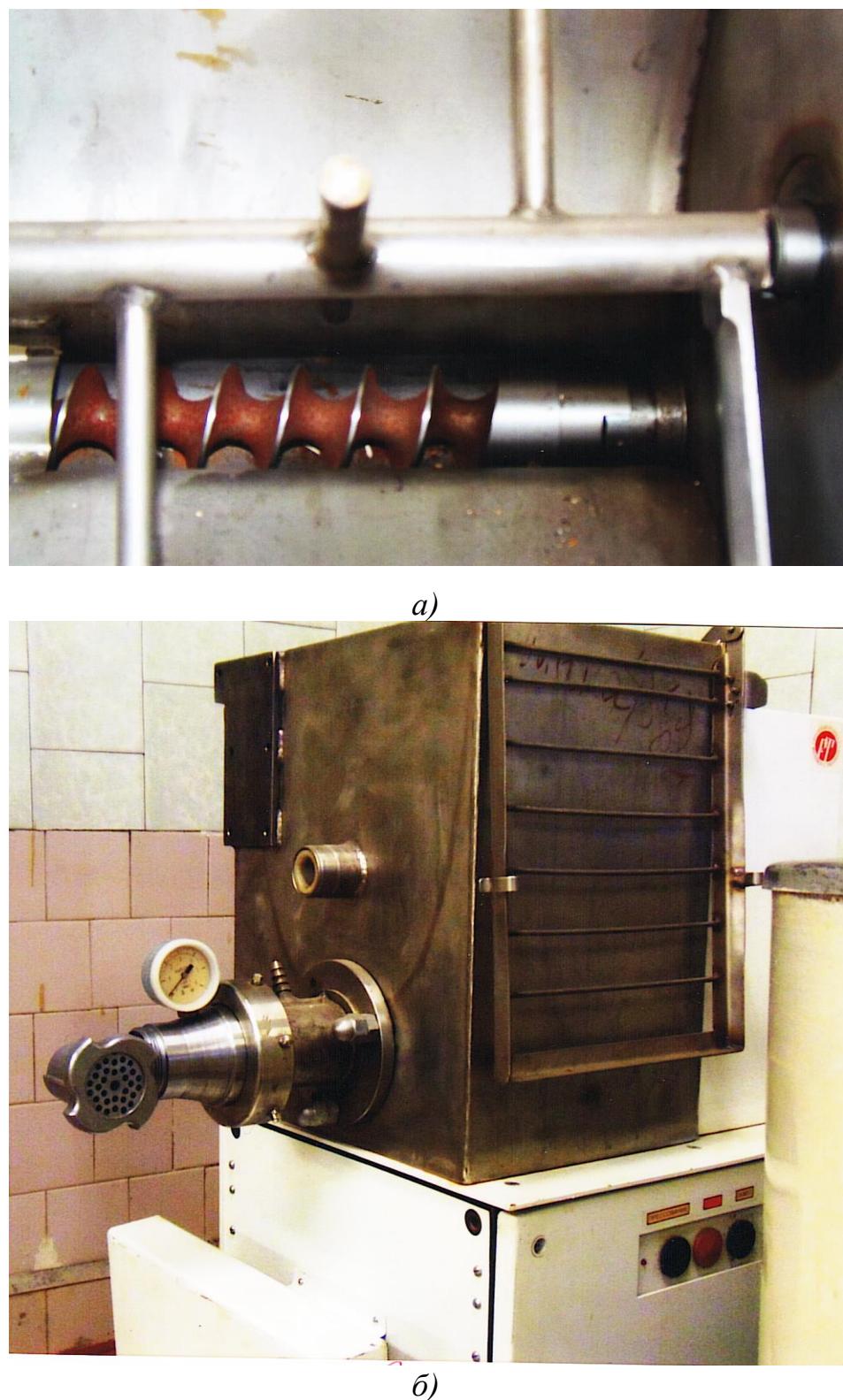


Рисунок 3.7 – Общий вид лабораторной установки по исследованию процессов смещивания и формования гранул:  
а) смеситель; б) гранулятор

На рисунке 3.8 представлен общий вид установки для определения давления в КВК.



*a)*



*б)*

Рисунок 3.8 – Общий вид экспериментальной установки – *а*)  
и компрессионно-выравнивающей камеры – *б*)

На рисунке 3.9 представлен общий вид лабораторного сушильного шкафа для определения влажности исходного сырья, готовых гранул, а также размерности распределения влаги в фарше и соево-мясокостных композициях.



Рисунок 3.9 – Общий вид лабораторного сушильного шкафа

В качестве исходного мясокостного сырья использовали головы, шеи и кишечник, а в качестве соевого – необезжиренную термообработанную соевую муку (приложения П4 и П5), которую получали на термоагрегате КПСМ-850.

Общий вид проб субпродуктового фарша и соево-мясокостной композиции приведен в приложении П6, а в приложении П7 – общий вид лабораторной сушилки и полученных готовых гранул.

Определение физико-механических показателей и реологических характеристик сырья и готового продукта по соответствующим методикам осуществляли в лабораториях ООО «Агроком», ВНИИ сои и ДальГАУ с повторностью опытов не менее трёх, обеспечивающих достоверность данных в интервале  $\Delta = \pm 3\sigma$  и доверительной вероятностью  $p = \pm 10\%$  [3, 4, 8, 20, 27, 32, 45, 58-60, 65, 73].

Массу пробы определяли по методике Краснова Д.А. с расчётом по формуле, учитывающей точность опытов [56].

Влажность определяли прямым способом, путём высушивания проб с применением лабораторного сушильного шкафа (рисунок 3.9) по классической методике, с проведением взвешивания образцов до и после сушки на весах ВЛТК-500. Относительную влажность определяли по формуле, приведённых в источнике [60].

Гранулометрический состав субпродуктового мясокостного сырья в виде голов, шей, кишечника, обрези и т.д. устанавливали путём определения размерно-массовых характеристик, при одновременном выделении массового содержания мышечной, костной, кишечной и жировой тканей, а также кожи.

Гранулометрический состав измельчённый фаршево-пастовой массы определяли по методике Б.В. Горбара и М.А. Трутнева, которые заключаются как в непосредственном (прямом) измерении частиц, так и промывкой фарша на наборе из трёх сит с размерами отверстий – 2, 3 и 5 мм [45].

Плотность исходного сырья, соевого-мясокостной композиции, а также полученных на ее основе влажных гранул определяли по методике, приведённой в источниках [60, 65].

Плотность высушенных гранула определяли пикнометрическим методом [65].

*Методика определения водосвязывающей способности ( $B_{CC}$ ) и предельного напряжения сдвига ( $\Pi_{HC}$ )*

$B_{CC}$  определялась на основании методики, приведенной в источнике [3] методом прессования, суть которого заключается в определении массовой доли связанной влаги, по размеру влажного пятна, образованного в результате выделенной влаги на поверхности фильтровальной бумаги.

$\Pi_{HC}$  определяли по методике, изложенной в источниках [3, 27], с помощью ротационного вискозиметра РВ-8 системы Волоровича М.П.

*Методика определения однородности смеси в композициях и равномерности распределения влаги в них*

Однородность по распределению исходных компонентов в получаемых соево-мясокостных композициях, а также влаги в них, определяли методом

разделяющего признака (по влажности) по методике И.А. Уланова, с последующим вычислением дисперсии –  $D$ , средний квадратического отклонения –  $\sigma$  и коэффициента вариации –  $v, \%$  [13, 55].

*Методика определения производительности и мощности используемых технических средств*

Производительность мясорубки на измельчении мясокостного сырья, смесителя, пресс-гранулятора и сушильного устройства определяли путём взятия соответствующих проб, при установившемся режиме их работы.

Расчёт проводился путём деления взятой массы пробы на время её формирования или трансформации в зависимости от вида процесса.

Частота вращения привода смесителя-гранулятора измерялась с помощью преобразователя частоты типа П4SJ 100-022 HF фирмы «HITACHI». Время замерялось с помощью секундометра СОПР-6Т-2-000 (рисунок 3.10); пробы взвешивались на весах марки ВЛТК-500.



Рисунок 3.10 – Общий вид частотного преобразователя SJ100-022 HF фирмы «HITACHI»

При определении мощности замеры проводили на холостом и рабочем ходу с помощью ваттметра, с ценой деления 10 Вт и с учётом КПД установки.

Энергоёмкость определяли с учётом степени измельчения для мясорубки по методике, приведённые в источнике [65], а для смесителя-гранулятора и сушилки – путём установления соотношения между значениями потребляемой мощности к пропускной способности машины [65].

*Методика определения крошимости высушенных соевого-мясокостных гранул*

Крошимость определяли на приборе, конструкция которого приведена в источнике [85] в соответствии с классической методикой [63, 75].

Показатель крошимости – Кр, % рассчитывали как разность:

$$K_p = 100 - \Pi_p, \%, \quad (3.3)$$

где  $\Pi_p$  – прочность гранул, %, определяемая по формуле

$$\Pi_p = 100 \cdot M_0 \cdot M_{ep}^{-1} \quad (3.4)$$

где  $M_0$  – масса гранул после проведения испытания, гр;

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

*Методика планирования многофакторного эксперимента по определению значений  $B_{CC}$ ,  $\Pi_{HC}$  в композициях, оптимальных конструктивно-режимных параметров смесителя-гранулятора, процесса сушики белково-минеральных гранул, а также обработки экспериментальных данных*

Многофакторный эксперимент проводился на основе предварительного изучения объектов исследования, глубокого анализа имеющихся и собранных данных по аналогичным процессам.

Лабораторная установка позволяла изменять выделенные факторы в необходимых для проведения пределах и установления на требуемых уровнях согласно методике многофакторного эксперимента [66].

Наряду с многофакторным проводился и однофакторный эксперимент.

Обработку полученного массива данных проводили методами математической статистики [10, 13, 25, 966, 77, 78, 119] на ПВМ с использованием про-

грамм «Excel», «KPS», «Statistika-7.0».

### 3.2 Результаты экспериментальных исследований по процессам получения качественных гранул и их анализ

*Определение физико-механических показателей исходного мясокостного, субпродуктового сырья и соевого компонента рецептуры*

В соответствии с поставленными в диссертационной работе целью и задачами исследований, а также представленной программой, проведены экспериментальные исследования.

Для этих целей использовалась специально разработанная пилотная установка (рисунки 3.1-3.3 и 3.6-3.9). При этом, в качестве исходного сырья использовалось мясокостное субпродуктовое сырье – отходы от убоя птицы – шеи, головы и кишечник цыплят-бройлеров.

В таблице 3.1 приведены данные по анатомо-морфологическим фракционным составляющим голов, шей, кишечника и т.д. цыплят-бройлеров и их влажности.

Таблица 3.1 – Данные по фракционным составляющим мясокостного отходового сырья птицы

Номер п/п	Составляющие субпродуктово-мясокостного сырья	Содержание, % (массовая доля)	Влажность, %
1	Мышечная ткань	15,0	68,0
2	Жировая ткань	5,0	20,0
3	Костная ткань	20,0	35,0
4	Мозговая ткань	15,0	20,0
5	Шкурка и кишечник	45,0	75,0
6	Измельченная фаршевая масса	100 %	$W_y = 54,95 \%$

Анализ данных показывает, что приведенная совокупность составляющих мясокостного сырья, в своём трансформированном состоянии в виде фаршевой субпродуктовой массы имеет влажность  $W_y \approx 55,00 \%$  (рис. 5а, приложение 5П).

В качестве готового компонента рациона использовалась необезжиренная соевая мука, полученная на термоагрегате КПСМ-850 – изготовитель ООО «Соевые технологии» п. Тамбовка (приложение П5).

На основе отходов убоя птицы изготавливали мясокостный фарш с помощью измельчителя (приложения П1 и П6). Данные по физико-механическим показателям приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристика исходных компонентов для получения соево-мясокостных композиций

Продукт	Влажность, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Средне-взвешенный размер, мм	Угол естественного откоса, град.
Гомогенизированный мясокостный фарш	55-58	1020-1060	1,05-1,2	70-75
Необезжиренная соевая мука из семян сои сорта «Соната»	6,0-10,0	360-380	2,8·10 <sup>-3</sup>	42-44
Соевая мука из вторичного соевого сырья	5,0-10,0	305-310	2,8·10 <sup>-3</sup>	40-42

Анализ данных, представленных в таблице 3.2 показывает, что показатели физико-механических свойств исходных компонентов изменяются в относительно широких пределах. При этом, такие физико-механические показатели фарша как плотность и угол естественного откоса зависят от температуры продукта и от размера частиц фарша.

Проведению экспериментальных исследований по обоснованию параметров совокупности технических средств, входящих в линию, таких как измельчитель МКС, смеситель-гранулятор для получения соево-мясокостных гранул, а также сушильная установка, предшествовал сбор и анализ информации, связанной с реологическими характеристиками продуктов убоя птицы, а также с возможностью получения на их основе гомогенизированного мясного фарша, с параметрами –  $\Pi_{HC}$ , Па и  $B_{Pi}$ , Па·с.

Данные по физико-механическим и реологическим показателям мясокостного фарша представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Данные по физико-механическим и реологическим показателям мясокостного субпродуктового фарша

Номер п/п	Наименование сырья (МКС)	Влажность субпродуктового фарша, %	Предельное напряжение сдвига, $\Pi_{HC}$ , Па	Эффективная вязкость, Па·с	Скорость сдвига, $\dot{\gamma}$ , с <sup>-1</sup>
1	Головы цыплят-бройлеров	58,00	178,00	3,01	59,13
2	Шеи цыплят-бройлеров	53,10	194,00	3,12	62,18
3	Кишечник	75,00	88,00	2,54	84,30
4	Смесь (Г+Ш+К) = (1:1:1)	54,95	186,00	3,06	60,70

На рисунке 3.11 приведены зависимости, характеризующие значения дисперсии по равномерности распределения влаги в субпродуктовом фарше из МКС, на выходе из измельчителя, от числа отверстий  $k_o$ , шт. в его последней решетке. Зависимость – 2 получена на основе данных, обработанных методом наименьших квадратов [19]. Как следует из анализа кривой, она носит экспоненциально-убывающий характер.

Согласно полученным данным, можно заключить, что четырехступенчатый решетчато-ножевой аппарат мясорубки имеет высокую режуще-перетирающе-смешивающую (РПС) способность – К, так как

$$K = D_{W_{\text{вых}}} / D_{W_{\text{вых}}} = 10,0 \cdot 10^3 / 1,6 = 6250$$

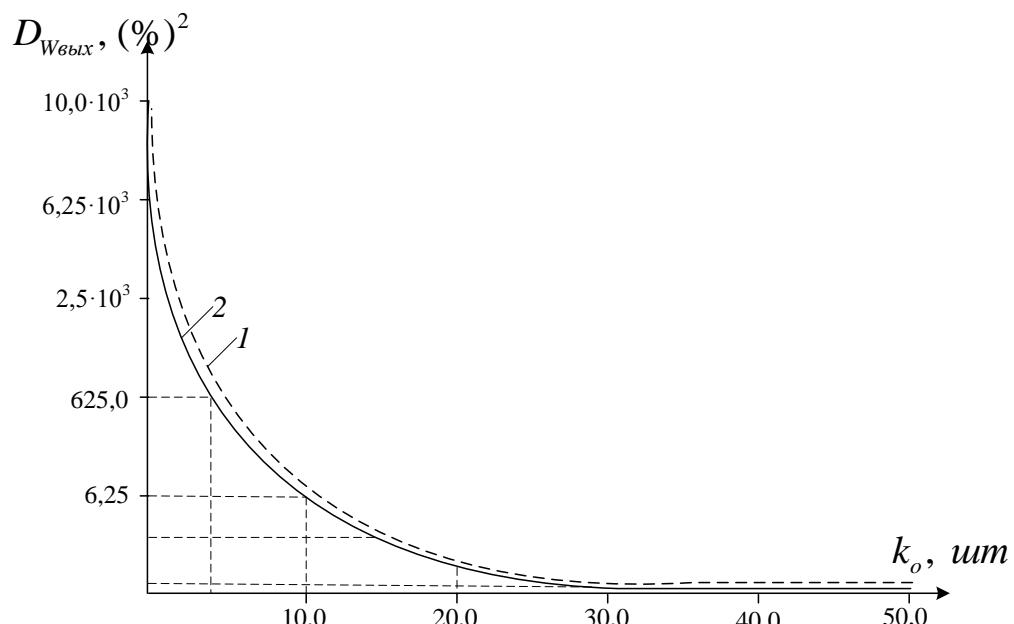


Рисунок 3.11 – Зависимости, характеризующие дисперсию  $D_{W_{\text{вых}}}^2, (\%)^2$

на выходе измельчителя МКС от числа отверстий решетки –  $k_o$ , шт.

1 – теоретическая по формуле (2.17); 2 – экспериментальная

После получения данной информации готовились образцы гомогенизированного фарша из мясокостного сырья в его смеси с соевой мукой в виде бинарных композиций.

Для полученных композиций определялись:

- технологическая характеристика, в виде показателя водосвязывающей способности СМКК –  $B_{\text{CC}}$ , % – ( $\gamma_1$ );

- реологическая характеристика в виде следующего показателя – предельного напряжения сдвига –  $\Pi_{HC}$ , Па – ( $\gamma_2$ ), а также продолжительность усреднения влаги в СУУ –  $t_y$ .

Знание закономерностей, по которым изменяются данные показатели, позволяет определить граничные значения факторов, влияющих на структурные показатели продуктов и степень их влияния на качественные показатели работы разрабатываемых машин и оборудования.

На основе априорного ранжирования факторов, влияющих на структурно-реологические характеристики получаемого продукта, выделены следующие:

$q_1$  ( $l_q$ , мм) – размер частиц измельченного мясокостного сырья в виде гомогенизированного фарша;

$q_2$  ( $v$ , %) – неоднородность гранулометрического состава мясокостного фарша (МКФ);

$q_3$  ( $M_d$ , %) – массовая доля соевого компонента (СК) в фаршевой бинарной композиции.

Уровни варьирования данными факторами в пределах их значений приведены в таблице 3.4.

Эксперимент проводился в виде трехфакторного по матрице, представленной в таблице 3.5, согласно  $\gamma_{1-2} = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \text{opt.}$

После реализации трехфакторного эксперимента по данной матрице и получения значений критериев оценки фаршевых композиций проведена их математическая обработка (таблицы 3.6 – 3.8). На основании проведенной обработки получены уравнения регрессии с соответствующими коэффициентами.

Таблица 3.4 – Факторы по изучению технологических и реологических характеристик бинарных соево-мясокостных фаршевых композиций

Значения уровней факторов	Факторы		
	Размер измельченного МКФ, $q_1/l_q$ , мм	Неоднородность МКФ, $q_2/v$ , %	Массовая доля СК, $q_3/M_d$ , %
Уровень (+)	0,80	15,0	70,0
Уровень (0)	0,50	10,0	50,0
Уровень (-)	0,20	5,0	30,0
Интервал	0,30	5,0	20,0

Таблица 3.5 – Стандартный план по изучению технологических и реологических характеристик фаршевых композиций

№, п/п	$q_1/l_q$ , мм	$q_2/v$ , %	$q_2/v$ , %	Критерии оценки фаршевых композиций	
				$\gamma_1$ (В <sub>СС</sub> , %)	$\gamma_2$ (П <sub>НС</sub> , Па)
1	-1	-1	+1	81,0	420,0
2	+1	-1	-1	77,0	420,0
3	-1	+1	-1	83,0	415,0
4	+1	+1	+1	78,0	360,0
5	-1	-1	-1	80,0	410,0
6	+1	-1	+1	81,0	340,0
7	-1	+1	+1	87,0	390,0
8	+1	+1	-1	84,0	405,0
9	-1,215	0	0	90,0	380,0
10	+1,215	0	0	87,0	325,0
11	0	-1,215	0	88,0	360,0
12	0	+1,215	0	90,0	320,0
13	0	0	-1,215	87,0	330,0
14	0	0	+1,215	93,0	325,0
15	0	0	0	96,0	300,0

Таблица 3.6 – К анализу зависимости  $\gamma_1 = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \max$  по изучению водосвязывающей способности фарша

		Шаг анализа				
		1	2	3	4	5
Коэффициенты модели	$H_0$	96,40556	96,40556	96,40556	96,40556	96,40556
	$H_1$	-1,33714	-1,33714	-1,33714	-1,33714	-
	$H_2$	1,40882	1,40882	1,40882	1,40882	1,40882
	$H_3$	0,93952	0,93952	0,93952	-	-
	$H_{12}$	-0,62500	-	-	-	-
	$H_{13}$	-0,87500	-0,87500	-	-	-
	$H_{23}$	-0,87500	-0,87500	-	-	-
	$H_{11}$	-5,44541	-5,44541	5,44541	-5,44541	5,44541
	$H_{22}$	-5,10670	-5,10670	5,10670	-5,10670	5,10670
	$H_{33}$	-4,42931	-4,42931	-4,42931	-4,42931	-4,42931
Стандартное отклонение – $\sigma$		32,302000	35,427000	47,677000	57,345000	76,927000
R-корреляция		0,961470	0,957660	0,942590	0,930570	0,905640
F-критерий		6,115900	7,376900	9,105100	9,691000	9,122900

Таблица 3.7 – К анализу зависимости  $\gamma_1 = f(q_1; q_2; q_3)$  по изучению предельного напряжения сдвига соево-мясного фарша

		Шаг анализа				
		1	2	3	4	5
Коэффициенты модели	H <sub>0</sub>	292,46664	292,46664	292,46664	292,46664	292,46664
	H <sub>1</sub>	-16,14479	-16,14479	16,14479	-16,14479	16,14479
	H <sub>2</sub>	-6,26344	-6,26344	6,26344	-	-
	H <sub>3</sub>	-13,33720	-13,33720	13,33720	-13,33720	-
	H <sub>12</sub>	3,75000	3,75000	-	-	-
	H <sub>13</sub>	-13,75000	-13,75000	13,75000	-13,75000	13,75000
	H <sub>23</sub>	0,00000	-	-	-	-
	H <sub>11</sub>	42,34127	42,34127	42,34127	42,34127	42,34127
	H <sub>22</sub>	33,87370	33,87370	33,87370	33,87370	33,87370
	H <sub>33</sub>	25,40612	25,40612	25,40612	25,40612	25,40612
Стандартное отклонение - $\sigma$		181,7400	181,7400	192,9900	235,9500	430,7800
R - корреляция		0,961930	0,961930	0,959530	0,950270	0,907170
F - критерий		6,194300	8,259000	10,158000	10,642000	6,972300

Таблица 3.8 – Результаты по анализу зависимостей  $\gamma_{1-3} = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \text{opt}$

Критерий	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>13</sub>	H <sub>11</sub>	H <sub>22</sub>	H <sub>33</sub>	Заключение об адекватности	
									F <sub>R</sub>	F <sub>T</sub>
$\gamma_1$	96,406	-1,337	1,409	-	-	-5,445	-5,107	-4,429	9,691	3,580
$\gamma_2$	292,467	-16,145	-	-13,337	-13,750	42,341	33,874	25,406	10,642	40150

При этом, установлено что стандартное отклонение –  $\sigma$ ; коэффициент корреляции R (таблицы 3.5 – 3.7) и критерий Фишера F (таблица 3.7) соответственно составляют:

- для зависимости  $\gamma_1 = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \text{opt}$   $\sigma = 57,345$ ;  $k = 0,930$   $F_R > F_T = 691 > 3,58$ ;
- для зависимости  $\gamma_2 = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \text{opt}$   $\sigma = 235,950$ ;  $k = 0,950$   $F_R > F_T = 10,642 > 4,15$ .

На основании проведенного анализа сделано заключение об адекватности полученных уравнений регрессии реальному процессу.

Данные уравнения в кодированной и раскодированной формах имеют следующий вид:

в кодированной форме:

– для влагосвязывающей способности:

$$\gamma_1 = 96,405 - 1,337q_1 + 1,408q_2 - 5,445q_1^2 - 5,106q_2^2 - 4,429q_3^2 \rightarrow \text{opt}; \quad (3.5)$$

– для предельного напряжения сдвига:

$$\begin{aligned} \gamma_2 = 292,466 - 16,144q_1 - 13,337q_3 - 13,75q_1 \cdot q_3 + 42,341q_1^2 + 33,873q_2^2 + \\ + 25,406q_3^2 \rightarrow \text{opt}; \end{aligned} \quad (3.6)$$

– в раскодированной форме:

$$\begin{aligned} B_{CC} = 32,580 + 56,047l_u + 4,367\nu + 1,107M_o - 60,505l_u^2 - \\ - 0,204\nu^2 - 0,011M_o^2 \rightarrow 100\%; \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} P_{HC} = 707,302 - 409,690l_r - 27,099\nu - 5,872M_o - 2,291l_uM_o + \\ + 470,460l_u^2 + 1,354\nu^2 + 0,0635M_o^2 \rightarrow \text{opt} \end{aligned} \quad (3.8)$$

На основании определенных расчетным путем областей экстремальных значений функций:

$$\gamma_1 = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow 100\%;$$

$$\gamma_2 = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \text{opt},$$

представленных в таблице 3.9, получены их графические зависимости в виде поверхностей откликов и сечений данных поверхностей (рисунок 3.8 – 3.13).

Таблица 3.9 – Области экстремальных значений для изучаемых зависимостей

$$\gamma_{1-2} = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow 100\% \text{ (opt)}$$

Критерий	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$\gamma_i$
$\gamma_1 \cdot \text{max (100 %)}$	<b>-0,12</b>	<b>0,14</b>	<b>0,00</b>	<b>96,585</b>
	-0,13	0,14	0,00	96,585
	-0,12	0,13	0,00	96,584
	-0,12	0,14	-0,01	96,584
	-0,12	0,14	0,01	96,584
	-0,13	0,13	0,00	96,584
	-0,13	0,14	-0,01	96,584
	-0,13	0,14	0,01	96,584
	-0,12	0,15	0,00	96,584
	-0,12	0,13	-0,01	96,584
$\gamma_2 \cdot \text{opt}$	<b>0,24</b>	<b>0,00</b>	<b>0,32</b>	<b>288,308</b>
	0,24	0,00	0,34	288,311
	0,26	0,00	0,34	288,318
	0,26	0,00	0,32	288,321
	0,24	-0,02	0,32	288,322
	0,24	0,02	0,32	288,322
	0,24	-0,02	0,34	288,325
	0,24	0,02	0,34	288,325
	0,24	0,00	0,30	288,326
	0,22	0,00	0,32	288,330

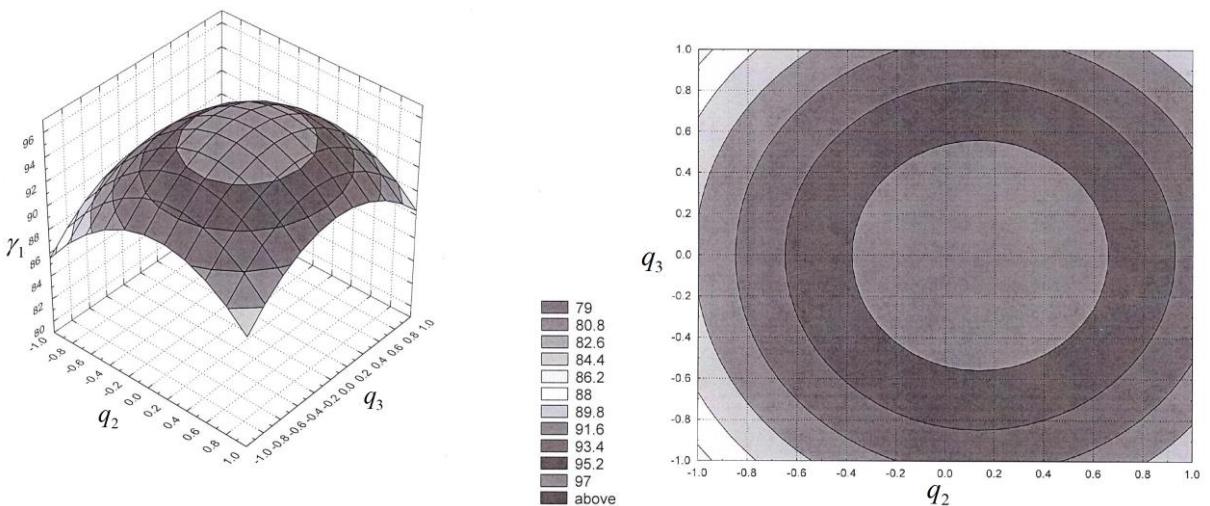


Рисунок 3.12 – Поверхность  $\gamma_1 = f(q_1 = -0,12; q_2; q_3) \rightarrow 100\%$

и ее сечения в проекции на плоскость

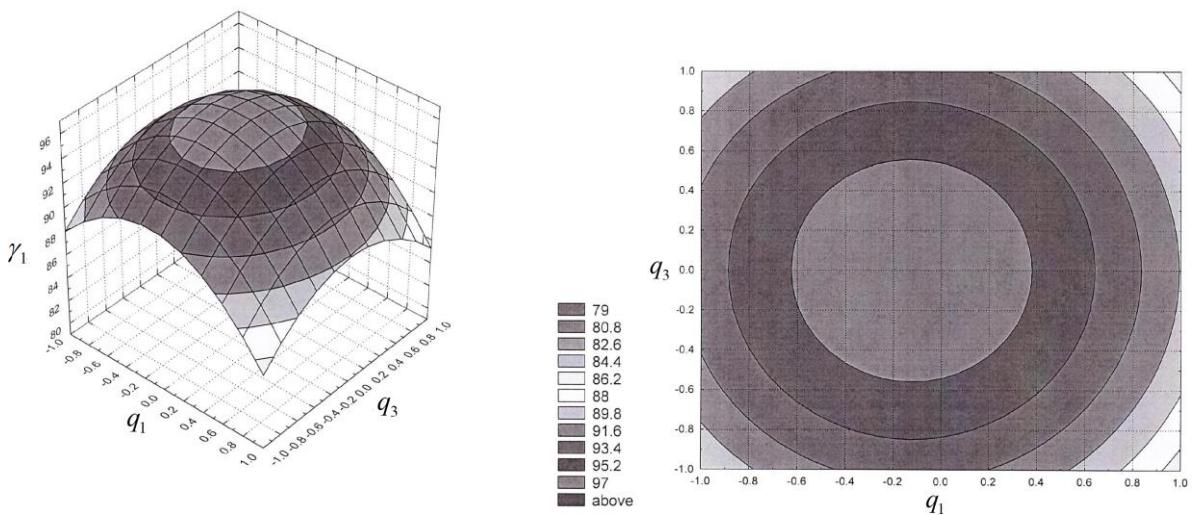


Рисунок 3.13 – Поверхность  $\gamma_1 = f(q_1; q_2 = 0,14; q_3) \rightarrow 100\%$

и ее сечения в проекции на плоскость

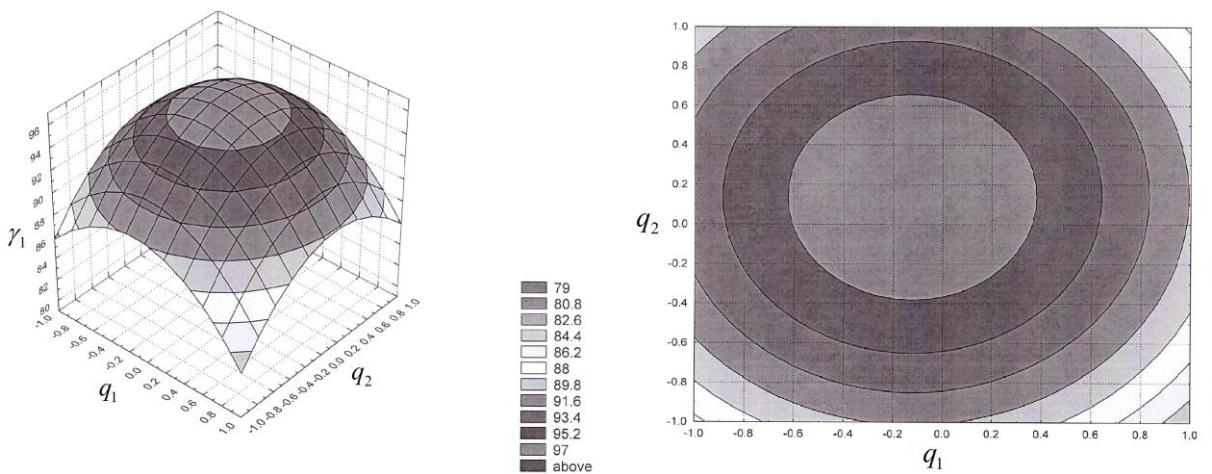


Рисунок 3.14 – Поверхность  $\gamma_1 = f(q_1; q_2; q_3 = 0,00) \rightarrow 100\%$

и ее сечения в проекции на плоскость

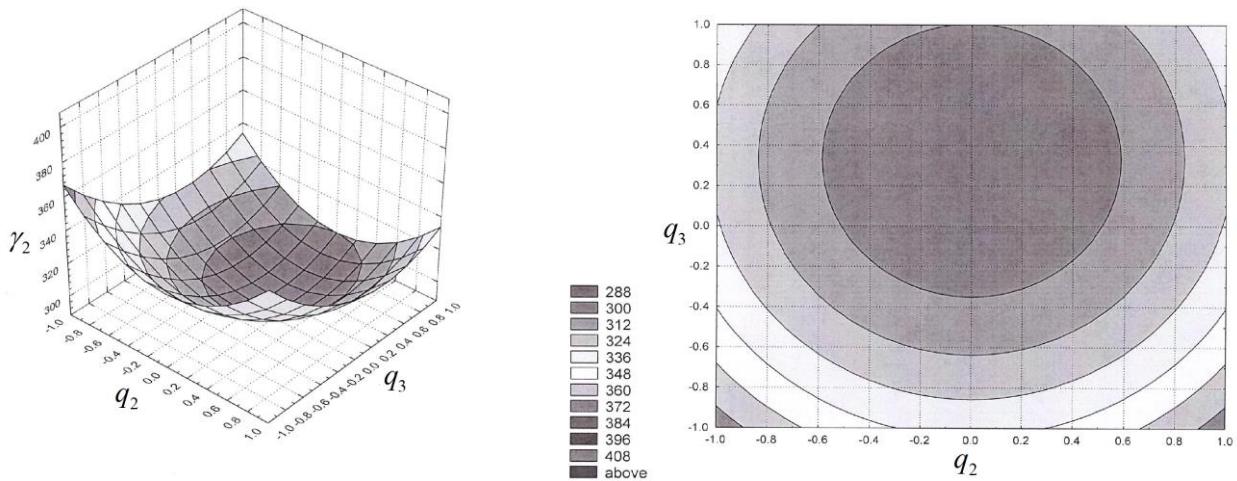


Рисунок 3.15 – Поверхность  $\gamma_2 = f(q_1 = 0,24; q_2; 4; q_3) \rightarrow \min$

и ее сечения в проекции на плоскость

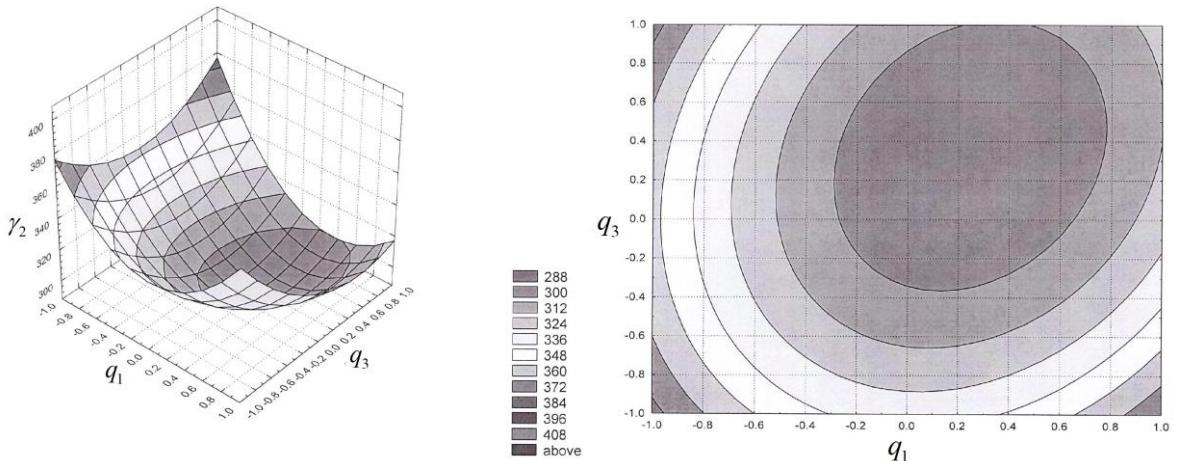


Рисунок 3.16 – Поверхность  $\gamma_2 = f(q_1; q_2 = 0,00; q_3) \rightarrow \min$

и ее сечения в проекции на плоскость

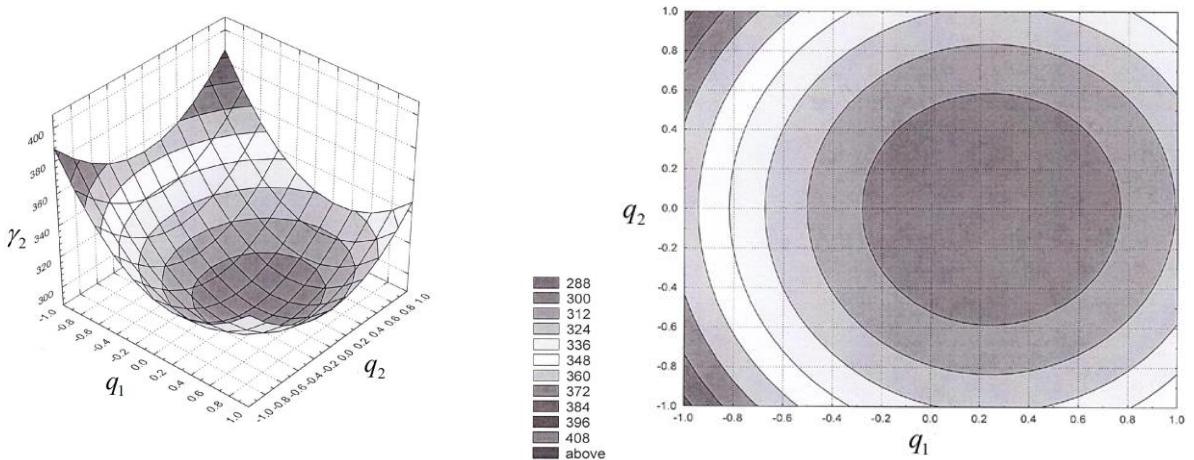


Рисунок 3.17 – Поверхность  $\gamma_2 = f(q_1; q_2; q_3 = 0,32) \rightarrow \min$

и ее сечения в проекции на плоскость

На основании комплексного анализа полученных зависимостей установлено, что рациональные значения влагосвязывающей способности на уровне  $B_{CC} = 96,58\%$  и предельного напряжения сдвига, равном  $\Pi_{HC} = 288,3$  Па, обеспечивается при средневзвешенной длине частиц  $l_c = 0,464-0,572$  мм, неоднородности гранулометрического их состава  $v = 10,0 - 10,7\%$ , массовой доле соевой муки в диапазоне следующих значений  $M_d = 50,0 - 56,4\%$  и продолжительности перемешивания в диапазоне 3 – 5 минут.

На третьем этапе экспериментальных исследований проведен выбор основных факторов, существенно влияющих на процесс получения влажных гранул с помощью смесителя-гранулятора, а также на его энергоемкость. С этой целью было также проведено априорное ранжирование факторов, на основании которого выбраны следующие:

$q_1 (\omega_c, \text{с}^{-1})$  – угловая скорость винта ДУУ;

$q_2 (\omega_r, \text{с}^{-1})$  – угловая скорость винта гранулятора ПГУ;

$q_3 (l_k, \text{мм})$  – длина канала формующей матрицы.

За критерии оптимизации по процессу получения влажных гранул приняты:

–  $\gamma_3 (\rho_k, \text{кг/м}^3)$  – плотность влажных гранул;

–  $\gamma_4 (N_e, \text{кВт}\cdot\text{ч/кг})$  – энергоемкость получения влажных гранул.

Значения факторов по изучаемому процессу приведены в таблице 3.10.

В таблице 3.11 приведена матрица трехфакторного эксперимента и его результаты.

После реализации данного трехуровневого плана эксперимента и получения значений критериев оптимизации в виде откликов  $\gamma_3$  и  $\gamma_4$  проведена их обработка, а также регрессионный анализ зависимостей

$$\gamma_3 = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \max;$$

$$\gamma_4 = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \min$$

согласно таблиц 3. 11 – 3.13.

Таблица 3.10 – Факторы по изучению процесса получения влажных гранул

Значения уровней факторов	Факторы процесса		
	Угловая скорость винта питателя $q_1/\omega_c, \text{с}^{-1}$	Угловая скорость винта гранулятора $q_2/\omega_r, \text{с}^{-1}$	Длина канала решетки $q_3/l_k, \text{мм}$
Уровень (+)	11,00	18,0	20,0
Уровень (-)	9,50	15,0	15,0
Уровень (0)	8,00	12,0	10,0
Интервал	1,50	3,0	5,0

Таблица 3.11 – Матрица планирования и результаты эксперимента по изучению процесса получения влажных гранул

№, п/п	$q_1/\omega_c, \text{с}^{-1}$	$q_2/\omega_r, \text{с}^{-1}$	$q_3/l_k, \text{мм}$	Критерии	
				$\gamma_3/\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	$\gamma_4/N_\text{Э}, \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$
1	-1	-1	+1	930,0	0,0370
2	+1	-1	-1	960,0	0,0470
3	-1	+1	-1	1000,0	0,0460
4	+1	+1	+1	900,0	0,0480
5	-1	-1	-1	950,0	0,0320
6	+1	-1	+1	960,0	0,0380
7	-1	+1	+1	1000,0	0,0420
8	+1	+1	-1	1010,0	0,0470
9	-1,215	0	0	1040,0	0,0340
10	+1,215	0	0	1030,0	0,0380
11	0	-1,215	0	1010,0	0,0310
12	0	+1,215	0	1020,0	0,0400
13	0	0	-1,215	1050,0	0,0350
14	0	0	+1,215	1000,0	0,0290
15	0	0	0	1060,0	0,0270

Таблица 3.12 – К анализу зависимости  $\gamma_3 = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \max$  по изучению процесса получения влажных гранул

Коэффициенты модели	Шаг анализа		
	1	2	3
$H_0$	1073,80237	1073,80237	1073,80237
$H_1$	-5,67452	-	-
$H_2$	11,15276	11,15276	-
$H_3$	-17,41619	-17,41619	17,41619
$H_{12}$	-16,25000	-16,25000	-16,25000
$H_{13}$	-11,25000	-11,25000	11,25000
$H_{23}$	-11,25000	-11,25000	-11,25000
$H_{11}$	-29,35291	-29,35291	-29,35291
$H_{22}$	-42,90094	-42,90094	-42,90094
$H_{33}$	-36,12692	-36,12692	-36,12692
Стандартное отклонение	2698,8000	3051,5000	4413,8000
R - корреляция	0,952960	0,946680	0,921810
F - критерий	4,942300	5,756100	4,948300

Таблица 3.13 – К анализу зависимости  $\gamma_4 = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \min$  по изучению процесса получения влажных гранул

		Шаг анализа				
		1	2	3	4	5
Коэффициенты модели	H <sub>0</sub>	0,027064	0,027064	0,027064	0,027064	0,027064
	H <sub>1</sub>	0,002544	0,002544	0,002544	0,002544	-
	H <sub>2</sub>	0,003646	0,003646	0,003646	0,003646	0,003646
	H <sub>3</sub>	-0,001305	-0,001305	0,001305	-	-
	H <sub>12</sub>	0,001125	0,001125	-	-	-
	H <sub>13</sub>	0,001125	0,001125	-	-	-
	H <sub>23</sub>	0,000125	-	-	-	-
	H <sub>11</sub>	0,006039	0,006039	0,006039	0,006039	0,006039
	H <sub>22</sub>	0,005700	0,005700	0,005700	0,005700	0,005700
	H <sub>33</sub>	0,003329	0,003329	0,003329	0,003329	0,003329
Стандартное от- клонение		0,00005388	0,00005401	0,00007426	0,00009290	0,00016377
R - корреляция		0,958240	0,958140	0,941970	0,926830	0,866870
F - критерий		5,614300	7,466700	8,998000	9,138700	6,046900

Таблица 3.14 – Результаты анализа зависимостей  $\gamma_{3-4} = f(q_1; q_2; q_3)$

Крите- рий	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>13</sub>	H <sub>23</sub>	H <sub>11</sub>	H <sub>22</sub>	H <sub>33</sub>	Заключение об адекватности	
											F <sub>R</sub>	F <sub>T</sub>
$\gamma_3$	1073,802	-	11,153	-17,416	-16,250	-11,250	-11,250	-29,353	-42,901	-36,127	5,7551	4,15
$\gamma_4$	0,0271	0,0025	0,0036	-	-	-	-	0,0060	0,0057	0,0033	9,1387	4,15

В результате обработки данных получены уравнения:

- в кодированной форме:

$$\gamma_3 = 1073,802 + 11,152q_2 - 17,416q_3 - 16,250q_1 \cdot q_2 - 11,250q_1 \cdot q_3 - 11,250q_2 \cdot q_3 - 29,352q_1^2 - 42,900q_2^2 - 36,126q_3^2 \rightarrow \max; \quad (3.9)$$

$$\gamma_4 = 0,027 + 0,002q_1 + 0,003q_2 + 0,006q_1^2 + 0,005q_2^2 + 0,003q_3^2 \rightarrow \min; \quad (3.10)$$

- в раскодированной форме

$$\rho = -2401,8 + 324,4\omega_c + 19,228\omega_e + 65,369l_k - 0,361\omega_c \cdot \omega_e - 1,500 \omega_c \cdot l_k - 0,075 \omega_e \cdot l_k - 13,046\omega_c^2 - 0,047\omega_e^2 - 1,445l_k^2 \rightarrow \max; \quad (3.11)$$

$$N_{\omega_e} = 0,407 - 0,049\omega_c - 0,001\omega_e - 0,004l_k + 0,002\omega_c^2 + + 0,0006\omega_e^2 + 0,001l_k^2 \rightarrow \min \quad (3.12)$$

Оптимальные значения факторов находятся в следующих пределах:

-  $\omega_c = 9,17 - 9,51 \text{ с}^{-1}$ ;

-  $\omega_e = 14,04 - 15,48 \text{ с}^{-1}$ ;

-  $l_k = 13,65 - 15,0 \text{ мм.}$

По данным значениям параметров определено, что  $\rho = 1077,045 \text{ кг/м}^3$  и  $N_{\text{Эср}} = 0,0262 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг.}$

Данные модели адекватны. Условие по неравенству критерия следующее:

$$F_R^3 > F_T^3 = 5,756 > 4,15 \text{ и } F_R^3 > F_T^3 = 5,756 > 4,15$$

при следующих значениях коэффициента корреляции  $R_3 = 0,946$  и  $R_4 = 0,926$ .

Для полученных уравнений определены зоны экстремальных значений (таблица 3.15). Для них построены графики  $\gamma_3 \rightarrow \max$  и  $\gamma_4 \rightarrow \min$  (рисунки 3.18 – 3.23).

Таблица 3.15 – Зоны экстремальных значений для функций  $\gamma_{3-4} = f(q_1; q_2; q_3 = 0,00) \rightarrow \max(\min)$

Критерий	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$\gamma_i$
$\gamma_3 \cdot \max$	<b>0,01</b>	<b>0,16</b>	<b>-0,27</b>	<b>1077,045</b>
	0,00	0,17	-0,27	1077,044
	0,01	0,17	-0,27	1077,043
	0,00	0,16	-0,27	1077,043
	0,01	0,16	-0,26	1077,043
	0,00	0,16	-0,26	1077,043
	0,00	0,17	-0,26	1077,042
	0,01	0,17	-0,26	1077,041
	0,02	0,16	-0,27	1077,40
	0,01	0,16	-0,28	1077,039
$\gamma_4 \cdot \min$	<b>-0,22</b>	<b>-0,32</b>	<b>0,00</b>	<b>0,026</b>
	-0,20	-0,32	0,00	0,026
	-0,22	-0,32	-0,02	0,026
	-0,22	-0,32	0,02	0,026
	-0,20	-0,32	-0,02	0,026
	-0,20	-0,32	0,02	0,026
	-0,22	-0,30	0,00	0,026
	-0,22	-0,34	0,00	0,026
	-0,20	-0,30	0,00	0,026
	-0,20	-0,34	0,00	0,026

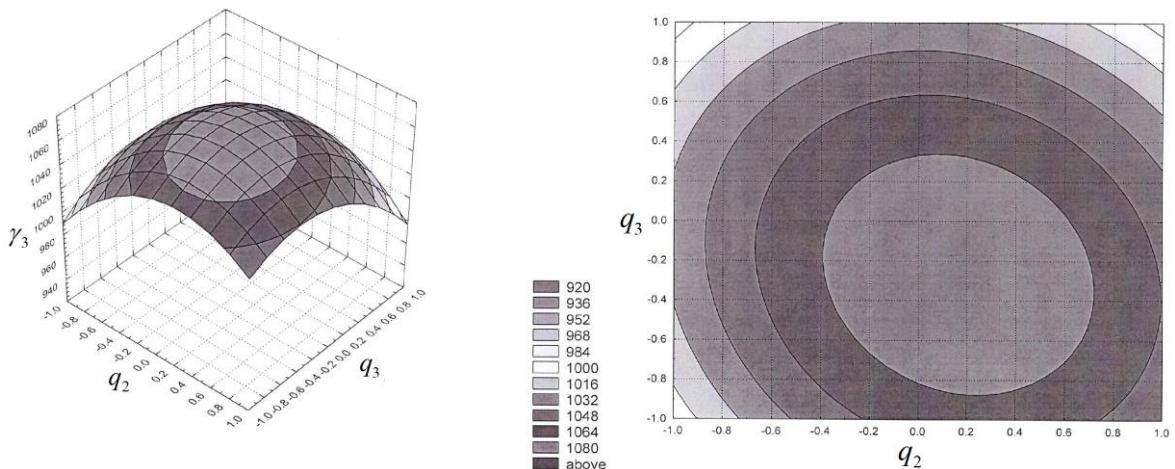


Рисунок 3.18 – Поверхность  $\gamma_3 = f(q_1 = 0,01; q_2; q_3) \rightarrow \max$

и ее сечения в проекции на плоскость

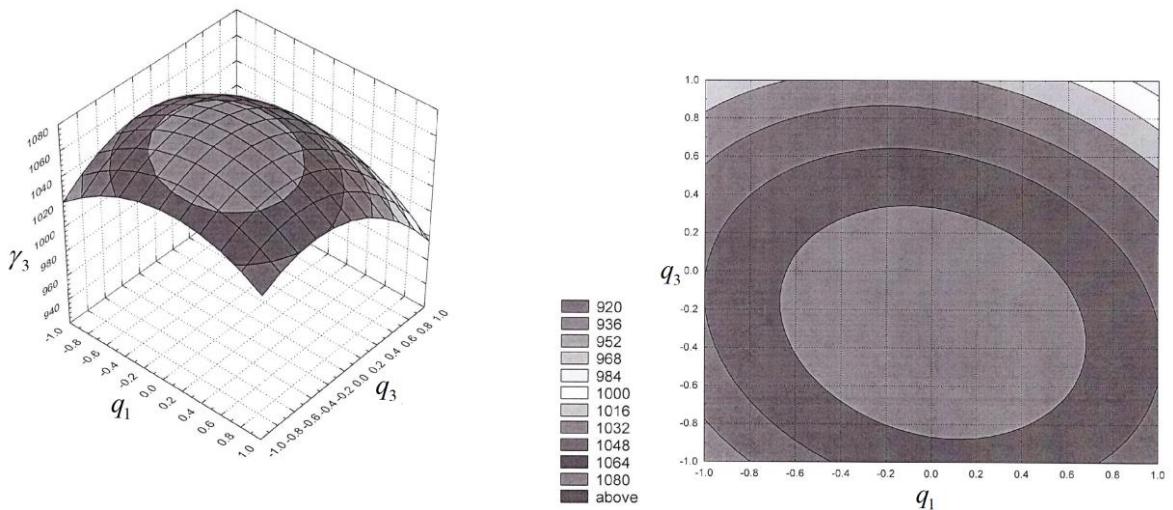


Рисунок 3.19 – Поверхность  $\gamma_3 = f(q_1; q_2 = 0,16; q_3) \rightarrow \max$

и ее сечения в проекции на плоскость

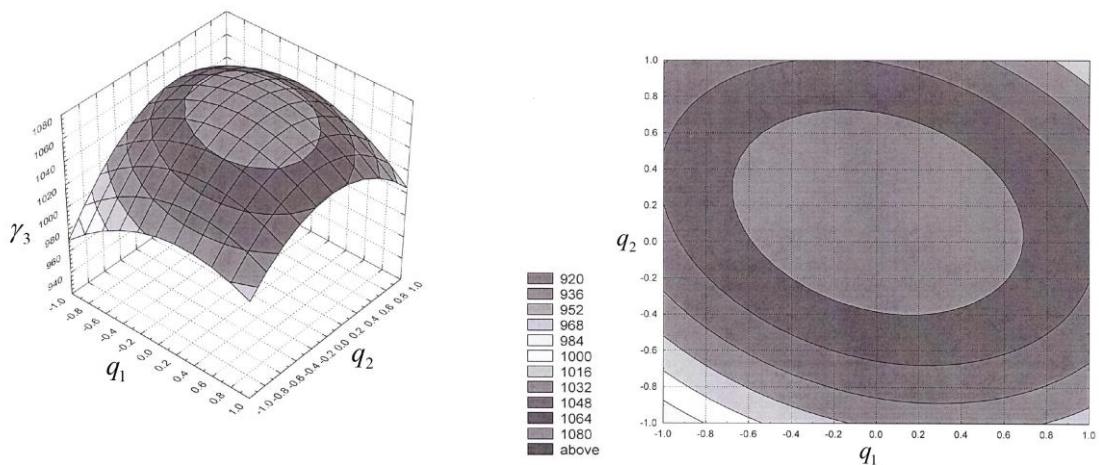


Рисунок 3.20 – Поверхность  $\gamma_3 = f(q_1; q_2; q_3 = -0,27) \rightarrow \max$

и ее сечения в проекции на плоскость

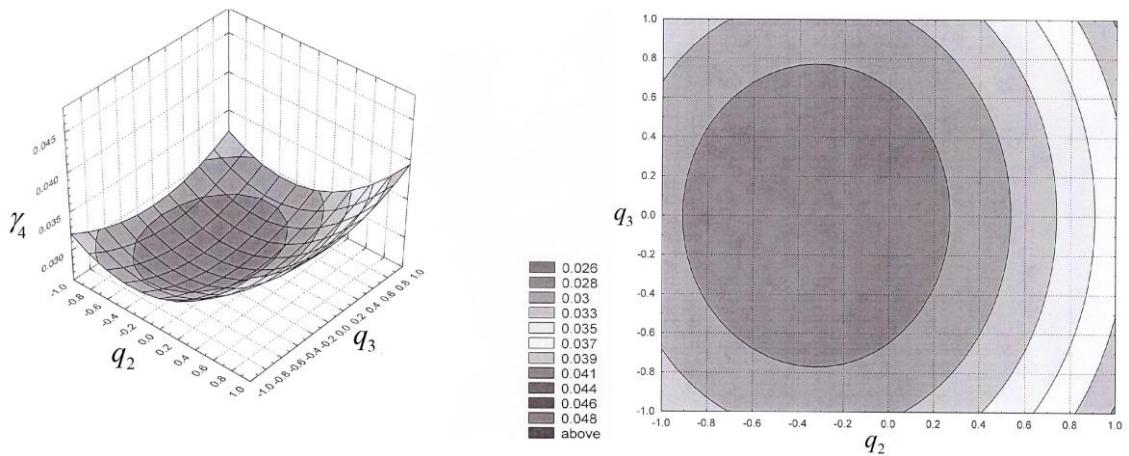


Рисунок 3.21 – Поверхность  $\gamma_4 = f(q_1 = -0.22; q_2; q_3) \rightarrow \min$   
и ее сечения в проекции на плоскость

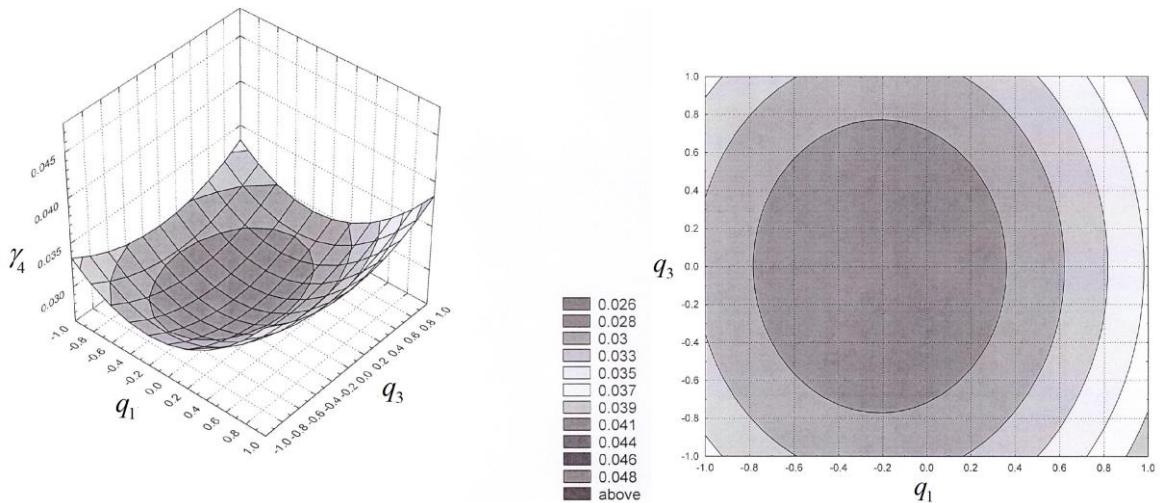


Рисунок 3.22 – Поверхность  $\gamma_4 = f(q_1; q_2 = -0.32; q_3) \rightarrow \min$   
и ее сечения в проекции на плоскость

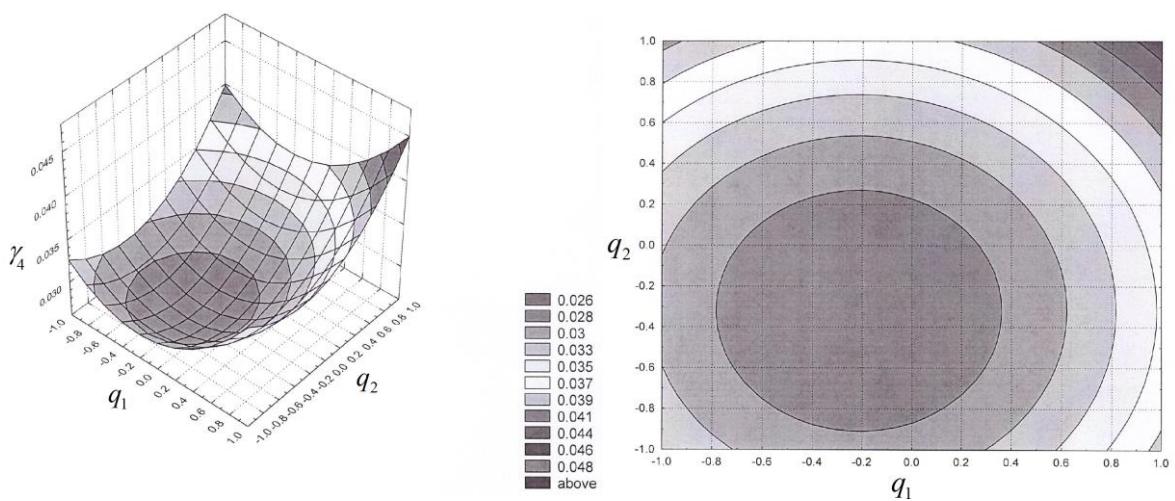


Рисунок 3.23 – Поверхность  $\gamma_4 = f(q_1; q_2; q_3 = 0.00) \rightarrow \min$   
и ее сечения в проекции на плоскость

На четвертом этапе исследований изучен процесс сушки влажных соевомясокостных гранул. С этой целью из всей совокупности факторов были выделены наиболее значимые, оказывающие существенное влияние на изучаемый процесс, согласно зависимостям общего вида:

$$\left. \begin{array}{l} \gamma_5 = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \min; \\ \gamma_6 = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \min \end{array} \right\},$$

где  $\gamma_5 (K_p)$  – крошимость сушеных гранул, %;  $\gamma_6 (N_{\text{Эс}})$  – энергоемкость процесса сушки гранул, кВт·ч/кг;  $q_1 (W_h)$  – исходная влажность гранул, %;  $q_2 (t)$  – температура сушки, °C;  $q_3 (M_d)$  – массовая доля соевого компонента, %.

В таблице 3.16 приведены уровни факторов, а в таблице 3.17 – план трехфакторного эксперимента.

Таблица 3.16 – Факторы по изучению процесса обезвоживания и термообработки влажных гранул

Уровни факторов	Факторы процесса и их значения		
	Исходная влажность гранул, $q_1/W_h$ , %	Температура сушки, $q_2/t$ , °C	Массовая доля соевого компонента, $q_3/M_d$ , %
Уровень (+)	40,0	120,0	70,0
Уровень (0)	34,0	110,0	50,0
Уровень (-)	28,0	100,0	30,0
Интервал	6,0	10,0	20,0

Таблица 3.17 – План и результаты эксперимента по изучению процесса сушки с термообработкой влажных гранул

№, п/п	$q_1/W_h$ , %	$q_2/t$ , °C	$q_3/M_d$ , %	Критерии	
				$\gamma_5 (K_p, %)$	$\gamma_6 (N_{\text{Эс}}, \text{kVt}\cdot\text{ч}/\text{кг})$
1	-1	-1	+1	15,00	0,980
2	+1	-1	-1	16,00	0,920
3	-1	+1	-1	13,00	0,950
4	+1	+1	+1	10,50	0,690
5	-1	-1	-1	8,00	0,740
6	+1	-1	+1	14,00	0,800
7	-1	+1	+1	14,50	0,670
8	+1	+1	-1	15,00	0,900
9	-1,215	0	0	6,00	0,580
10	+1,215	0	0	12,00	0,390
11	0	-1,215	0	9,00	0,580
12	0	+1,215	0	6,50	0,690
13	0	0	-1,215	10,00	0,750
14	0	0	+1,215	5,50	0,450
15	0	0	0	3,00	0,330

По результатам проведенного эксперимента выполнена обработка полученных данных (таблицы 3.18 – 3.21).

Таблица 3.18 – Регрессионный анализ зависимости  $\gamma_5 = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \min$

		Шаг анализа			
		1	2	3	4
Коэффициенты модели	$H_0$	3,13722	3,13722	3,13722	3,13722
	$H_1$	1,12212	1,12212	1,12212	1,12212
	$H_2$	-0,27734	-	-	-
	$H_3$	-0,31660	-0,31660	-	-
	$H_{12}$	-1,12500	-1,12500	1,12500	-1,12500
	$H_{13}$	-1,87500	-1,87500	1,87500	-1,87500
	$H_{23}$	-1,00000	-1,00000	1,00000	-
	$H_{11}$	3,94097	3,94097	3,94097	3,94097
	$H_{22}$	3,09421	3,09421	3,09421	3,09421
	$H_{33}$	3,09421	3,09421	3,09421	3,09421
Стандартное отклонение - $\sigma$		20,302000	21,145000	22,242000	30,242000
R - корреляция		0,955580	0,953700	0,951230	0,933070
F - критерий		5,256400	6,702700	8,319800	7,689800

Таблица 3.19 – Регрессионный анализ зависимости  $\gamma_5 = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \min$

		Шаг анализа					
		1	2	3	4	5	6
Коэффициенты модели	$H_0$	0,32629	0,32629	0,32629	0,32629	0,32629	0,32629
	$H_1$	-0,02382	-0,02382	0,02382	-	-	-
	$H_2$	-0,00880	-0,00880	-	-	-	-
	$H_3$	-0,06706	-0,06706	0,06706	-0,06706	0,06706	-0,06706
	$H_{12}$	-0,00375	-	-	-	-	-
	$H_{13}$	-0,03625	-0,03625	0,03625	-0,03625	-	-
	$H_{23}$	-0,07625	-0,07625	0,07625	-0,07625	0,07625	-0,07625
	$H_{11}$	0,10833	0,10833	0,10833	0,10833	0,10833	0,10833
	$H_{22}$	0,20994	0,20994	0,20994	0,20994	0,20994	0,20994
	$H_{33}$	0,18623	0,18623	0,18623	0,18623	0,18623	0,18623
Стандартное отклонение - $\sigma$		0,0597570	0,598690	0,0607170	0,0669290	0,0774420	0,1267000
R - корреляция		0,945970	0,945870	0,945080	0,939280	0,929380	0,881530
F - критерий		4,255600	5,662200	7,315700	8,562300	9,508900	6,972100

На основании результатов анализа  $F_R^5 > F_T^5 = 22,242 > 4.15$  и  $F_R^6 > F_T^6 = 9,508 > 4.15$  установлена адекватность полученных математических моделей процесса сушки влажных гранул (таблица 3.20).

Таблица 3.20 – Результаты анализа зависимостей  $\gamma_{5-6} = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \min$

Критерий	$H_0$	$H_1$	$H_3$	$H_{12}$	$H_{13}$	$H_{23}$	$H_{11}$	$H_{22}$	$H_{33}$	Заключение об адекватности	
										$F_R$	$F_T$
$\gamma_5$	3,1372	1,1221	-	-1,1250	-1,8750	-1,0000	3,9410	3,0942	3,0942	22,242	4,150
$\gamma_6$	0,326	-	-0,067	-	-	-0,076	0,108	0,210	0,186	9,508	4,150

Для данных зависимостей определены области экстремальных значений при  $\gamma_5 \rightarrow \min$  и  $\gamma_6 \rightarrow \min$  (таблица 3.21).

Таблица 3.21 – Области экстремальных значений для зависимостей  $\gamma_{5-6} = f(q_1; q_2; q_3) \rightarrow \min$

Критерий	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$\gamma_i$
$\gamma_5 \cdot \max$	<b>-0,16</b>	<b>-0,04</b>	<b>-0,06</b>	<b>3,047</b>
	-0,16	-0,04	-0,04	3,048
	-0,16	-0,02	-0,06	3,048
	-0,18	-0,04	-0,06	3,048
	-0,16	-0,02	-0,04	3,048
	-0,16	-0,06	-0,06	3,048
	-0,14	-0,04	-0,04	3,049
	-0,16	-0,04	-0,08	3,049
	-0,14	-0,04	-0,06	3,049
	-0,14	-0,02	-0,04	3,049
$\gamma_6 \cdot \min$	<b>0,00</b>	<b>0,04</b>	<b>0,18</b>	<b>0,320</b>
	0,00	0,04	0,20	0,320
	0,00	0,02	0,18	0,320
	-0,02	0,04	0,18	0,320
	0,02	0,04	0,18	0,320
	-0,02	0,04	0,20	0,320
	0,02	0,04	0,20	0,320
	-0,02	0,02	0,18	0,320
	0,02	0,02	0,18	0,320
	0,00	0,02	0,20	0,320

В результате математической обработки полученных данных (таблицы 3.18 – 3.21) построены следующие уравнения регрессии:

- в кодированной форме:

$$\begin{aligned} \gamma_5 = & 3,137 + 1,122q_1 - 1,125q_1 \cdot q_2 - 1,875q_1 \cdot X_3 - 1,000q_2 \cdot q_3 + 3,940q_1^2 + \\ & + 3,094q_2^2 + 3,094q_3^2 \rightarrow \min; \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\gamma_6 = 0,326 - 0,067q_3 - 0,076q_2 \cdot q_3 + 0,108q_1^2 + 0,209q_2^2 + 0,186q_3^2 \rightarrow \min; \quad (3.14)$$

- в раскодированной форме:

$$\begin{aligned} K_p = & 392,88 - 4,413W_n - 5,919t^\circ + 0,307M_\partial - 0,018W_n \cdot t^\circ - 0,015W_n \cdot M_\partial - \\ & - 0,005t^\circ \cdot M_\partial + 0,109W_n^2 + 0,031(t^\circ)^2 + 0,007M_\partial^2 \rightarrow \min \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} N_{\mathcal{E}} = & 28,443 - 0,204W_n - 0,442t^\circ - 0,008M_\partial - 0,00038 \cdot t^\circ \cdot M_\partial + 0,003W_n^2 + \\ & + 0,002(t^\circ)^2 - 0,00046M_\partial^2 \rightarrow \min \end{aligned} \quad (3.16)$$

На рисунках 3.24 – 3.29 представлена графическая интерпретация полученных зависимостей.

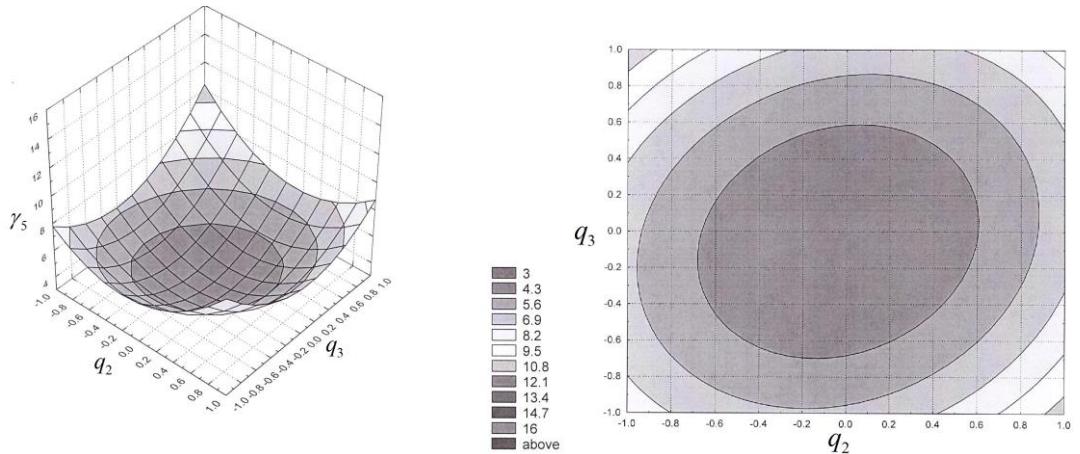


Рисунок 3.24 – Поверхность  $\gamma_5 = f(q_1 = 0.10; q_2; q_3) \rightarrow \min$

и ее сечения в проекции на плоскость

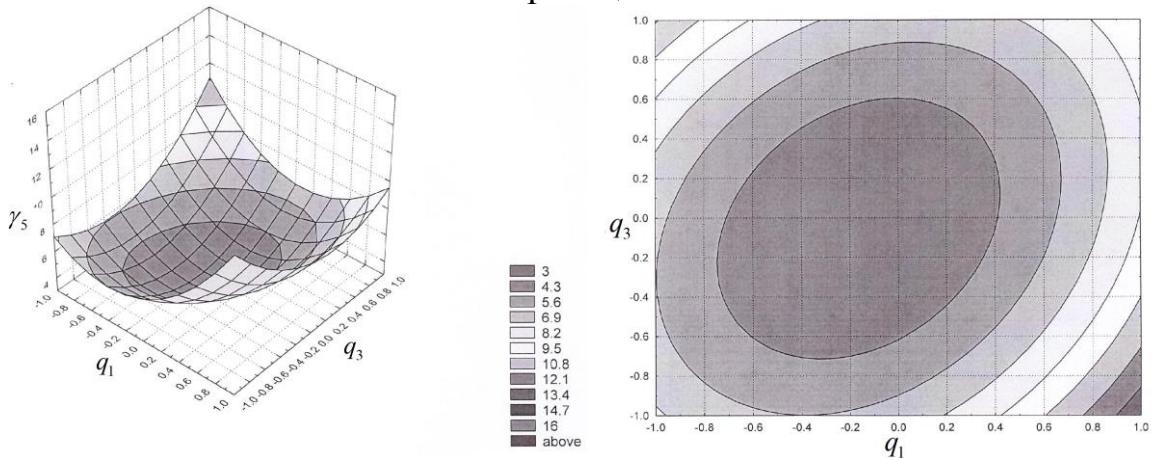


Рисунок 3.25 – Поверхность  $\gamma_5 = f(q_1; q_2 = -0.04; q_3) \rightarrow \min$

и ее сечения в проекции на плоскость

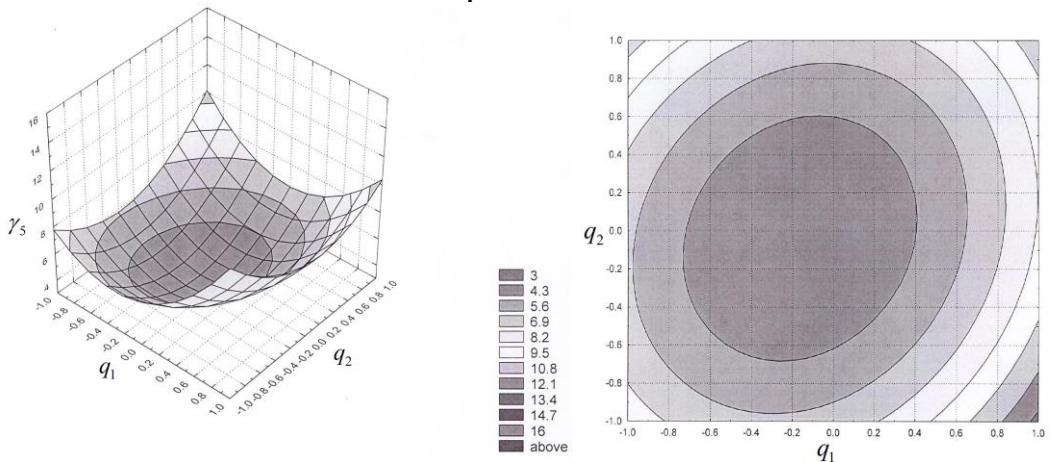


Рисунок 3.26 – Поверхность  $\gamma_5 = f(q_1; q_2; q_3 = -0.06) \rightarrow \min$

и ее сечения в проекции на плоскость

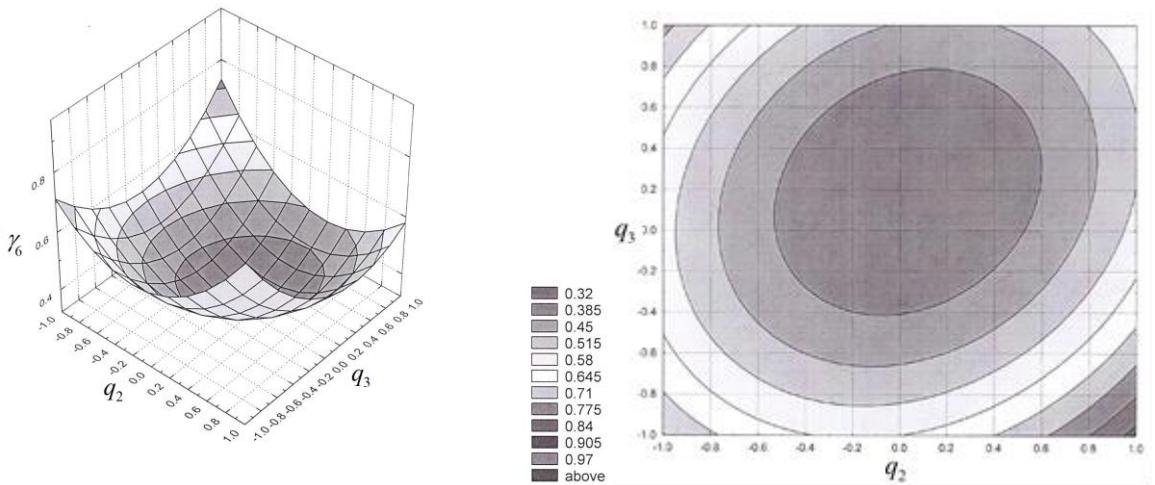


Рисунок 3.27 – Поверхность  $\gamma_6 = f(q_1 = 0,0; q_2; q_3) \rightarrow \min$

и ее сечения в проекции на плоскость

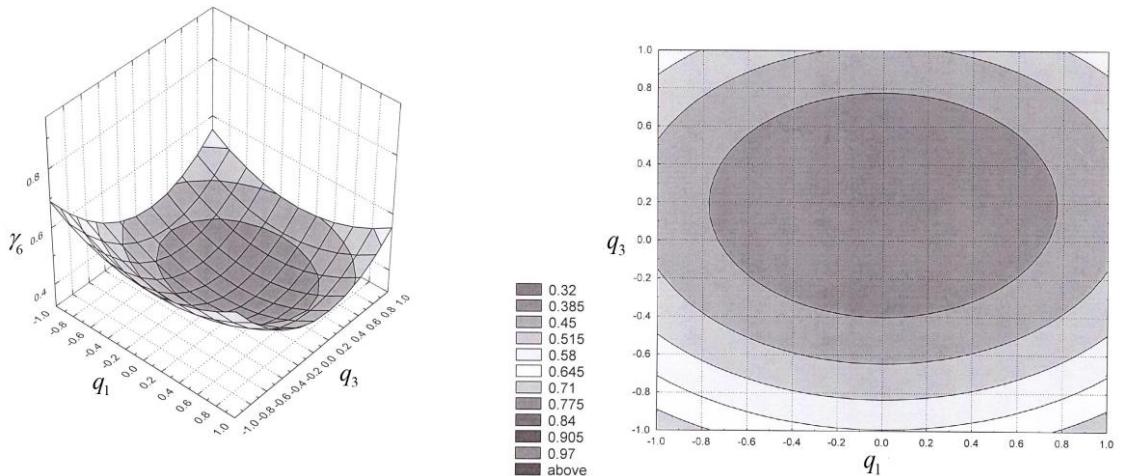


Рисунок 3.28 – Поверхность  $\gamma_6 = f(q_1; q_2 = 0,04; q_3) \rightarrow \min$

и ее сечения в проекции на плоскость

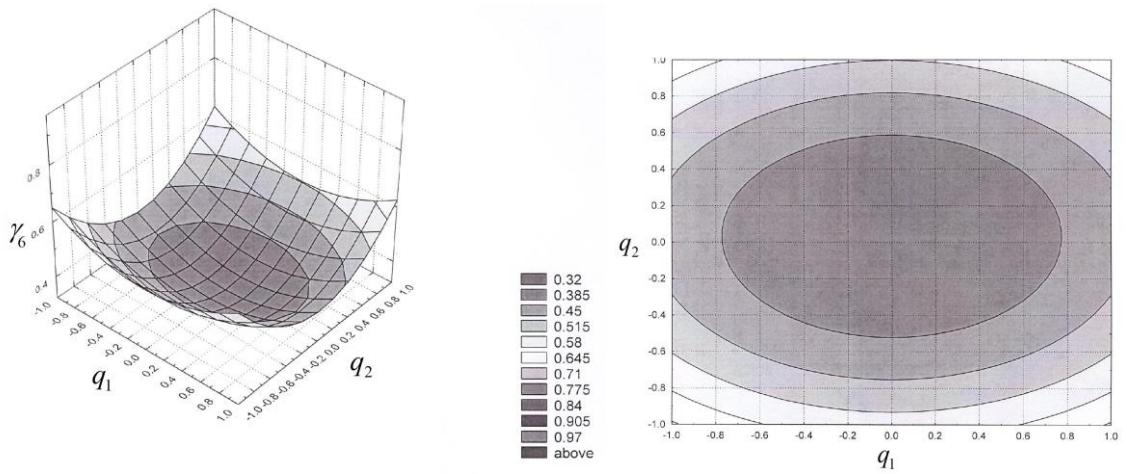


Рисунок 3.29 – Поверхность  $\gamma_6 = f(q_1; q_2; q_3 = 0,18) \rightarrow \min$

и ее сечения в проекции на плоскость

На основании полученных данных определены оптимальные значения факторов, которые находятся в следующих пределах:

$W_h = 33,04 - 34\%$ ;  $t^\circ = 109,6^\circ - 110,4^\circ\text{C}$ ;  $M_d = 48,8 - 53,6\%$  при которых  $K_p = 3,047\%$  и  $N_{Ec} = 0,32 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ .

На пятом этапе экспериментальных исследований устанавливалась зависимость плотности влажных гранул  $\rho_r$ , ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) от давления –  $P$ , (МПа) в компрессионно-выравнивающей камере смесителя-гранулятора  $\rho_r = f(P) \rightarrow \max$  (рисунок 3.30).

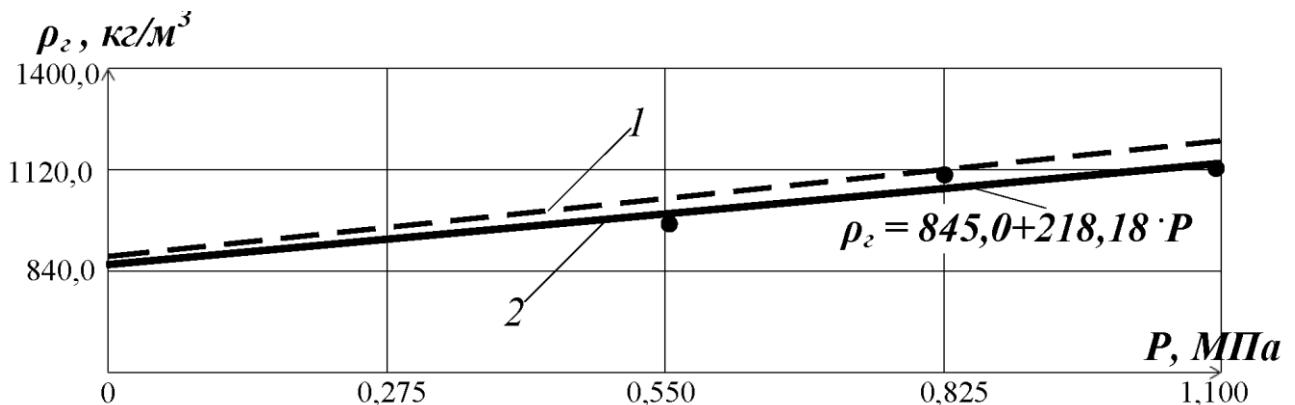


Рисунок 3.30 – Зависимость плотности влажных гранул от давления в компрессионно-выравнивающей камере смесителя-гранулятора:  
1 – теоретическая по формуле (2.96); 2 – экспериментальная

1 – теоретическая по формуле (2.96); 2 – экспериментальная

Данная зависимость аппроксимирована выражением линейного вида  $y = \alpha + \beta x$ , где  $\alpha, \beta$  – эмпирические коэффициенты.

Данные обработаны с помощью метода наименьших квадратов [13]:

$$\rho_r = 845,0 + 218,18P \quad (3.17)$$

с получением коэффициентов, равных –  $\alpha = 845,0$  и  $\beta = 218,18$ .

На рисунке 3.31 приведены зависимости пропускной способности смесителя-гранулятора  $Q_V = f(\omega_c)$  и его мощности  $N_{CG} = f(\omega_c)$ , от угловой скорости винта, с получением данных по энергоемкости –  $N_{EcG}$ , кВт в диапазоне значений  $\omega_c = 3,675 \text{ с}^{-1} - 14,700 \text{ с}^{-1}$ , которые носят линейный характер. Полученные данные использованы при построении зависимости  $N_{Ec} = f(Q)$ , которая имеет вид убывающей экспоненты (рисунок 3.31).

На рисунке 3.32 приведены графики, характеризующие зависимости

влажности  $W_i, \%$  и крошимости  $Kp, \%$  гранулята от продолжительности сушки –  $t_c, \text{мин.}$

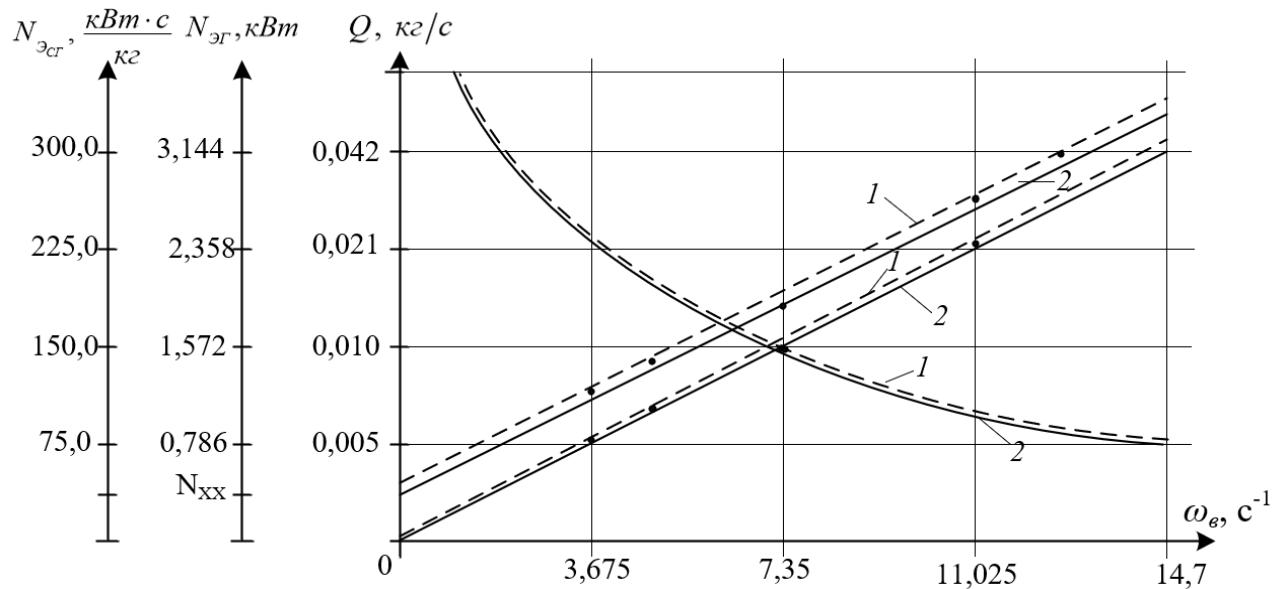


Рисунок 3.31 – Зависимости производительности  $Q$ , кг/с от угловой скорости винта –  $\omega_e$ ,  $\text{с}^{-1}$ , мощности  $N_{\mathcal{E}G}$ , кВт и энергоемкости устройства  $N_{\mathcal{E}cr}$ , кВт·с/кг: 1 – теоретические по формулам (2.107), (2.126); 2 – экспериментальные:  $\delta_Q = \left(1 - \frac{0,0400}{0,0436}\right) \cdot 100 \% = \pm 8,2 \% ;$

$$\delta_{N_{\mathcal{E}cr}} = \left(1 - \frac{2,925}{3,144}\right) \cdot 100 \% = \pm 7,1 \% ; \quad \delta_{N_{\mathcal{E}cr}} = \left(1 - \frac{75,0}{78,5}\right) \cdot 100 \% = \pm 4,5 \%$$

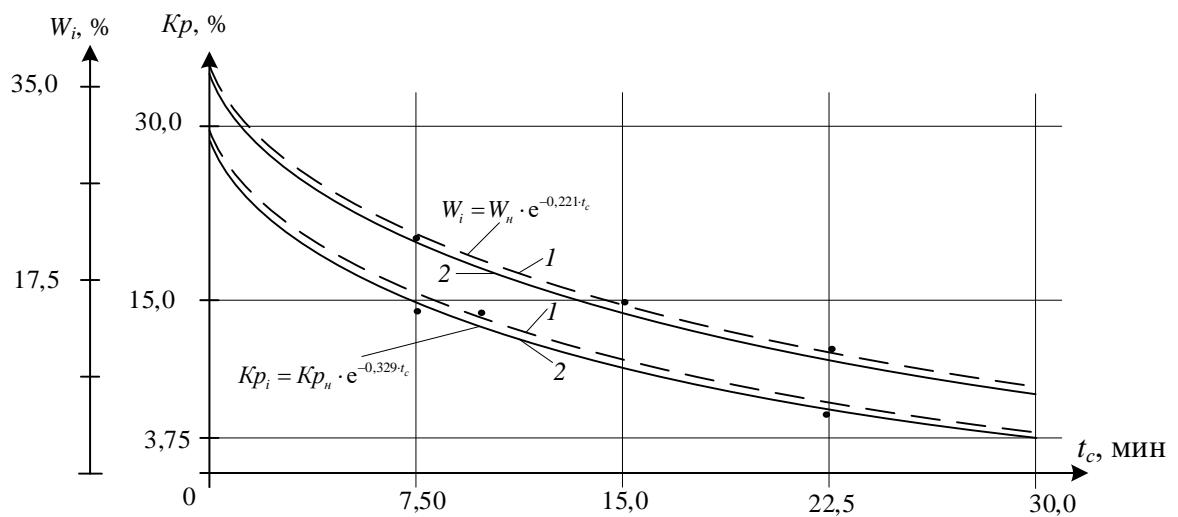


Рисунок 3.32 – Графики, характеризующие зависимости влажности  $W_i, \%$  и крошимости  $Kp, \%$  от продолжительности процесса сушки соево-мясокостного гранулята: 1 – теоретические по формулам (2.123), (2.124); 2 – экспериментальные, при значениях коэффициентов  $\xi_1 = 0,221$  и  $\xi_2 = 0,329$  по уравнениям (2.134)  $\delta_{Kp} = \left(1 - \frac{3,52}{53,75}\right) \cdot 100 \% = \pm 6,2 \% ; \quad \delta_W = \left(1 - \frac{6,045}{6,5}\right) \cdot 100 \% = \pm 7,0 \%$

### **Выводы:**

1. На основе поставленных задач разработана программа и определены методы экспериментальных исследований с созданием и подбором необходимой совокупности технических средств и оборудования;
2. Результаты экспериментальных исследований показали, что гомогенизированный фарш из мясокостного сырья от убоя цыплят-бройлеров в виде голов, шей, кишечника и т.д., а также соевый компонент в виде необезжиренной термообработанной соевой муки, имеют относительно широкий диапазон значений физико-механических и реологических показателей, которые зависят в первую очередь от влажности и температуры окружающей среды. Данный факт необходимо учитывать при проектировании процесса приготовления соево-мясокостного гранулята;
3. Установлено, что влажность принятого на исследование исходного сырья находится в диапазоне значений 54,95 %. При этом,  $\Pi_{\text{НС}}$  для смеси голов, шей и кишечника находится на уровне 186,0 Па, эффективная вязкость на уровне  $B_{\text{II}} = 3,06 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , а скорость сдвига  $-\dot{\gamma} = 60,78 \text{ с}^{-1}$ . При этом, зависимость, характеризующая дисперсию колебаний влажности мясокостного фарша –  $D_{W_{\text{вых}}}$  от количества отверстий в решетке –  $k_o$ , носит экспоненциально-убывающий характер;
4. Экспериментальным путем, посредством физического и математического моделирования получены соево-мясокостные бинарные композиции заданного состава и свойств. Обоснованы рациональные значения параметров для их получения, при которых влагосвязывающая способность фарша составляет  $B_{\text{CC}} = 96,6\%$ , а предельное напряжение сдвига равно  $\Pi_{\text{НС}} = 288,3 \text{ Па}$ , при продолжительности перемешивания компонентов в композиции  $t_y = 3-5 \text{ мин}$ ;
5. Получены математические модели процесса приготовления влажных гранул в виде достоверных уравнений регрессии. Установлено, что относительно высокий показатель плотности влажных гранул  $\rho_k = 1077,0 \text{ кг}/\text{м}^3$ , при удовлетворительной энергоемкости  $N_e = 0,0262 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ , можно получить при следующих значениях параметров:

-  $\omega_e = 9,3 \text{ с}^{-1}$  и  $\omega_{ПГУ} = 14,70 \text{ с}^{-1}$ , соотношение которых составляет  $\omega_{ПГУ}/\omega_e = 1,5-1,6$ ,  $l_k = 14,0 \text{ мм}$  и  $P = 0,825 \text{ МПа}$ .

Оценка по относительной ошибке показала расхождение по результатам теоретических и экспериментальных данных в пределах допуска  $\Delta = \pm 10,0 \%$ ;

6. Установлены зависимости производительности –  $Q$  и мощности –  $N_{ПГУ}$  смесителя-гранулятора от угловой скорости винта –  $\omega_e$ , которые носят линейный характер. По установленным данным определена зависимость, характеризующая изменение энергоемкости процесса получения влажных гранул от производительности;

7. Экспериментом установлено, что крошимость гранул сущеного продукта в пределах 3,0-5,0% обеспечивается при следующих значениях параметров:

$$W_h = 33,0-34 \%; t_c = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}; M_{\Delta} = 49-53 \text{ }%$$

При этом, значение показателя энергоемкости процесса сушки с одновременной термообработкой гранул находится на уровне 0,32 кВт·ч/кг.

Расхождение теоретических и экспериментальных данных составило:  $\delta_{kp} = \pm 6,2 \%$  и  $\delta_w = \pm 7,0 \%$ .

## ГЛАВА 4. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОЦЕНКА ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННОЙ ВЫСОКОБЕЛКОВОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ С.Х. ПТИЦЫ

### 4.1 Условия проведения производственной проверки по основным результатам исследований

Производственная проверка результатов исследований проводилась в условиях птицеводческой фермы ООО «Амурский бройлер» Амурской области (приложение П26). В качестве базового рецепта был принят состав по рецепту ПК-6-4-89, в котором соевый и подсолнечниковый шрот, а также мясокостная мука были заменены на гранулированную высокобелковую кормовую добавку [122].

В качестве исходных требований к получению гранулированной высокобелковой кормовой добавки предъявлялись требования, изложенные в подразделе 1.1.

На рисунке 4.1 представлена технологическая схема производства высокобелковой кормовой добавки.

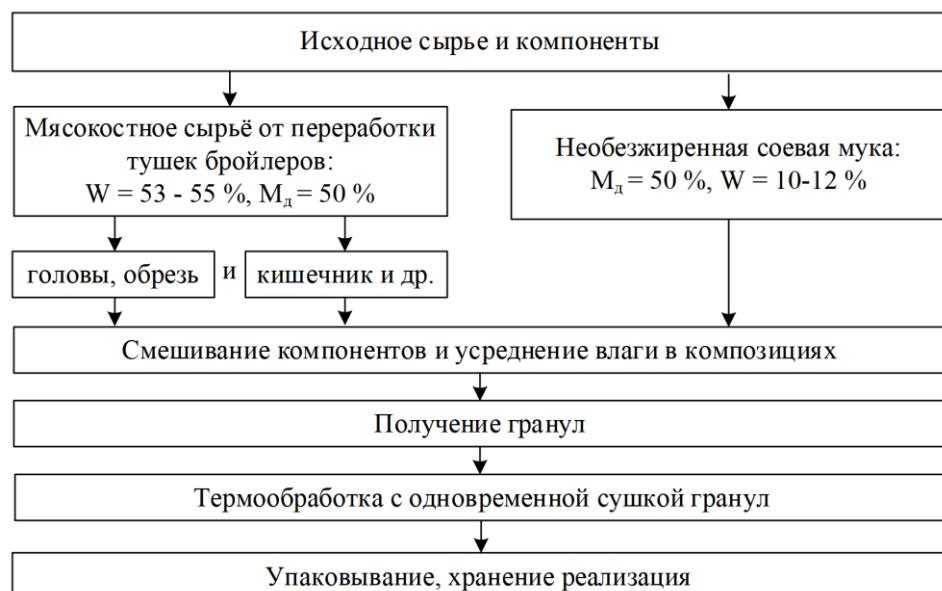


Рисунок 4.1 – Технологическая схема приготовления высокобелкового кормового продукта в виде гранулята

На рисунке 4.2 представлена конструктивно-технологическая схема получения данного вида продукта.

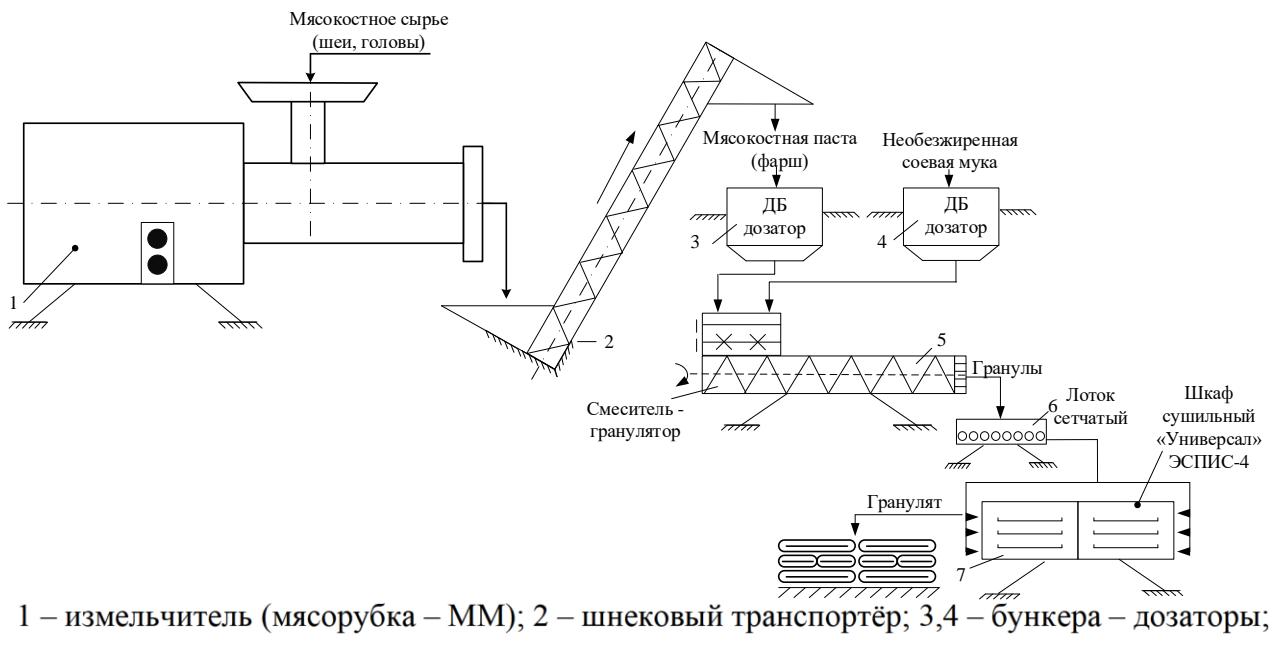


Рисунок 4.2 – Конструктивно-технологическая схема линии приготовления высокобелкового гранулята

Общий вид исходного сырья, промежуточных и готовых продуктов, представлен в приложениях П4-П7.

На основании проведенных исследований получены данные по составу и процессу резания мясокостного сырья из отходов убоя с.х. птицы (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Данные по исследованию состава мясокостного сырья с.х. птицы и его измельчению [17]

Субпродуктовое сырье с.х. птицы	Массовая составляющая, %	Усилия резания, Н	
		наклонное резание	резание пуансоном
Головы, из них:			
- мякоть	33,0 – 38,5	28,0	33,3
- кость	61,5 – 64,0		
Шеи, из них:			
- мякоть	72,0 – 76,5	75,0	59,0
- кость	23,5 – 28,5		

Анализ данных таблицы 4.1 показывает, что качественное измельчение такого вида сырья возможно и целесообразно осуществлять с помощью мясорубки. В этой связи, в состав технологической линии была включена мясорубка типа ММ – производитель ООО «Завод «Торгмаш», г. Пермь (приложения

П1 и П2).

При проведении производственной проверки, в качестве соевого компонента была использована необезжиренная соевая мука, полученная как из семян сои, так и из вторичного соевого сырья. Характеристика данных видов муки по физико-механическим показателям приведена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Физико-механические показатели необезжиренной соевой муки

№	Продукт	Влажность, %	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Средневзвешенный размер, мкм	Угол естественного откоса, град
1	Необезжиренная соевая мука	6,0-8,0	360,0-380,0	28,0	42,0-44,0
2	Соевая мука из вторичного соевого сырья	5,0-7,0	305,0-310,0	28,0	40,0-42,0

Характеристика готового продукта по комплексу основных показателей и свойств приведена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Характеристика высокобелкового кормового гранулята по комплексу установленных показателей

Наименование продукта	Влажность, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Угол естественного откоса, град	Средневзвешенная длина, мм	Средневзвешенный диаметр, мм	Однородность, %	Крошимость, %
Гранулированная высокобелковая кормовая добавка для птицы	10,0-12,0	530,0	35,0-45,0	8,00	2,00	Не менее 95,0	Не более 5,0

Анализ данных, представленных в таблице 4.3, показывает, что разработанный способ, а также комплект функционально сопряженных между собой технических средств, позволяют получить высокобелковую кормовую добавку в виде соево-мясокостного гранулята по показателям качества, отвечающего зоотребованиям.

#### **4.2 Сравнительная оценка технико-экономической эффективности основных результатов исследований**

При расчетах технико-экономической эффективности для сравнения в ка-

честве базового варианта принят комплект оборудования для производства гранулированных комбикормов с использованием мясокостной муки серии ДГ-1. Данный комплект в модификации выпускается отечественной промышленностью. Его технико-экономическая характеристика приведена в источнике [58].

Состав принятого варианта по количеству единиц (позиция № 6) представлен в таблице 4.4

Таблица 4.4 – Состав технологической линии получения кормовой добавки по перечню оборудования

№	Наименование оборудования	Коли-чество, шт.	Установленная мощность, кВт	Балансовая стоимость, руб.
1	Измельчитель-пастоизготовитель	1	1,5	400 000,0
2	Смеситель-гранулятор	1	2,5	200 000,0
3	Сушильный шкаф «ЭСПИС-4» - «Универсал»	1	9,0	1 050 000,0
4	Весы	1	-	30 000,0
5	Всего	7	13,0	735 000,0
6	Оборудование, модифицированное на базе ДГ-1 (комплект с оборудованием для получения крошки)	6	78,0	2 535 000,0

Основные технико-экономические показатели по базовому и предлагаемому вариантам приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Технико-экономические показатели сравниваемых вариантов оборудования

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Сравниваемые варианты		Степень превышения
			Базовый ДГ-1 модифицированный	Предлагаемый КОСГ-120,0	
1.	Производительность	т/ч	2,0 – при Ø10 мм 1,0 – при Ø5,0 мм 0,15 – при Ø2,0 мм	0,12 -0,15 при Ø= 2,0 мм	-
2.	Установленная мощность электропривода - измельчителя - смесителя - гранулятора - сушильной установки Всего	кВт	– 3,0 75,0 – 78,0	1,5 2,0 0,5 9,0 13,0	– 1,5 – – 6,0
3.	Масса оборудования	т	5,0	0,8	1,375
4.	Энергоемкость	кВт·ч/кг	0,156	0,108	1,44
5.	Металлоемкость	т/т/ч	10,0	5,3	1,9

Анализ данных таблицы 4.5 показывает, что энергоемкость по предлагаемому варианту ниже на 44,0 %, а металлоемкость на 90,0 %.

Экономический эффект по эксплуатационным затратам рассчитан в соответствии с ценами сложившимися на 01.01.25 г. по известным методикам [31, 40, 68].

Годовые удельные эксплуатационные издержки по базовому и новому вариантам рассчитываем по формуле:

$$\mathcal{EI}_{\Gamma_y} = \sum_{i=1}^n \mathcal{EI}_i / G, \quad (4.1)$$

где  $\mathcal{EI}_{\Gamma}$  – годовые эксплуатационные издержки, руб.;

$\mathcal{EI}_i$  – пооперационные эксплуатационные издержки, руб.

$G$  – годовой объем работ по полученному продукту.

Годовые эксплуатационные издержки, по сравниваемым вариантам определяем по формуле:

$$\mathcal{EI} = A + P + \mathcal{E} + \mathcal{Z}, \quad (4.2)$$

где  $A$  – амортизационные издержки, руб.;

$P$  – издержки на текущий ремонт, руб.;

$\mathcal{E}$  – издержки на электроэнергию, руб.;

$\mathcal{Z}$  – издержки по фонду зарплаты, руб.

Амортизационные отчисления (руб/год) определяются по формуле

$$A = (B \cdot a_a) / 100, \quad (4.3)$$

где  $B$  – балансовая цена оборудования, руб.;

$a_a$  – годовая норма амортизационных отчислений.

В соответствии с таблицей 4.5 по амортизационным затратам получаем:

$$A_{баз} = (2 535 000 \cdot 12) / 100 = 304 200 \text{ руб.}$$

$$A_n = (735 000 \cdot 12) / 100 = 88200 \text{ руб.}$$

Затраты на текущий ремонт (руб./год) по базовому и новому вариантам

$$P = (B \cdot a_p^n) / 100, \quad (4.4)$$

где  $a_p^n$  – отчисления на ремонт.

В соответствии с таблицей 4.5 получаем:

$$A_{баз} = (2 535 000 \cdot 14) / 100 = 354900 \text{ руб.}$$

$$A_n = (735\ 000 \cdot 14)/100 = 102\ 900 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы определили согласно формуле:

$$Z = OP \cdot 3T \cdot PK \cdot H \cdot N, \quad (4.5)$$

где  $OP$  – основной оклад работника, руб.;

$3T$  – затраты труда, мес.;

$PK$  – районный коэффициент,  $PK = 1,5$ ;

$H$  – начисления на оплату труда,  $H = 1,358$ ;

$N$  – численность обслуживающего персонала, чел.

$$Z = 30\ 000 \cdot 12 \cdot 1,5 \cdot 1,358 \cdot 2 = 1\ 466\ 640 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию по базовому и новому вариантам определяем по выражению:

$$\mathcal{E} = W \cdot \mathcal{U}_e, \quad (4.6)$$

где  $W$  – годовой расход электроэнергии,  $\text{kVt} \cdot \text{ч}$ ;  $\mathcal{U}_e$  – стоимость одного  $\text{kVt} \cdot \text{ч}$  электроэнергии, руб.

При этом, имеем, что

$$\mathcal{E} = \left( \sum_n^{i=1} N_{DB_i} \cdot \eta_i \cdot t \right) \mathcal{D} \cdot \mathcal{U}_e, \quad (4.7)$$

где  $N_{DB_i}$  – номинальная мощность потребителя электроэнергии,  $\text{kVt}$ ;

$\eta_i$  – коэффициент использования номинальной мощности;

$t$  – продолжительность работы потребителя электроэнергии;

$\mathcal{D}$  – число рабочих дней в году.

Для сравниваемых вариантов получаем:

$$\mathcal{E}_{баз} = (78 \cdot 0,9 \cdot 7) \cdot 365 \cdot 4,0 = 717\ 444,00 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E}_n = (13,0 \cdot 0,9 \cdot 7) \cdot 365 \cdot 4,0 = 119\ 574,0 \text{ руб.}$$

Расчет по формуле (4.2) дает следующий результат по годовым эксплуатационным издержкам:

$$\mathcal{EI}_{баз} = 304\ 200 + 354\ 800 + 1\ 466\ 640 + 717\ 444 = 2\ 843\ 084,0 \text{ руб./год}$$

$$\mathcal{EI}_n = 88\ 200 + 102\ 900 + 1\ 466\ 640 + 119\ 574 = 1\ 777\ 314,0 \text{ руб./год}$$

Годовой экономический эффект составит

$$\mathcal{EI}_e = \mathcal{EI}_{баз} - \mathcal{EI}_n, \quad (4.8)$$

$$\mathcal{E}\Gamma_{\mathcal{E}} = 2\ 843\ 084,0 - 1\ 777\ 314,0 = 1\ 065\ 770,0 \text{ руб./год}$$

Зоотехнической наукой и практикой доказано, что скармливание полно-рационных кормовых смесей повышает продуктивность птицы на 5...30%, при этом сокращаются сроки откорма и на 15...20%, уменьшается расход кормов на единицу продукции [63, 122].

Исходя из этого, стоимость дополнительной продукции, получаемой в результате реализации технологического процесса приготовления высокобелковой кормовой добавки, определим по известной методике [33]:

$$C_i = \sum_{n=1}^n R_i \cdot v_i \cdot q \cdot N_{\phi} \cdot \mathcal{D} \cdot \mathcal{E}_k \cdot \mathcal{I}_p \Big/ \mathcal{E}_n, \quad (4.9)$$

где  $R_i$  – коэффициент, учитывающий повышение продуктивности, усвоемости, снижения непроизводительного расхода и т.д. кормов в расчете на 1% показателя качества (коэффициента вариации);

$v_i$  – коэффициент вариации, с помощью которого оценивается качество работы оборудования линии;

$q$  – питательность суточного рациона, приходящаяся на одну птицу;

$N_{\phi}$  – число голов;

$\mathcal{D}$  – продолжительность периода кормления, дн.;

$\mathcal{I}_p$  – цена, по которой реализуется продукция, руб.;

$\mathcal{E}_k$  – энергетическая ценность кормовой единицы, МДж ( $\mathcal{E}_k = 6$  МДж, [87]);

$\mathcal{E}_n$  – затраты энергии на получение единицы продукции, МДж.

$$q \sum_{n=1}^n a_i \cdot m_i \Big/ \sum_{n=1}^n a_i, \quad (4.10)$$

где  $a$  – количество  $i$ -того компонента в смеси, кг;  $m_i$  – питательность компонента, к.ед.

Стоимость дополнительной продукции, получаемой в результате скармливания птице кормосмеси с добавкой, равна

$$C_n = 0,05 \cdot 0,95 \cdot 0,05 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 60 \cdot 300 / 16,32 = 7,86 \text{ руб./гол.}$$

Годовой объем производства высокобелкового гранулята составит

$$G_e = 0,12 \cdot 7 \cdot 365 = 306,6 \text{ тонн. Это количество высокобелковой кормовой}$$

добавки можно использовать при кормлении следующего количества птиц.  $G_6 = 306\ 600/365 \cdot 0,2 = 4\ 200$  голов птицы. Годовая стоимость дополнительной продукции, получаемой при производстве мяса птицы, будет равна  $C_n = 7,86$  руб./гол.  $\cdot 4200 = 33\ 000,0$  руб./год. С учетом эффекта от стоимости дополнительной продукции, получаемой при производстве мяса птицы, годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E}G_e = 1\ 065\ 770 + 33\ 000 = 1\ 098\ 770,0 \text{ руб./год}$$

Верхнюю лимитную цену оборудования технологической линии по производству белково-минеральной добавки определим по формуле [34]:

$$I_{\alpha_l} = \mathcal{E}_e \cdot 0,5 / [\varepsilon (P_2 + E_n)], \quad (4.11)$$

где  $\mathcal{E}_e$  – годовой экономический эффект от применения техники, за счет получения дополнительной продукции;

$\varepsilon$  – коэффициент перевода оптовой цены в балансовую стоимость,  $\varepsilon = 1,2$ ;

$P_2$  – коэффициент отчисления на амортизацию,  $P_2 = 0,12$ ;

$E_n$  – нормативный коэффициент, равный 0,15.

Тогда  $I_{\alpha_l} = \frac{549\ 385}{0,324} = 1\ 695\ 632,716$  руб.

Результаты расчета экономической эффективности приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Экономическая эффективность основных результатов исследований

№	Показатели	Ед. изм.	Значение экономического показателя
1	Снижение энергоемкости	%	44,0
2	Снижение металлоемкости	%	90,0
3	Эксплуатационные затраты: - по базовому варианту - по новому варианту	руб.	2 843 084,0 1 777 314,0
4	Годовой экономический эффект	руб.	1 065 770,0
5	Стоимость дополнительной продукции	руб.	33 000,0
6	Верхняя лимитная цена	руб.	1 695 632,7

Дополнительно определена технико-экономическая эффективность предложенного варианта в сравнении с вариантом, при котором производят корма путем экструдирования. Данное оборудование производит ООО «Агросоякомплект», перечень и характеристика которого приведена в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Перечень и показатели работы комплекта оборудования ООО «Агросоякомплект»

№ п/п	Наименование и модель	Ед. изм.	Производительность	Установленная мощность, кВт	Масса оборудования, т
1	Измельчитель Г7-ФИР-2	т/ч	2,0-4,0	30,0	2,2
2	Пастоизготовитель Г7-ПП-1	т/ч	15,0	30,0	0,353
3	Смеситель кормов Г7-СК-ЗТШ	т/ч	6,0	11,0	1,8
4	Экструдер отходов Е-1000W	т/ч	0,7	92,5	2,0
5	Охладитель экструдата ОЕ-1000	т/ч	1,0	4,5	0,6
6	Шнековый транспортер Г7-Е-2Ш	т/ч	40,0	4,0	0,434
	Итого по комплекту оборудования	т/ч	0,7	172,0	7,387
1	Энергоемкость	кВт·ч/кг	-	0,245	-
2	Металлоемкость	т/т/ч	-	-	10,55
3	Техническая эффективность	кг/кВт·ч	4,07	-	0

Сравнительная ТЭО проведена по данным таблиц 4.5 и 4.7 по показателям энергоемкости, металлоемкости и технической эффективности.

Для предложенного варианта по: энергоемкости:  $\mathcal{E}_h = 0,108 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}$ ; металлоемкости  $M_h = 2,3 \text{ т/т/ч}$ ; по технической эффективности  $T\mathcal{E}_h = 120,0 \text{ кг} / 13,0 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 9,2 \text{ кг/кВт}\cdot\text{ч}$ .

Для варианта с получением экструдата:

$$T\mathcal{E}_{баз} = 700,0 \text{ кг} / 172,0 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 4,07 \text{ кг/кВт}\cdot\text{ч}.$$

Для варианта с использованием ДГ-1 имеем, что

$$T\mathcal{E}_{базДГ-1} = 150,0 \text{ кг} / 78,0 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 1,92 \text{ кг/кВт}\cdot\text{ч}.$$

Таким образом по технической эффективности предложенный вариант превосходит существующие: с экструзионной обработкой кормов – в 2,26 раза; с использованием гранулятора с кольцевой матрицей – в 4,79 раза.

#### 4.3 Методика расчета параметров технологической линии приготовления высокобелкового кормового продукта для с/х птицы

Результатом проведенных нами исследований является разработанная методика расчета параметров технологической линии и оборудования для получения продукта в виде белково-витаминно-минеральной добавки с.х. птице.

Технологическое оборудование данной линии подбирается на основе

предварительно проведенного расчета с учетом базовой машины, в качестве которой принят смеситель-гранулятор.

Исходными данными расчета такой линии и входящего в нее технологического оборудования являются:

- обслуживаемое поголовье птицы;
- физико-механические и реологические показатели и свойства сырья и готового продукта.

Суточная потребность в продукте  $i$ -го вида с учетом возраста птицы, кг.

$$G = \sum_{i=1}^n q_i \cdot m_i, \quad (4.12)$$

где  $q_i$  – суточная потребность  $i$ -го вида птицы в высокобелковой кормовой добавке;

$m_i$  – количество птиц  $i$ -й возрастной группы, гол;

$n$  – количество возрастных групп птицы.

Необходимая производительность линии за смену

$$Q_n = G/t_{cm}, \quad (4.13)$$

где  $t_{cm}$  – время смены, с.

Пропускная способность функционально сопряженного оборудования:

$$Q_n = \sum_{i=1}^n Q_i \leq Q_n \leq Q_{cm} \leq Q_{cp}, \quad (4.14)$$

где  $Q_i$  – подача  $i$ -го компонента смеси, кг/с;

$n$  – количество компонентов.

Подача  $i$ -го компонента определяется, как

$$Q_i = a_i \cdot Q_n / q, \quad (4.15)$$

где  $a_i$  – количество  $i$ -го компонента в гранулированном продукте на одну птицу, кг;

$q$  – количество добавки на одну птицу, кг.

Подача измельчителя МКС определяется по формуле (2.18).

Длина рабочей камеры смесителя-усреднителя определяется по формуле (2.73), пропускная способность (производительность) смесителя-усреднителя –

по формуле (2.74), пресс-гранулятора по формулам (2.109), (2.119), а плотность влажных гранул – по формуле (2.96).

Мощность электродвигателя привода смесителя-гранулятора определяется по формуле (2.126).

Производительность сушилки определяется по формуле (2.135).

Результаты по проведённым исследованиям, в виде рекомендаций, переданы в ВУЗы, где используются в учебном процессе по направлению агроинженерия (приложение 10).

### **Выводы:**

1. На основе проведённой производственной проверки основных результатов исследований установлено, что разработанная в результате технологии приготовления высокобелкового гранулята на основе соево-мясокостных композиций, включающая совокупность функционально-сопряженных между собой технических средств в виде измельчителя-мясорубки, смесителя-усреднителя-гранулятора, выполненного в виде многофункционального модуля и сушильного устройства камерного типа, позволяет получить кормовой продукт в виде высокобелкового гранулята с показателями по влажности и крошимости, соответствующими зоотехническим требованиям.

Данные значения показателей достигаются благодаря выравниванию колебаний влажности в выходном потоке измельчителя-мясорубки, последующего ее усреднения в соево-мясокостной композиции, в начале в смесителе-усреднителе, а затем, путём создания объёмно-напряжённого состояния в компрессионно-выравнивающей камере СУУ. В результате данной трансформации композиции, в ПГУ формируются гранулы с отсутствием воздушных пор и равномерно распределённой в структуре гранул влаги, что обуславливает в конечном итоге, их низкую крошимость;

2. Результаты, полученные в ходе производственной проверки, положены в основу расчёта сравнительной технико-экономической эффективности принятых технологических и технических решений, которые защищены патентами РФ на изобретения. При этом, в качестве базовых вариантов для сравнения

приняты два:

- 1) комплект серии ДГ-1 для производства гранул птице на основе мясокостной муки и предварительно дробленого фуражного зерна;
- 2) комплект для переработки отходов забоя птицы, путём экструдирования – производитель ООО «Агросоякомплект».

По первому варианту проведена оценка ТЭЭ по эксплуатационным затратам и энергоёмкости, а по второму – проведён расчёт сравнительной технической эффективности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Итоги выполненных исследований

1. На основании проведенного анализа литературных источников, а также практического опыта приготовления кормовой добавки в виде мясной или мясокостной муки обоснованы необходимость, возможность и целесообразность снижения энергоемкости и металлоемкости данного процесса, путем усреднения влаги, содержащейся в мясокостном сырье птицы и соевом высокобелковом компоненте, с последующим досушиванием до содержания влаги 8-10 %;

2. С учетом разработанной функционально-структурной схемы обоснована экономико-математическая модель оценки функционирования технической системы по приготовлению кормовой добавки птице на основе соево-мясокостных композиций;

3. Для технической системы, в виде функционально сопряженной совокупности технических средств, установлены зависимости, характеризующие процессы:

- усреднения влаги в тонкоизмельченном мясокостном сырье, с учетом его трансформации в аппарате решетчато-ножевого типа, обладающего высокой измельчающе-перетирающе-смешивающей способностью;

- усреднения влаги в соево-мясокостной композиции посредством агрегата, содержащего смешивающе-усредняющий, дозирующее-уплотняющий и прессующе-гранулирующий узлы с обоснованием их конструктивно-режимных параметров;

- сушки гранул в сушилке камерного типа.

Получены зависимости, характеризующие пропускную способность агрегата и его мощность, а также производительность сушильной установки, с учетом исходной влажности гранул и их конечной крошимости;

4. Посредством эксперимента определены влажность анатомоморфологических тканей отходов переработки птицы, а также реологические характеристики полученного с помощью измельчителя гомогенизированного фарша на основе голов, шей и кишечника цыплят-бройлеров с установлением зависимости дисперсии по распределению влаги в фарше от числа отверстий в

решетке измельчителя.

Получены математические модели по обоснованию реологических характеристик соево-мясокостных композиций и конструктивно-режимных параметров по узлам модуля и сушилки в виде достоверных уравнений регрессии, на основе которых установлены их оптимальные значения:

- угловая скорость винта смесителя-усреднителя –  $\omega_e = 9,3 \text{ с}^{-1}$ ;
- угловая скорость винта гранулятора –  $\omega_e = 14,7 \text{ с}^{-1}$  при их соотношении равном 1,5 - 1,6;
- длина канала формующей матрицы –  $l_k = 14-15 \text{ мм}$ , при диаметре компрессионно-выравнивающей камеры, равном – 50 мм.

Экспериментом установлено, что крошимость гранул в пределах 3,0-5,0 % обеспечивается при  $W_h = 33-34\%$ ,  $t_{сушки} = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $M_d = 49-53 \text{ \%}$  с расхождением теоретических и экспериментальных данных в пределах  $\Delta = \pm 4,5 - 8,2 \text{ \%}$ ;

5. Производственной проверкой подтверждены результаты по обоснованию параметров технических средств для технологической линии приготовления высокобелковой кормовой добавки с.х. птице.

Установлено, что разработанные технология и технические средства линии позволяют получить гранулят с крошимостью гранул не более 5,0 % и влажностью 8-10%.

Разработана методика расчета линии по производству соево-мясокостного гранулята, в виде функционально сопряженных измельчителя, смесителя-усреднителя-гранулятора и сушильного устройства;

6. В результате сравнительной технико-экономической оценки эффективности предложенных технологических и технических решений установлено, что в сравнении с оборудованием серии ДГ-1,0 они позволяют снизить энергопотребление на 44,0 % и получить годовой экономический эффект по эксплуатационным затратам в размере 1 065 770,00 рублей, при годовом объеме 307 тонн кормовой добавки.

Годовой эффект, с учетом стоимости дополнительной продукции, составляет 1 098 770,00 рублей, при верхней лимитной цене предложенного комплекса оборудования, равной 1 695 632, 716 рублей.

## РЕКОМЕНДАЦИИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. При разработке и проектировании технологической линии приготовления кормовой добавки с.х. птице на основе соево-мясокостной композиции рациональным подходом является использование следующей совокупности последовательно установленных технических средств:

- измельчителя-мясорубки с четырёхступенчатым решетчато-ножевым аппаратом;
- смесителя-гранулятора с компрессионно-выравнивающей камерой;
- сушильной установки, выполненной по типу «ЭСПИС-4-Универсал» с параметрами, значения которых приведены в заключении работы.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Используя теоретический и экспериментальный материал, полученный на основе проведенных исследований можно разработать инновационные способы и технические средства по приготовлению гранулята на основе отходовых фракций, получаемых на переработке с/х сырья, животного и растительного происхождения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
2. Алешкин В.Р. Механизация животноводства / В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1993. - 319 с.
3. Антипова Л.В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л.В. Антипова, И.А. Глотова, И.А.Рогов. – М.: Колос, 2001. – 376 с.
4. Анисимов В.А. Повышение эффективности рабочего процесса приготовления костного фарша в звероводстве путем обоснования основных параметров и режимов работы пастоприготовителя конусного типа : дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук / В.А.Анисимов. – Пермь, 2004. – 196 с.
5. Барсов Н.А. Исследование режимов работы и оптимизации состава поточных технологических линий кормоцехов на зверофермах промышленного типа: автореф. дисс. канд. техн. наук / Н.А. Барсов. - С.-Петербург, 1979. - 24 с.
6. Безматерных А.А. Повышение эффективности обработки отходов убоя птицы путем совершенствования конструктивно-режимных параметров охладителя мясокостной муки : дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук / А.А. Безматерных. – Пермь, 2010. – 162 с.
7. Бушуев С.В. Обоснование технологии и параметров процесса получения соево-ламинариевой добавки для птицы / С.В. Бушуев, В.В. Самуйло, С.А. Иванов [и др.] // Международная научно-практическая конференция «Инженерно-техническое обеспечение регионального машиноиспользования и сельхозмашиностроения». – Благовещенск: ДальНИИМЭСХ, 2011. – С.208-214.
8. Вагин Б.И. Физико-механические свойства мясорыбных кормов / Б.И. Вагин, Ш.Н. Нуртаев, А.А. Филин // Зап. ЛСХИ. Механизация сельскохозяйственного производства. - Т. 149. - Вып. 2. - 1970. - С. 60 - 65.
9. Вараксин С.В. Научно-технические аспекты технологии приготовления сухих заменителей молочных кормов и гранулятов с использованием сои:

монография / С.В. Вараксин, С.М. Доценко, С.А. Иванов [и др.] – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2015. – 196 с.

10. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. - 199 с.

11. Волик В.Г. Отходы птицеводства для кормовых целей / В.Г. Волик // Птицеводство. - 2008. - № 4. - С.22 - 23.

12. Волик В.Г. Современный подход к переработке отходов птицеводства на кормовые цели / В.Г. Волик, Д.Ю. Исмаилова, С.В. Зиновьев, В.А. Петровичев // Птица и птицепереработка. - 2008. - № 6. - С. 23-24.

13. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Наука / Е.С. Вентцель. – М.: 1964. – 576 с.

14. Вишневский А.Н. Рекомендации по повышению эффективности приготовления кормовой добавки на основе соевого компонента / А.Н. Вишневский, С.Н. Воякин, С.М. Доценко. – Благовещенск : Изд-во ДальГАУ, 2014. – 64 с.

15. Вишневский А.Н. Обоснование параметров пресс-гранулятора для линии приготовления высокобелковой кормовой добавки для с/х птицы [Электрон. ресурс] / А.Н. Вишневский, С.М. Доценко, Л.А. Ковалева // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. -2024. - № 6. - Режим доступа: <http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/6/st630.pdf> DOI: <https://doi.org/10.51419/202146630.\>

16. Вишневский А.Н. Обоснование подходов и их реализация в рамках повышения эффективности функционирования технологии получения кормовых продуктов [Электрон. ресурс] / А.Н. Вишневский, С.М. Доценко, Л.Г. Крючкова // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. - 2024. - № 6. - Режим доступа: <http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/6/st633.pdf> DOI: <https://doi.org/10.51419/20214663J.\>

17. Воякин, С.Н. Технологические основы процессов и технических средств получения высокобелкового гранулята для птицы на основе сырья жи-

вотного и растительного происхождения: монография / С.Н. Воякин, А.Н. Вишневский и др. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2013. – 250 с.

18. Воякин С.Н. Обоснование параметров технических средств линии приготовления гранулята с использованием соевого компонента / С.Н. Воякин, А.Н. Вишневский [и др.] // Научное обозрение. – 2014. - № 3. – С. 135-138.

19. Воякин С.Н. Обоснование схемы и параметров процесса получения соево-мясокостных и соево-рыбокостных композиций / С.Н. Воякин, А.Н. Вишневский, В.А. Широков и др. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. - № 1. – С. 12 - 13.

20. Воякин С.Н. Обоснование процесса и параметров компрессионной камеры смесителя гранулятора кормов / С.Н. Воякин, А.Н. Вишневский. В.А. Широков и др. // Вестник КрасГАУ. – 2013. - № 12. – С. 208 – 213.

21. Воякин С.Н. Обоснование подходов к оценке эффективности процесса производства кормовой добавки / С.Н. Воякин, А.Н. Вишневский, В.А. Широков и др. // Кормопроизводство. - 2013. - № 11. – С. 33 – 35.

22. Воякин С.Н. Технология получения высокобелкового гранулята / С.Н. Воякин, А.Н. Вишневский // Материалы научн.-практ. конф. УГСХА. – Ульяновск, 2013. – с. 25 – 27.

23. Воякин С.Н. Обоснование параметров получения соево-мясных композиций / С.Н. Воякин, С.В. Бушуев, В.А. Широков, А.Н. Вишневский // Сборник научных трудов. – Благовещенск: ВНИИ сои, 2013. – С. 68 – 71.

24. Воякин С.Н. Обоснование эффективности процесса получения гранулированной кормовой добавки для с/х птицы / С.Н. Воякин, В.А. Широков, А.Н. Вишневский // Сборник научных трудов ДальГАУ. – Благовещенск, 2013. – С. 49 - 54.

25. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1972. – 368 с.

26. Горбатов А.В. Реология мясных и молочных продуктов / А.В. Горбатов. – М.: Пищевая промышленность. 1979. – 384 с.

27. Горбатов А.В. Структурно-механические характеристики пищевых

продуктов / А.В. Горбатов, А.В. Маслов, Ю.А. Мачихин [и др.]. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 296 с.

28. Горячkin В.П. Собрание сочинений / В.П. Горячkin. –М. : Колос, 1968. – Т. 1. - 719 с. – Т.2. – 455 с.

29. ГОСТ 12036-66. Семена сельскохозяйственных культур. Отбор образцов. – Сборник ГОСТ 12036-66, ГОСТ 12047-66. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения качества.

30. ГОСТ 20055-88. ГОСТ 24059-88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технической оценки. Общие положения.

31. ГОСТ 34393-2018 Техника сельскохозяйственная. Методика экономической оценки. – М., 2018. – 13 с.

32. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.

33. Доценко С.М. Рекомендации по разработке технологической линии и технических средств получения высокобелковых гранулированных кормосмесей для с.х. птицы / С.М. Доценко, С.П. Волков, Л.А. Ковалева. – Благовещенск, 2007. – 17 с.

34. Доценко С.М. Повышение эффективности подготовки соевого зерна к скармливанию с.х. животным / С.М. Доценко, В.В. Самуйло. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 1996. – 125 с.

35. Доценко С.М. Машины и аппараты влаготепловой обработки соевого зерна / С.М. Доценко, В.В. Самуйло. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 1996. – 113 с.

36. Доценко С.М. Технология производства белково-минеральной добавки на основе соевого сырья и морской капусты / С.М. Доценко, С.В. Бушуев и др. // Вестник КрасГАУ. – 2010. - № 8. – С. 143-146.

37. Доценко С.М. Механизация технологических процессов подготовки соевого зерна и продуктов его переработки к скармливанию животным / С.М. Доценко, В.В. Самуйло. - Благовещенск, 1995. – 445 с.

38. Доценко С.М. Технология и механизация переработки соевого зерна /

- С.М. Доценко, В.В. Самуило. – М.: НИИТЭИагропрм, 1996. – 509 с.
39. Доценко С.М. Производство крупы и муки из соевого зерна / С.М. Доценко, С.А. Иванов, В.А. Тильба // Зерновое хозяйство. - 2002. - № 7. - С. 8-9.
40. Драгайцев В.И. Методика экономической оценки технологий и машин в сельском хозяйстве / В.И. Драгайцев, Н.М. Морозов. – М.: Колос, 2010. – 145 с.
41. Дрейнер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейнер, Г. Смит. – М. : Финансы и статистика, 1987. – 349 с.
42. Жайлаубаев Д.Т. Интенсификация процессов сушки и измельчения при производстве мясокостной муки / Д.Т. Жайлаубаев, А.С. Гинзбург, О.С. Рахыжанов // Мясная - индустрия СССР. - 1982. - № 5. - С. 16-17.
43. Завалишин Ф.С. Методы исследования по механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, М.Г. Мацнев. – М.: Колос, 1982. - 231 с.
44. Заверюхин В.И. Производство и использование сои / В.И. Заверюхин, И.П. Левандовский. – М.: Урожай, 1988. – 120 с.
45. Завражнов А.И. Механизация приготовления и хранения кормов / А.И. Завражнов, Д.И. Николаев. – М.: Агропромиздат, 1990. - 335 с.
46. Зайцева, М.А. Рекомендации по разработке технологии и технологической линии получения водостойких гранулированных кормосмесей для рыб / М.А. Зайцева. Я. А. Ковалева. – Благовещенск, 2007. – 31 с.
47. Иванов, С.А. Совершенствование технологии и технических средств приготовления кормов для животноводства на основе соевого зерна: автореф. дисс. ... докт. техн. наук / С.А. Иванов. - Новосибирск, 2005. – 48 с.
48. Иванов К.А. Пути эффективного использования вторичного сырья на предприятиях мясной промышленности: обзор / К.А. Иванов, С.Е. Краснов. - М., ЦНИИТЭИ, 1970. - 21 с.
49. Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Часть I: Оборудование для убоя и первичной обработки /

В.И. Ивашов. - М.: Колос, 2001. – 552 с.

50. Кавецкий, Е.Д Процессы и аппараты пищевых производств / Е.Д. Кавецкий, А.В. Королев. – М.: Агропромиздат. 1991. – 560 с.

51. Калиновская О.Н. Водостойкие гранулированные комбикорма / О.П. Калиновская, И.Ш. Тюктяев, В.Я. Лысенко [и др.]. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 160 с.

52. Карпин В.Ю. Повышение эффективности работы технологической линии производства сухих животных кормов путем моделирования процесса работы линии и рабочих органов измельчителя костей сельскохозяйственных животных: дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук / В.Ю. Карпин. – СПб., 2001. –197 с.

53. Ковалева. Л.А. Обоснование технологических и конструктивно-режимных параметров смесителя-гранулятора / Л.А. Ковалева // Сб. научн. тр. РАСХН, Дальневост. науч.-метод. центр ВНИИ сои. – Благовещенск, 2007. – С. 181–190.

54. Ковалева Л.А. Рекомендации по разработке технологической линии и технических средств получения высокобелковых гранулированных кормовых смесей для с-х птицы / Л.А. Ковалева, С.П. Волков, М.А. Зайцева // Типография УВД по Амурской области, 2007. – 30 с.

55. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Агропромиздат, 1982. - 211 с.

56. Краснов Д.А. Теоретические основы и расчетные формулы для определения веса проб / Д.А. Краснов. – М.: Недра, 1969. – 124 с.

57. Кретов И.Т. Технологическое оборудование предприятий пищеконцентратной промышленности / И.Т. Кретов, А.Н. Остриков, В.М. Кравченко. – Воронеж, 1990. – 448 с.

58. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.

59. Кукта Г.М. Методика определения неравномерности смешивания кормов / Г.М. Кукта // Механизация и электрификация сельского хозяйства. -

1985. – № 1. – С. 44-46.

60. Кукта Г.М. Технология переработки и приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Колос, 1978. – 240 с.
61. Макаров В.А. Теоретические основы процесса получения гранулированных бинарных композиций в системе приготовления кормовой добавки / В.А. Макаров, В.А. Широков, П.Н. Школьников и др. // Научное обозрение. – 2014 . - № 8. – С. 861 – 870.
62. Макаров В.А. Кинетика усреднения влаги в соево-сапропелевых композициях при кондиционировании смеси / В.А. Макаров [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2017. - № 1. [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st\\_205.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_205.doc).
63. Мартыненко Я.Ф. Промышленное производство комбикормов / Я.Ф. Мартыненко. – М.: Колос. 1975. -- 216 с.
64. Машины и оборудование для приготовления кормов: справочник: в 2 ч. / И.В. Кулаковский [и др.]. – М.: Росагропромиздат, 1988. – Ч. 1 и 2.
65. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С. В. Мельников – Л.: Колос. 1978. -- 560 с.
66. Мельников. С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников. В.Р. Алешкин. – Л.: Колос. 1972. – 182 с.
67. Метод оценки качества смещивания кормов / С.М. Доценко [и др.] / Сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск. 1997. – С. 45-52.
68. Методические рекомендации по определению общего экономического эффекта от использования результатов НИР и ОКР в АПК. – М.: РАСХН. 2007. – 31 с.
69. Механизация животноводства и кормопроизводства на малой ферме / под ред. Л.П. Кармановского. – М.: Агропромиздат, 1989. – 207 с.
70. Механизация и автоматизация животноводства: учебник / В.В. Кирсанов [и др.]. – М. ИНФРА-М, 2004. – 400 с.
71. Механизация и технология животноводства: учебник для вузов / В.В. Кирсанов, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич [и др.]. - М.: КолоСС, 2007. –

581 с.

72. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба [и др.] – М.: Колос, 2000. – 528 с.
73. Миончинский П.Н. Производство комбикормов / П.Н. Миончинский, Л.С. Кожарова. – М.: ВО «Агропромиздат». 1991. – 287 с.
74. Модич М. Потребность птицы в питательных веществах / М. Модич. – Вашингтон, 1994. – 240 с.
75. Монари С. Справочник по использованию необезжиренной сои в кормлении животных, птиц и рыбы / С. Монари. – Вашингтон: Американская соевая ассоциация, 1994. – 44 с.
76. Монари С. Справочник по использованию в кормлении животных необезжиренных соевых бобов. Американская соевая ассоциация / С. Монари. – Вашингтон, 1994. – 64 с.
77. Налимов В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.
78. Орлова И.В. Экономико-математические методы и модели: компьютерное моделирование / И.В. Орлова, В.А. Полковников. – М.: Вузовский учебник, 2009. – 365 с.
79. Оценка качества смещивания кормов / А.В. Бурмага [и др.]. - М.: БД НИИТЭИагропрома, 1996. - № 91/10. - 6 с.
80. Оценка процесса смещивания кормов / Г.М. Кукта [и др.] // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. – №2. – С. 48-51.
81. Патент РФ № 2563676 Способ приготовления белково-углеводно-минерального кормового продукта / авторы Широков В.А., Вишневский А.Н. и др. Опубл. в БИ № 26 от 20.09.2015.
82. Патент РФ № 2563677 Способ приготовления белково-минерально-витаминного кормового продукта / авторы Широков В.А., Вишневский А.Н. и др. Опубл. в БИ № 26 от 20.09.2015.
83. Патент РФ № 2563673 Способ приготовления белково-витаминно-

минерального кормового продукта / авторы Широков В.А., Вишневский А.Н. и др. Опубл. в БИ № 26 от 20.09.2015.

84. Патент РФ № 2555581 Способ приготовления гранулированного кормового продукта / авторы Школьников П.Н., Вишневский А.Н. и др. Опубл. в БИ № 19 от 10.07.2015.

85. Патент РФ № 2555578 Способ приготовления гранулированного кормового продукта / авторы Школьников П.Н., Вишневский А.Н. и др. Опубл. в БИ № 19 от 10.07.2015.

86. Патент РФ № 2621354 Способ приготовления гранулированного корма / авторы Доценко С.М., Гончарук А.И. и др. Опубл. в БИ от 02.06.2017.

87. Патент РФ № РФ № 2794564 Пресс Доценко С.М., Кузьмин И.Н. и др. Опубл. в БИ № 12 от 21.04.2023

88. Патент РФ № 2634004 Способ приготовления белково-витаминных продуктов функциональной направленности / авторы Доценко С.М., Иванин А.Г. и др. Опубл. в БИ от 23.10.2017.

89. Патент РФ № 2803521 Пастоизготовитель-гранулятор / авторы Школьников П.Н., Школьникова М.А. и др. Опубл. в БИ № 26 от 15.09.2023.

90. Патент РФ № 2652387 Способ приготовления белково-витаминного гранулированного продукта / авторы Доценко С.М., Винокуров С.А. и др. Опубл. в БИ от 26.04.2018.

91. Патент РФ № 2663610 Способ приготовления гранулированного концентрата / авторы Доценко С.М., Винокуров С.А. и др. Опубл. в БИ от 07.08.2018.

92. Патент РФ № 2690637 Пресс-гранулятор / авторы Доценко С.М., Винокуров С.А. и др. Опубл. в БИ № 16 от 04.06.2019.

93. Патент РФ № 2685943 Прессующее устройство / авторы Доценко С.М., Винокуров С.А. и др. Опубл. в БИ № 12 от 23.04.2019.

94. Патент РФ № 2727270 Способ приготовления каротино-кальциевой добавки / авторы Доценко С.М., Крючкова Л.Г. и др. Опубл. в БИ от 21.07.2020.

95. Патент РФ № 2821542 Способ приготовления белково-витаминной

кормовой добавки / авторы Школьников П.Н., Вишневский А.Н. и др. Опубл. в БИ № 18 от 20.06.2025.

96. Патент РФ № 2729216 Способ приготовления белково-концентратной добавки / авторы Доценко С.М., Крючкова Л.Г. Опубл. в БИ от 05.08.2020.

97. Патент РФ № 2729393 Способ приготовления белково-витаминного концентрата / авторы Доценко С.М., Крючкова Л.Г. Опубл. в БИ от 06.08.2020.

98. Патент РФ № 2830003 Пастоизготовитель-гранулятор / авторы Школьников П.Н., Вишневский А.Н. и др. Опубл. в БИ № 32 от 11.11.2024.

99. Патент РФ № 2831153 Способ получения кормовой добавки / авторы Школьников П.Н., Вишневский А.Н. и др. Опубл. в БИ № 34 от 02.12.2024.

100. Патент РФ № 2831721 Способ приготовления кормовой добавки / авторы Школьников П.Н., Вишневский А.Н. и др. Опубл. в БИ № 35 от 12.12.2024.

101. Патент РФ № 2118105 Шнековый-пресс-гранулятор / авторы Якименко А.В. и др. Опубл. в БИ № 24 от 27.08.1998.

102. Патент РФ № 2486759 Способ приготовления белково-минерального кормового продукта / авторы Доценко С.М., Воякин С.Н. Опубл. в БИ № 19 от 10.07.2013.

103. Патент РФ № 2514309 Способ приготовления белково-витаминного кормового продукта / авторы Доценко С.М., Воякин С.Н. Опубл. в БИ № 12 от 27.04.2014.

104. Патент РФ № 2530510 Способ приготовления кормового белково-витаминно-минерального продукта / авторы Доценко С.М., Воякин С.Н. Опубл. в БИ № 12 от 27.10.2014.

105. Патент РФ № 2535945 Способ приготовления белково-минерального кормового продукта / авторы Доценко С.М., Воякин С.Н. Опубл. в БИ № 35 от 20.12.2014.

106. Патент РФ № 2604937 Способ приготовления белкового кормового продукта / авторы Доценко С.М., Воякин С.Н., Вишневский А.Н., Вараксин С.В. Опубл. в БИ № 35 от 20.12.2016.

107. Патент РФ № 2607103. Способ приготовления белкового кормового продукта на основе соево-мясных композиций / авторы Доценко С.М., Воякин С.Н., Вишневский А.Н., Вараксин С.В. Опубл. в БИ № 1 от 10.01.2017.

108. Патент РФ № 2740651 Шнековый пресс-гранулятор / авторы Школьникова М.А., Ковалева Л.А., Кузьмин И.Н. и др. Опубл. в Б.И. № 2 от 19.01.2021.

109. Патент РФ № 2740649 Пресс-гранулятор / авторы Школьникова М.А., Ковалева Л.А., Кузьмин И.Н. и др. Опубл. в Б.И. № 2 от 19.01.2021.

110. Патент РФ № 2781714 Шнековый пресс / авторы Школьникова М.А., Кузьмин И.Н. и др. Опубл. в Б.И. № 29 от 17.10.2022.

111. Патент РФ № 2781705 Шнековый пресс-гранулятор-брикетировщик / авторы Школьникова М.А., Кузьмин И.Н. и др. Опубл. в Б.И. № 29 от 17.10.2022.

112. Петибская В.С. Соя. Качество, использование, производство / В.С. Петибская, В.Ф. Баранов, А.В. Кочегура, С.В. Зеленцов. – М.: 2001. – 60 с.

113. Подобед Л.И. Эффективность некоторых способов подготовки зерна сои к скармливанию / Л.И. Подобед // Кормление сельскохозяйственных животных. – 1985. – № 5. – 19 с.

114. Постановление правительства РФ от 23 января 2003 года № 48 «О мерах по защите российского птицеводства» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.businesspravo.ru>

115. Потребность птицы в питательных веществах. Пер. с английского И.В. Щенниковой, О.В. Лищенко. – М.: Колос, 2000. – 255 с.

116. Производство кормов в Сибири и на Дальнем Востоке. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 240 с.

117. Резник Е.И. Малым фермам – совершенную кормоприготовительную технику / Е.И. Резник // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1986. – № 8.

118. Рюмкина Е.В. Перспективы использования семенной оболочки сои в производстве биологически активной добавки / Е.В. Рюмкина, А.П. Васюкова //

В кн. Материалы III Международной ПИК «Безопасность и качество товаров». – Саратов. 2009. – С. 85-86.

119. Смирнов В.И. Курс высшей математики / В.И. Смирнов. – Т. III. – М.: Наука, 1985. –303 с.

120. Совершенствование технологий и технических средств приготовления кормов в животноводстве. Сб. науч. трудов, ВПИИТЭИСХ. Зеленоград, 1988. – 220 с.

121. Способы обработки соевых бобов непосредственно в хозяйствах // Рекомендации Северно-Кавказского ПИИ животноводства, 1988. – 32 с.

122. Справочник. Комбикорма, кормовые добавки и ЗЦМ / под ред. Крохиной В.А. – М.,1990. – 304 с.

123. Стабников В.Н. Процессы и аппараты пищевых производств / В.Н. Стабников, В.Н. Баранцев. – М.: 1974. – 359 с.

124. Сыроватка В.И. Машины технологии приготовления комбикормов в хозяйствах: монография / В.И. Сыроватка; ГНУ ВНИИМЖ. – М.: ГНУ ВНИИМЖ, 2010. – 247 с.

125. Сыроватка В.И. Механизация приготовления кормов / В.И. Сыроватка, А.В. Демин, А.Х. Джалилов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 287 с.

126. Технологические линии и оборудование для приготовления кормов в хозяйствах. – М.: Информагротех, 1992. – 52 с.

127. Тихонов Ю.Т. Об эффективности производства сухих и мясорыбных кормов / Ю.Т. Тихонов // Кролиководство и звероводство. – 1975. – № 4. – С. 17-18.

128. Тихонов Е.А. Повышение энергетической эффективности процессов переработки кости убойных животных за счет оптимизации последовательности технологических операций и методов обработки сырья : дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук / Е.А. Тихонов. – СПб, 2006. – 170 с.

129. Толстогузов Б.Г. Новые формы белковой пищи / Б.Г. Толстогузов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.

130. Технологическое оборудование предприятий пищеконцентратной

промышленности / под ред. И.Т. Кретова. – Воронеж, 1996. – 448 с.

131. Уланов И.А. Исследование технологического процесса приготовления смесей из грубых и сочных кормов: автореф. дис. канд. техн. наук / И.А. Уланов. – Саратов, 1965. – 26 с.

132. Федоренко И.Я. Проектирование технических устройств и систем: принципы, методы, процедуры / И.Я. Федоренко. – Барнаул: АГ АУ, 2003.

133. Федоренко И.Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов / И.Я. Федоренко. – М.: ФОРУМ, 2007. – 176 с.

134. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М.: Наука, 1967. – 595 с.

135. Фицев А.И. Современные тенденции в оценке и нормировании протеина: Обзорная информация / А.И. Фицев, Ф.В. Воронкова // ВНИИТЭИСХ. – М.: 1986. – 55 с.

136. Цытович Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1973. – 280 с.

137. Чабб Л. Антипитательные факторы в кормлении животных / Л. Чабб // Новейшие достижения в исследовании питания животных. – 1985. – Вып. 4. – С. 27-48.

138. Чайка И. Технологические способы повышения содержания белка в кормах / И. Чайка // Производство и использование растительного белка. – Краснодар, 1984. – 295 с.

139. Широков В.Л. Научно-технические аспекты повышения эффективности приготовления комбикормов-концентратов на основе соево-зерновых смесей : монография / В.А. Широков, С.А. Иванов, А.Н. Вишневский [и др.] – Благовещенск: Изд-во ДальГаУ, 2013. – 245 с.

140. Школьников П.Н. Повышение эффективности приготовления белко-во-углеводной кормовой добавки путем использования соевого зерна [Электрон. ресурс] / П.Н. Школьников, П.И. Дробыш, А.Н. Вишневский, М.А. Школьникова А.А. Самвелян // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. - 2024. - № 6. - Режим доступа:

<http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/6/st602.pdf>.

DOI:

<https://doi.org/10.51419/202146602>.

141. Школьников П.Н. Повышение эффективности приготовления кормовой добавки путем использования мясокостного вторичного сырья [Электрон, ресурс] / П.Н. Школьников, П.И. Дробыш, А.Н. Вишневский, М.А. Школьникова А.А. Самвелян // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. - 2024. - № 6. - Режим доступа: <http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/6/st603.pdf> DOI: <https://doi.org/10.51419/202146603>.

142. Школьников П.Н. Кинетика усреднения влаги в приложении к обоснованию пропускной способности смесителя-усреднителя / П.Н. Школьников, С.Н. Воякин, С.М. Доценко // АгроЭкоИнфо. – 2017. – №4. – URL:[http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/4/st\\_420.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/4/st_420.doc)

143. Школьникова М.А. Обоснование технологических подходов к повышению эффективности системы приготовления кормовых продуктов / М.А. Школьникова, Л.А. Ковалева, С.М. Доценко и др. // АгроЭкоИнфо. – 2022. – №2. – URL:[http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st\\_238.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_238.pdf).

144. Школьникова М.А. Обоснование технологических подходов к получению качественных гранулятов на основе бинарных композиций / М.А. Школьникова, Л.А. Ковалева, С.М. Доценко [и др.] // АгроЭкоИнфо. — 2022. – №2. – URL:[http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st\\_237.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_237.pdf).

145. Якименко А.В. Производство витаминно-травяной муки без активной сушки сырья / А.В. Якименко // Механизация и электрификация работ в животноводстве: сб. научн. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 1994. – С. 10-12.

146. Якименко А.В. Установка для производства гранул / А.В. Якименко // Механизация и электрификация работ сельскохозяйственном производстве: сб. научн. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 1995. – С. 38–40.

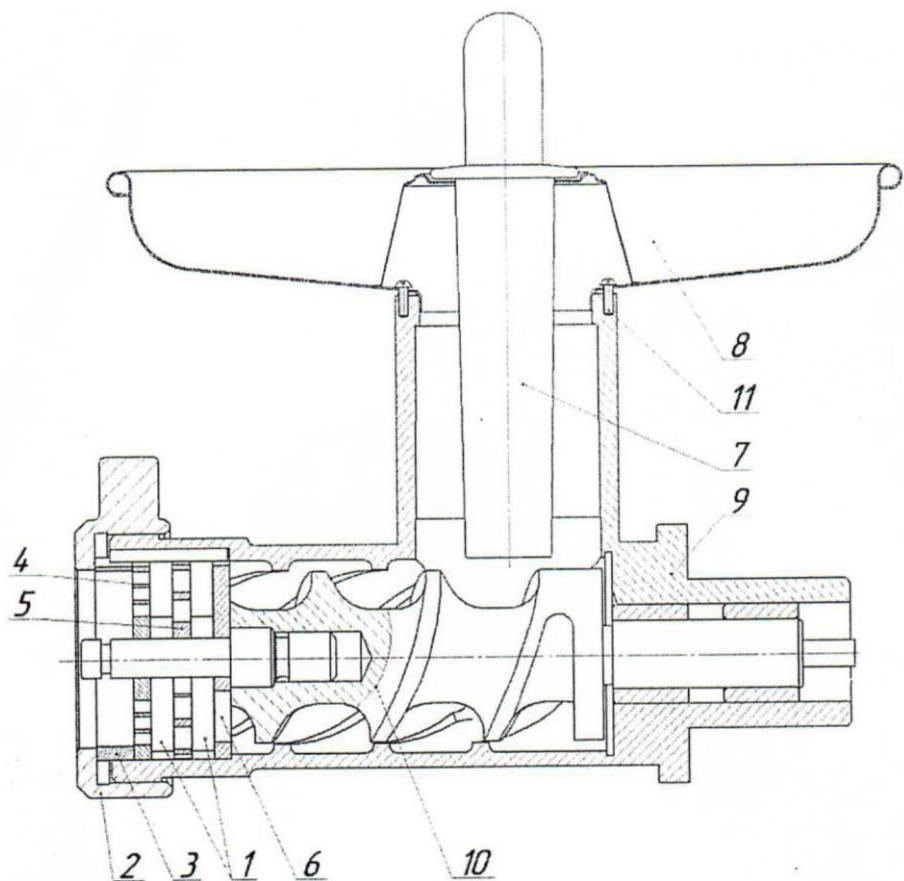
147. Якименко А.В. Математические модели процесса прессования кормовых смесей и их анализ / А.В. Якименко, С.М. Доценко, Ю.Б. Курков // Механизация технологических процессов в животноводстве. – Благовещенск: НТП «Технология», 1997. – С. 109-113.

148. Якименко А.В. Совершенствование технологического процесса прессования кормовых смесей и обоснование параметров пресс-брикетировщика: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / А.В. Якименко. – Благовещенск, 1997. – 24 с.
149. 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 digesta. - *J. Anim. Sci.*, 1971, v. 51, № 2, p. 377-388.
150. Peruelle J.L. e. a. Utilisation des protéines par le veau préruminant à l'engrais. Utilisation digestive des protéines de soja et des levures d'alkanes incorporées dans les aliments d'allaitement. - "Inst. alim. anim.", 1973, № 3, p. 21, 23, 25, 27, 31, 34, 35.
151. Volkani R. e. a. Soy-enriched whey as milk replacer for pail-fed calves. - *Feedstuff*, 1974, v. 46, № 17, p. 37-38, 52.
152. Arscott, G.H. (1975) Effect of soybean meal, extruded soybeans and ground raw soybeans on the performance of W.L. hens. Oregon State University Special Report No. 448. Or., USA.
153. Colborn Dawes Ltd. (1983) Frontiers in Nutrition No. 4 - Quality control of fullfat soybeans in broiler chicken e Haythornthwaite, A. (1984) The dry extrusion process. In «Proceedings of the Animal Feed Symposium», 1984, Odense, Denmark.
154. Holmes, B. (1987) Quality control of the raw material and end products in processing fullfat soybeans. In «Proceedings of the Regional Conference on Fullfat Soybeans», Milan, Italy, 1987.
155. Horani, F. G. (1982) Does micronized fullfat soybeans have higher content than is presently recognized Central Soya Company, Research Test (unpublished data).
156. Horani, F.G. (1987) Use of fullfat soybeans in poultry feeds. In «Proceedings of the Regional Conference on Fullfat Soybeans», Milan, Italy, 1987.
157. Institute for Research on Animals and Crops (1983) Effects of progressive substitutions of soybean oil meal plus tallow with fullfat soybeans on broiler performances. *Feed International*, February 1984, 26.

158. Janssen, W.M.M.A. (1979) A concept for a European Table of Energy Values for Poultry. In «Proceedings of the II European Symposium on Poultry Nutrition», Pukoc, Wageningen, Netherlands.
159. Latshaw, J.D. (1974) Soybean processing and its effect on the laying hen. *Poultry Science*, 53, 1342-1347.
160. Legoy, M. (1985) La graine de soja extrudée par extrusion à sec dans I {-b Γ alimentation des volailles et des vaches laiteres. In «Proceedings of Onidol-Cis Symposium», 111 Congrès sur le soja, Paris, France, 1985.
161. Fepley, K.C. (1984) Fullfat soybean meal in poultry and livestock feeds. Publication of the American Soybean Association. St Louis, Mo., USA.
162. FcNab, J. (1985) Determination of the nutritional value of processed fullfat soybeans for poultry. In «Proceedings of Onidol-Cis Symposium», 111 Congrès sur le soja, Paris, France, 1985. Mpran, E.T., Somers, J. & Larmond, E. (1973).
163. Fullfat soybeans for growing and finishing turkeys. 1. Live performance and carcass quality. *Poultry Science*, 52, 1936-1941.
164. Oqundipe, S.O. & Adams, A.W. (1974) Practical raw soybean for egg type pullets. *Poultry Science*, 53, 2095-2101.
165. Papadopoulos, G. (1978) Fullfat soybeans in broiler diets. Publication -of the American Soybean Association, Brussels, Belgium.
166. Paradis, P.L., Harper, J.A., Nakaue, H.S. & Arscott, G.H. (1977 a) The feeding value of Pacific North West grown soybeans for market turkeys. Oregon State University Special Report, 497.
167. Paradis, P.L., Harper, J.A., Nakaue, H.S. & Arscott, G.H. (1977) The feeding value of Pacific North West grown soybeans for replacement laying hens, Oregon State University Special Report, 493.
168. Paradis, P.L., Harper, J.A., Nakaue, H.S. & Arscott, G.H. (1978) The feeding value of Pacific North West grown soybeans for broilers. Oregon State University Special Report, 511.
169. Porter, P. J. & Britton, W.M. (1974) Fatty acid composition of chicks fed fullfat soybeans. *Poultry Science*, 53, 1137-1141.

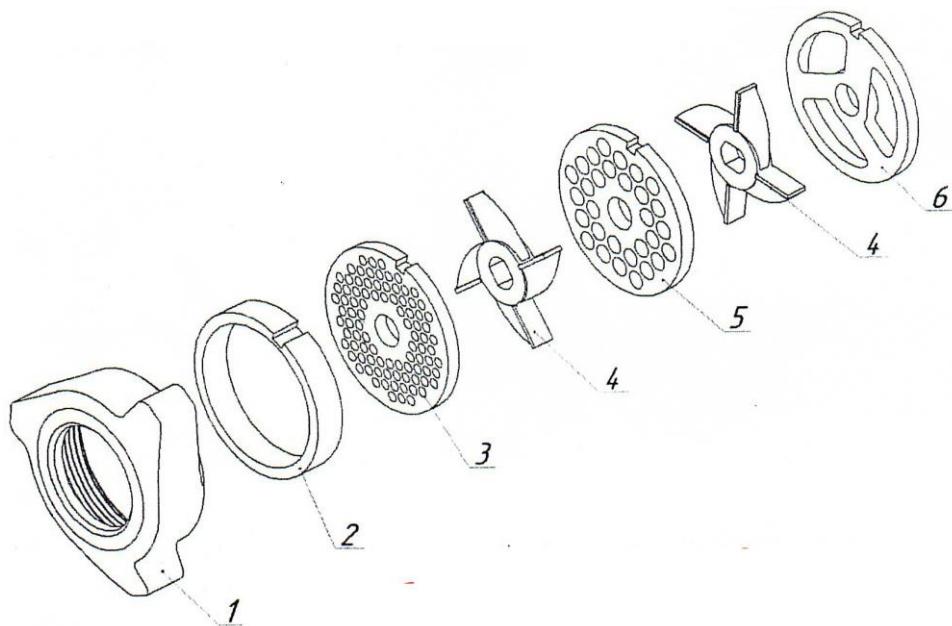
170. Sell, J.L. (1984) Use of extruded whole soybeans in turkey diets. Iowa State University Poultry Newsletter, January 1984, 3-5.
171. Smith, K.J. (1977) Soybean meal usage in poultry diets. Joint Middle East Seminars on Poultry Nutrition, 1977.
172. Turner, C. A., Kienholz, E.W., Harper, J.M. & Raghavan, V. (1973). Roasted soybeans in growing and finishing diets for turkeys. *Feedstuffs*, Jan 8, pp. 30-31.
173. Thomason, D. M. (1986) Whole (fullfat) soybean use in broiler diets. Technical Report of the American Soybean Association, St Louis. Mo., USA.
174. Vest, L. & Duvall, J. (1985) The evaluation of whole soybeans process by three different methods on broiler performance. Special Report 292, Strain-Cagles Poultry, Inc., Dalton, Ga., USA.
175. Waibel, P. E., Addis, P. B., Allen, C E. & Berg, R. W. (1973) Heat processed soybeans for turkeys, Minnesota Turkey Research Report No. Mo., USA.
176. Waldroup, P.W. (1985) Whole soybeans for poultry feeds. *Worlds Poultry Science Journal*, 37, 28-35.
177. Waldroup, P.W. & Cotton, T.L. (1974) Maximum usage levels of cooked fullfat soybeans in all-mash broiler diets. *Poultry Science*, 53, 677-680
178. Waldroup, P.W. & Hazen, K.R. (1978) An evaluation of roasted, extruded and raw unextracted soybeans in the diets of laying hens. *Nitrition Reports International*, 18, 99-103.
179. Vhite, C.L., Greene, D.E., Waldroup, P.W. & Stephenson, D. L. (1967). The use of unextracted soybeans for chicks. 1. Comparison of infra-red cooked, autoclaved and extruded soybeans. *Poultry Science*, 46, 1180-1185.
180. Wiseman, J. (1987) The nutritive value of full fat soybeans, fats and oils in diets for meat poultry. Publication of American Soybean Association, Madrid, Spain, 1987.
181. Wiseman, J. (1983) Utilization of fullfat soybeans and soybean oil meal in diets for livestock. Conference on Soy Protein Utilization, Madrid, Spain, 1983.

## ПРИЛОЖЕНИЯ



1 – нож двухсторонний, 2 – гайка нажимная, 3 – кольцо упорное,  
 4 и 5 – решётки ножевые, 6 – решётка подрезная, 7 – толкатель, 8 – тарелка,  
 9 – корпус, 10 – шнек; 11 – винт

Рисунок 1П – Общий вид мясорубки



1 – гайка нажимная, 2 – кольцо упорное,  
3 – решетка ножевая с  $\varnothing$  отв. 3 или 5 мм, 4 – нож двусторонний,  
5 – решетка ножевая с  $\varnothing$  отв. 9 мм, 6 – решетка подрезная

Рисунок 2П – Общий вид деталей режущего механизма (четырехступенчатого)

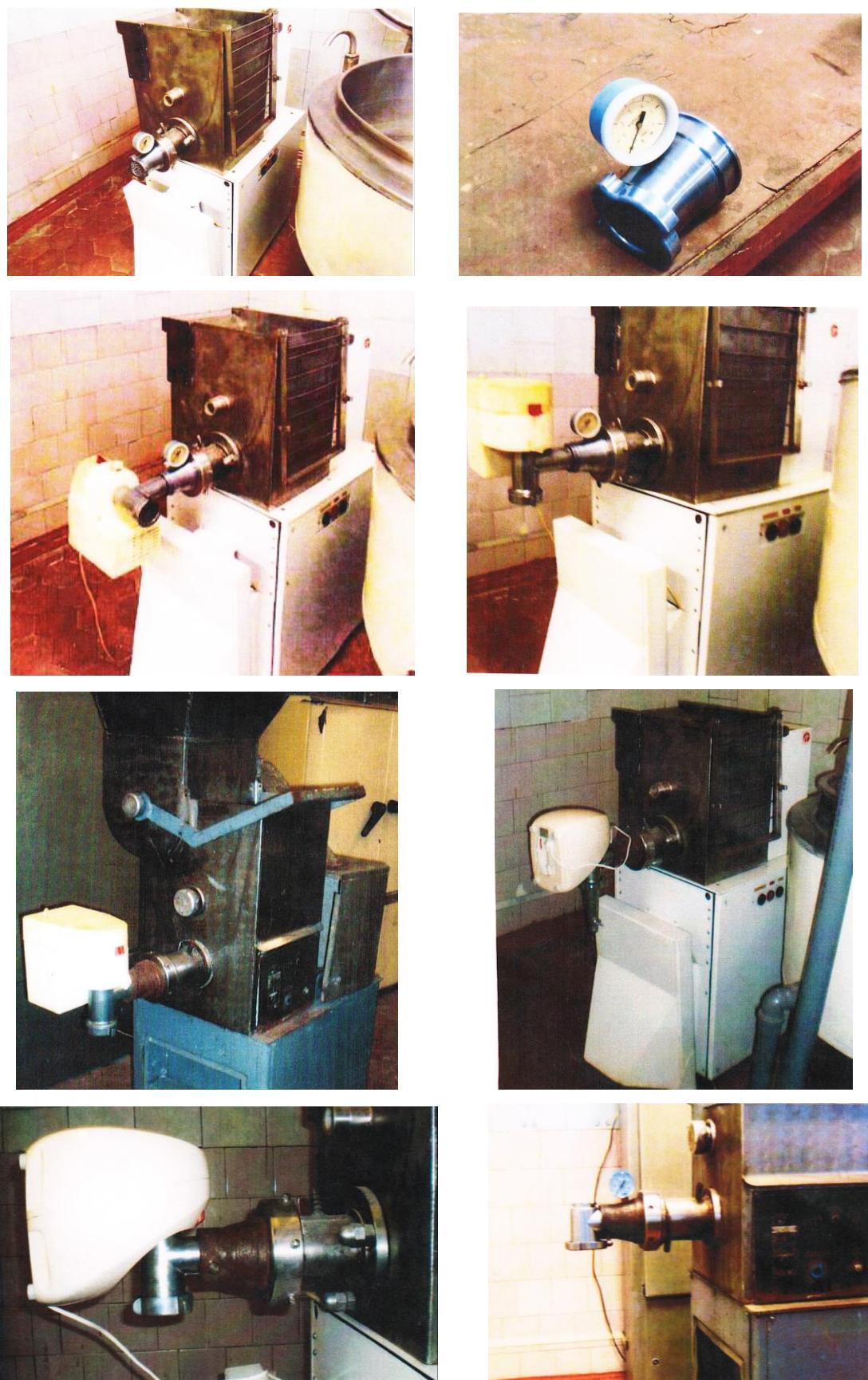


Рисунок 3П – К обоснованию величины давления в  
компрессионно-выравнивающей камере смесителя-гранулятора



Рисунок 4П – Общий вид используемого в опытах сырья и компонентов



а)



б)

Рисунок 5П – общий вид мясокостного фарша – а)  
и соево-мясокостной композиции – б)



a)



б)

Рисунок 6П – Общий вид лабораторной сушилки – а)  
и готовых гранул – б)

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

на изобретение

№ 2607103

## Способ приготовления белкового кормового продукта на основе соево-мясных композиций

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (RU)**

Авторы: **Доценко Сергей Михайлович (RU), Воякин Сергей Николаевич (RU), Вишневский Александр Николаевич (RU), Вараксин Сергей Викторович (RU)**

Заявка № 2015121015

Приоритет изобретения 02 июня 2015 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 10 января 2017 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 02 июня 2035 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



# НАТЕНТ

## НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2604937

# СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕЛКОВОГО КОРМОВОГО ПРОДУКТА

Патентообладатель(ли): **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ (РУ)**

Автор(ы): см. на обороте

Заявка № 2015121013

Приоритет изобретения 02 июня 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре  
изобретений Российской Федерации **23 ноября 2016 г.**

Срок действия патента истекает **02 июня 2035 г.**

## Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ГП Ильин



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2555578

СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО  
КОРМОВОГО ПРОДУКТА

Патентообладатель(ли): **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (РУ)**

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014115563

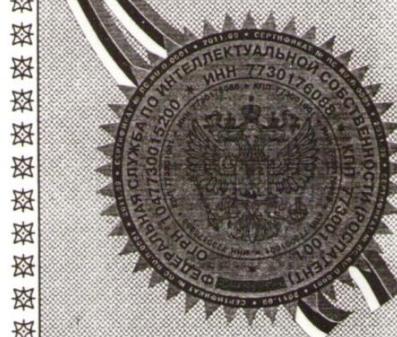
Приоритет изобретения 17 апреля 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре  
изобретений Российской Федерации 08 июня 2015 г.

Срок действия патента истекает 17 апреля 2034 г.

*Врио руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

Л.Л. Кирин



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2563673

## СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕЛКОВО-ВИТАМИННО-МИНЕРАЛЬНОГО КОРМОВОГО ПРОДУКТА

Патентообладатель(ли): **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (RU)**

Автор(ы): см. на обороте

Заявка № 2014113258

Приоритет изобретения 04 апреля 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 26 августа 2015 г.

Срок действия патента истекает 04 апреля 2034 г.

Заместитель руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

на изобретение

№ 2563676

### СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕЛКОВО-УГЛЕВОДНО-МИНЕРАЛЬНОГО КОРМОВОГО ПРОДУКТА

Патентообладатель(ли): **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (RU)**

Автор(ы): см. на обороте

Заявка № 2014112840

Приоритет изобретения 02 апреля 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 26 августа 2015 г.

Срок действия патента истекает 02 апреля 2034 г.

Заместитель руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2563677

## СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕЛКОВО-МИНЕРАЛЬНО-ВИТАМИННОГО КОРМОВОГО ПРОДУКТА

Патентообладатель(ли): **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (RU)**

Автор(ы): см. на обороте

Заявка № 2014112854

Приоритет изобретения 02 апреля 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 26 августа 2015 г.

Срок действия патента истекает 02 апреля 2034 г.

Заместитель руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2831153

## СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)*

Авторы: *Школьников Павел Николаевич (RU), Самвелян Артур Арменович (RU), Школьникова Мария Александровна (RU), Дробыш Павел Иосифович (RU), Вишневский Александр Николаевич (RU)*

Заявка № 2024116153

Приоритет изобретения 13 июня 2024 г.

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 02 декабря 2024 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 13 июня 2044 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

документ подписан электронной подписью  
Сертификат 0692e7c1ab300bf54f240f670bca2026  
Владелец Зубов Юрий Сергеевич

Ю.С. Зубов

Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025



# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

на изобретение

№ 2831721

### СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ

Патентообладатель: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)**

Авторы: **Школьников Павел Николаевич (RU), Самвелян Артур Арменович (RU), Школьникова Мария Александровна (RU), Дробыш Павел Иосифович (RU), Вишневский Александр Николаевич (RU)**

Заявка № 2024116154

Приоритет изобретения 13 июня 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 12 декабря 2024 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 13 июня 2044 г.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат 0692e7cda6300bf54f240f670bca2026

Владелец Зубов Юрий Сергеевич

Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

на изобретение

№ 2830003

## ПАСТОИЗГОТОВИТЕЛЬ-ГРАНУЛЯТОР

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)*

Авторы: *Школьников Павел Николаевич (RU), Самвелян Артур Арменович (RU), Школьникова Мария Александровна (RU), Дробыш Павел Иосифович (RU), Вишневский Александр Николаевич (RU)*

Заявка № 2024109441

Приоритет изобретения 09 апреля 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 11 ноября 2024 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 09 апреля 2044 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат 0692e7c1a6300bf54f240f670bca2026  
Владелец Зубов Юрий Сергеевич

Ю.С. Зубов

Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025



# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

на изобретение

№ 2836882

### ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ-ПАСТОИЗГОТОВИТЕЛЬ

Патентообладатель: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)**

Авторы: **Школьников Павел Николаевич (RU), Самвелян Артур Арменович (RU), Школьникова Мария Александровна (RU), Дробыш Павел Иосифович (RU), Вишневский Александр Николаевич (RU)**

Заявка № 2024134801

Приоритет изобретения **21 ноября 2024 г.**

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации **24 марта 2025 г.**  
Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает **21 ноября 2044 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

документ подписан электронной подписью  
Сертификат 0692e/c1ab300615412401670bca2026  
Владелец Зубов Юрий Сергеевич  
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2836884

## ПАСТОИЗГОТОВИТЕЛЬ-ГРАНУЛЯТОР

Патентообладатель: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)**

Авторы: **Школьников Павел Николаевич (RU), Школьникова Мария Александровна (RU), Дробыш Павел Иосифович (RU), Вишневский Александр Николаевич (RU)**

Заявка № 2024134923

Приоритет изобретения 22 ноября 2024 г.

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 24 марта 2025 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 22 ноября 2044 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат 0692e7c1a63000f5472401670bca2026  
Владелец Зубов Юрий Сергеевич  
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
(ФАНО России)

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Дальневосточный научно-исследовательский институт  
механизации и электрификации сельского хозяйства»  
(ФГБНУ ДальНИИМЭСХ)

675027, Амурская область,  
г. Благовещенск, ул. Василенко, 5  
Тел./факс 8(4162) 36-94-91, 36-94-93  
E-mail: [dalniiimesh@gmail.com](mailto:dalniiimesh@gmail.com)

№ 14/8 от 10.02 2014 г.

### ОТЗЫВ

на рекомендации Воякин, С.Н. С.М. Доценко, А.Н. Вишневский.

**Рекомендации по повышению эффективности приготовления кормовой добавки на основе соевого компонента. – Благовещенск, 2014.**

Публикация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 62 страницах, содержит 13 таблиц, 16 рисунков. Список литературы включает 11 источников.

Проблема повышения протеиновой питательности кормов была и остается одной из актуальнейших в решении задачи наращивания объемов производства и улучшения качества продукции животноводства. Особого внимания требует оптимизация кормления птицы и свиней, наиболее отзывчивых на аминокислотный состав кормовых белков. Соевое зерно, основным производителем которого в России является Дальневосточный федеральный округ, как и отходы от переработки птицы и рыбы, хвоя и морепродукты пока недостаточно используются в региональном кормопроизводстве. Сложившаяся ситуация обусловлена отсутствием специальной техники и технологий, а также научно обоснованных данных для их проектирования и конструирования. Однако, как показывают многолетние исследования, использование данного сырья в различных его сочетаниях дает существенный зоотехнический и экономический эффекты.

Данные, полученные в результате многочисленных исследований авторов, обосновывают возможность и целесообразность приготовления кормовой добавки на основе соевого компонента, а также сырья животного и растительного происхождения. Рекомендации используются при расчетах и проектировании, техноло-

гических линий по производству высокобелковых, белково-минеральных и белково-витаминных кормовых добавок в гранулированной форме. При этом необходимо учитывать факторы, оказывающие влияние на эффективность процесса получения гранулированных кормовых смесей, содержащих соевый компонент, использовать экономические и технологические подходы в виде разработанной экономико-математической модели оценки процесса получения кормовой добавки.

Установленные авторами аналитические зависимости и полученные выражения для расчёта производительности, энергоемкости и конструктивно-режимных параметров оборудования позволяют на стадии проектирования технологических линий обоснованно выбрать его соответствующие параметры.

Полученные математические модели процесса приготовления гранулированной кормовой добавки на основе сырья растительного и животного происхождения позволяют обосновать оптимальные значения конструктивно-режимных и технологических параметров линии и технологического оборудования, включающих измельчитель-пастоизготовитель, усреднитель влаги, смеситель-гранулятор и сушилку камерного типа.

Разработанная на основе совокупности полученных данных технологическая линия позволяет получить кормовую добавку в виде гранул влажностью 8-10 %, с крошимостью не более 5,0 %, что вполне соответствует требованиям, предъявляемым к гранулированным кормам.

Содержание опубликованных рекомендаций окажет существенную помощь специалистам в области кормопроизводства при проектировании технологических линий аналогичного типа.

Заведующий отделом  
«Механизации животноводства  
и кормопроизводства»  
ФГБНУ ДальНИИМЭСХ,  
кандидат сельскохозяйственных наук

 B.V. Шишкин

Старший научный сотрудник отдела  
«Механизации животноводства  
и кормопроизводства»  
ФГБНУ ДальНИИМЭСХ,  
кандидат сельскохозяйственных наук

 B.V. Михалёв

Подписи В.В. Шишкина и В.В. Михалёва заверяю,  
Ученый секретарь  
ФГБНУ ДальНИИМЭСХ

 P.E. Самсонов





МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
 ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
 МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»**  
 (ФГБОУ ВПО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

Тимирязевская ул. 49, г.Москва 127550 Тел.(499)976-04-80Факс: (499) 976-04-28 E-mail:info@timacad.ru http://www.timacad.ru  
 ОКНЮ 00492931, ОГРН 1037739630697 ИНН/КПП 7713080682/771301001

«25» 09 2014 г.

С П Р А В К А

об использовании в учебном процессе методических материалов  
 «Рекомендации по повышению эффективности приготовления кормовой  
 добавки на основе соевого компонента»

Разработанные Воякиным С.Н., Доценко С.М., Вишневским А.Н. методические рекомендации по повышению эффективности приготовления кормовой добавки на основе соевого компонента, изданные ФГБОУ ВПО ДальГАУ, применяются на кафедре автоматизации и механизации животноводства при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06 «Агроинженерия» в лекционном курсе, курсовом и дипломном проектировании, используются магистрами и аспирантами, работы которых выполняются в области механизации процессов приготовления кормов для птицеводства.

Проректор по учебной работе  
 д.т.н., профессор

В.Ф. Сторчевой

Зав. кафедрой автоматизации и механизации  
 животноводства  
 д.т.н., профессор

Ю.Г. Иванов





«КОСТРОМСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

156530, Костромская обл., Костромской р-н, п/с. Караваево, Учебный городок, Караваевская с/а, дом 34  
ОКПО 00493296, ОГРН 1024402232513, ИНН 4414001246, КПП 441401001  
Факс: +7(4942) 65-75-99, Тел: +7(4942) 65-75-07, E-mail: van@ksab.edu.ru, Сайт: www.ksab.ru

№ \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.  
На № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.



УТВЕРЖДАЮ

Профессор по учебной работе  
ФГБОУ ВПО Костромская  
ГСХА

М.С. Волхонов

«сентябрь» 2014г.

Справка о внедрении рекомендаций о повышении эффективности  
приготовления кормовой добавки на основе соевого компонента

Разработанные Воякиным С.Н., Доценко С.М. и Вишневским А.Н рекомендации по повышению эффективности приготовления кормовой добавки на основе соевого компонента, изданные ФГБОУ ВПО ДальГАУ, применяются студентами направлений подготовки (специальностей) 110800.62 и 110800.68 «Агроинженерия» при курсовом и дипломном проектировании, при чтении лекций, а также могут использоваться аспирантами и соискателями, работы которых находятся в области механизации процессов приготовления кормов крупному рогатому скоту при работе над диссертациями по специальности 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства».

Декан инженерно-  
технологического факультета  
к.т.н., доцент

*Полозов*

С.А. Полозов

Зав. кафедрой технические системы  
в АПК к.т.н., доцент

*Клочков*

Н.А. Клочков

«Утверждаю»

Проректор по НИР  
ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ  
имени императора Петра I  
д.с.-х..н, профессор

Ледов А.В.  
2014 г.



СПРАВКА

о внедрении методических материалов по повышению эффективности  
приготовления кормовой добавки на основе соевого компонента

Разработанные Воякиным С.Н., Доценко С.М. и Вишневским А.Н. методические материалы по разработке и использованию технологических линий по производству высокобелковых, белково-минеральных и белково-витаминных кормовых добавок в гранулированной форме. Изданные рекомендации ФГБОУ ВПО ДальГАУ, применяются студентами направлений подготовки (специальностей) 110800.62 и 110800.68 «Агроинженерия» при курсовом и дипломном проектировании, при чтении лекций, а также могут использоваться аспирантами и соискателями, работы которых находятся в области механизации процессов приготовления кормов для сельскохозяйственной птицы при работе над диссертациями по специальности 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства».

Зав. кафедрой механизации животноводства  
и переработки с/х продукции  
ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ,  
к.т.н., доцент

Яровой М.Н.

Д.т.н., профессор кафедры  
механизации животноводства  
и переработки с/х продукции  
ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ

Труфанов В.В.





«Утверждаю»

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВПО «Кубанский ГАУ»



СПРАВКА

о внедрении методических материалов по повышению эффективности  
приготовления кормовой добавки на основе соевого компонента

Разработанные Воякиным С.Н., Доценко С.М. и Вишневским А.Н. методические материалы по повышению эффективности приготовления кормовой добавки на основе соевого компонента, изданные ФГБОУ ВПО ДальГАУ, используются студентами направлений подготовки (специальностей) 110800.62 и 110800.68 «Агроинженерия» при курсовом и дипломном проектировании, при чтении лекций, а также аспирантами и соискателями, работы которых связаны с вопросами механизации процессов приготовления кормов крупному рогатому скоту при подготовке диссертаций по специальности 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства».

Декан факультета механизации  
к.т.н., профессор

С.М. Сидоренко

Заведующий кафедрой «Механизация животноводства  
и безопасность жизнедеятельности»  
д.т.н., профессор

В.Ю. Фролов

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»  
(ФГБОУ ВПО СПбГАУ)**

196601, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, дом 2  
ИНН 7820006490 КПП 782001001 УФК по г. Санкт-Петербургу (ФГБОУ ВПО СПбГАУ)  
л/сч № 20726Х21320 р/сч. 40501810300002000001 Северо-Западное ГУ Банка России БИК 044030001

**УТВЕРЖДАЮ**

Проектор по учебной работе  
ФГБОУ ВПО СПбГАУ

А.О. Туфанов



16 « сентября 2014 г.

**Справка**

о внедрении рекомендаций по повышению эффективности приготовления  
кормовой добавки на основе соевого компонента.

Разработанные С.Н. Воякиным, С.М. Доценко, А.Н. Вишневским  
рекомендации по повышению эффективности приготовления кормовой  
добавки на основе соевого компонента, изданные в ФГБОУ ВПО ДальГАУ,  
рекомендованы для применения студентами направлений подготовки  
35.03.06 «Агроинженерия» и 35.03.07 «Технология производства и  
переработки сельскохозяйственной продукции» при изучении дисциплин  
направлений, подготовки курсовых и выпускных квалификационных работ  
при проектировании и расчетах, связанных с разработкой технологических  
линий по производству высокобелковых, белково-минеральных и белково-  
витаминных кормовых добавок в гранулированной форме, а также  
аспирантам, исследовательские работы которых находятся в области  
механизации приготовления кормов по специальности 05.20.01 «Технологии  
и средства механизации сельского хозяйства».

Директор Института технических систем,  
сервиса и энергетики,  
к.т.н., доцент

В.А. Ружьев

Директор Института агротехнологий,  
почвоведения и экологии,  
к.с.-х.н., доцент

С.П. Мельников



*Открытое акционерное общество*  
**“ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ИНСТИТУТ КОМБИКОРМОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ”**  
**ОАО “ВНИКП”**

Россия,  
 394026, г. Воронеж, проспект Труда, 91  
 Телефоны: (473) 221-02-73, 246-21-95  
 Телеграф: Воронеж-26, ВНИКП  
 Факс: (473) 246-21-95

26.09.2014 г. № 26/393  
 на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### СПРАВКА

о внедрении методических материалов по повышению эффективности при-  
 готовления кормовой добавки на основе соевого компонента

Разработанные Воякиным С.Н., Доценко С.М. и Вишневским А.Н. ме-  
 тодические материалы по разработке и использованию технологических ли-  
 ний по производству высокобелковых, белково-минеральных и белково-  
 витаминных кормовых добавок в гранулированной форме. Изданные реко-  
 мендации ФГБОУ ВПО ДальГАУ, применяются при проектировании и раз-  
 работке технологий и технических средств на комбикормовых предприятиях  
 в системе механизированного приготовления кормов для сельскохозяйствен-  
 ных животных и птицы.

Генеральный директор  
 ОАО «ВНИКП»,  
 д.т.н., профессор

В.А.Афанасьев





**АКТ ВНЕДРЕНИЯ**  
результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и  
технологических работ

Мы нижеподписавшиеся, представители Дальневосточного государственного аграрного университета начальник НИЧ А.А. Муратов, исполнители С.Н. Воякин и А.Н. Вишневский, представители птицефабрики ООО «Амурский бройлер», главный зоотехник Субботин И.В., технолог по кормам Андреева Г.А. составили настоящий акт о том, что в 2015-2017 гг проведена научно-исследовательская работа по теме «Повышение эффективности функционирования линии приготовления кормового гранулята на основе соевого компонента для сельскохозяйственной птицы». В результате проведения исследования с использованием предложенного оборудования линии приготовления соево-мясокостного гранулята включающего:

- двухступенчатый пастоизготовитель мясокостного сырья;
- смеситель - усреднитель влаги в соево-мясокостных композициях;
- пресс-гранулятор;
- сушилку камерного типа;

выполнен следующий объем работ:

1. Приготовление мясокостной пасты из сырья включающего головы, ноги и шеи цыплят-бройлеров в количестве 550 кг;
2. Приготовление соево-мясокостной композиции с использованием пасты и соевой не-обезжиренной муки в количестве 1100 кг;
3. Приготовление сущеного соево-мясокостного гранулята в количестве 845 кг. качество которых отвечает предъявляемым зоотехническим требованиям (влажность 11.5%, кро-шимость 4.8%).

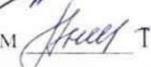
С использованием полученной кормовой белково-минеральной добавки сбалан-сирован рацион для цыплят-бройлеров по комбикормам в количестве 1.2 тонны.

Предложения по дальнейшему внедрению результатов: Рекомендовать исполь-зование кормовой белково-минеральной добавки в рационах для цыплят-бройлеров в ООО «Амурский бройлер».

Представители  
ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ

Начальник НИЧ  А.А. Муратов  
Исполнитель  С.Н. Воякин  
Исполнитель  А.Н. Вишневский

Представители  
ООО «Амурский бройлер»

Главный зоотехник  И.В. Субботин  
Технолог по кормам  Г.А. Андреева