

Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный государственный аграрный университет»

На правах рукописи



МАРКИН ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕ-ЭКСТРАКЦИОННОГО УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Научный руководитель:
кандидат технических наук,
доцент Вараксин С.В.

Благовещенск – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПОЛУЧЕНИЯ СОЕВОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ.....	9
1.1 Роль и значение семян сои для кормления сельскохозяйственных животных.....	9
1.2 Технологические схемы и методы производства кормовой добавки....	16
1.3 Обзор технических средств по производству кормовой добавки.....	28
1.4 Выводы по главе.....	32
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПОЛУЧЕНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ СОЕВО-КОРНЕПЛОДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕ-ЭКСТРАКЦИОННОГО УСТРОЙСТВА	33
2.1 Разработка структурной схемы измельчающе-экстракционного устройства и математической модели его функционирования.....	33
2.2 Разработка модели функционирования измельчающе-экстракционного устройства путем обоснования процесса извлечения сухих веществ из соево-корнеплодной композиции.....	35
2.3 Обоснование параметров работы истирающих элементов измельчающе-экстракционного устройства	40
2.4 Обоснование пропускной способности измельчающе-экстракционного узла и его параметров.....	42
2.5 Выводы по главе.....	52
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	54
3.1 Программа, методика и объекты исследования.....	54
3.2 Установка и оборудование для экспериментальных исследований.....	54
3.3 Объекты и методика проведения эксперимента.....	57
3.4 Выводы по главе.....	65

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ.....	66
4.1 Определение физико-механических показателей сырья и продуктов...	66
4.2 Обоснование оптимальных параметров процесса получения кормовой добавки с помощью измельчающе-экстракционного устройства по принятым его узловым блокам.....	66
4.3 Обоснование оптимальных параметров рабочего процесса по разделению жидкой и твердой фракции.....	71
4.4 Исследования по обоснованию затрат энергии на получение кормовой добавки с помощью измельчающе-экстракционного устройства.....	75
4.5 Результаты исследований по установлению производительности энергоемкости измельчающе-экстракционного устройства в зависимости от угловой скорости активного диска.....	79
4.6 Выводы по главе.....	81
5 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ, ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕ-ЭКСТРАКЦИОННОГО УСТРОЙСТВА	82
5.1 Производственная проверка основных результатов исследований по получению кормовой добавки на основе соево-корнеплодных композиций.....	82
5.2 Сравнительная технико-экономическая оценка результатов исследований	84
5.3 Выводы по главе.....	90
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	91
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	94
ПРИЛОЖЕНИЯ	110

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. Решение задачи оптимизации технологического процесса производства сбалансированной кормовой добавки путем применения ресурсосберегающей технологии производства, реализуемой при помощи специального измельчающе-экстракционного устройства.

Проблему насыщения кормов чистым белком можно решить путем введения в рацион сельскохозяйственных животных семян сои и продуктов их переработки. Семена сои являются источником белка растительного происхождения. Наиболее простым и эффективным способом их переработки является получение кормовой добавки, используемой взамен обезжиренного молока при вскармливании молодняка крупного рогатого скота и свиней. Данный продукт способствует повышению продуктивности сельскохозяйственных животных. Известные в настоящее время технологии и технические средства для получения кормовых добавок из термообработанной полножирной соевой муки являются высокочрезмерно затратными, а при небольшом поголовье животных экономически себя не оправдывают.

Важное значение для правильного развития сельскохозяйственных животных имеют витамины. В качестве витаминной добавки к рационам предлагается использование сочных кормов – корнеплодов (морковь, свекла) и бахчевых культур (тыква).

Анализ существующих технико-технологических способов получения кормовых добавок показывает, что они не обладают достаточной эффективностью вследствие недостатков технического характера и организации технологического процесса. Вследствие этого, предлагается наиболее целесообразный способ – получение кормовой добавки на основе соево-корнеплодных композиций при помощи измельчающе-экстракционного устройства.

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет» (№ государственной регистрации 01200503562-5).

Степень разработанности темы. Научные исследования в области технических устройств для приготовления белковых кормов, проведенные учеными В.П. Горячкиным, С.М. Мельниковым, А.А. Артюшиным, И.З. Барфаковым, Б.И. Вагиным, В.Г. Гопкой, С.М. Доценко, Г.М. Куктой, А.Т. Лебедевым, Л.М. Куцыным, С.В. Брагинец, В.Ю. Фроловым, В.С. Гордезиани, С.А. Ивановым, Л.И. Подобед, А.С. Катаевым, Р.Ф. Филоновым и другими. Впрочем, до настоящего времени не было выявлено данных, позволяющих проектировать технологические линии по безотходному производству кормовых добавок на основе соево-корнеплодных композиций.

Цель исследований – повышение эффективности процесса получения кормовой добавки путем обоснования параметров измельчающе-экстракционного устройства.

Задачи исследований:

- провести анализ существующих технологических схем и машин для приготовления кормовой добавки из семян сои и разработать структурную схему измельчающе-экстракционного устройства (ИЭУ);

- получить аналитические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы предложенного измельчающе-экстракционного устройства с учетом разработанной его структурной схемы и разработать математические модели оценки рабочего процесса предложенного измельчающе-экстракционного устройства (ИЭУ);

- экспериментально обосновать рациональные параметры рабочего процесса измельчающе-экстракционного устройства по операциям измельчения соево-корнеплодной композиции, экстракции питательных веществ в водную среду и отделения жомового остатка;

- провести производственную проверку предложенных технологических и технических решений, дать им технико-экономическую оценку, разработать методику расчета линии с использованием измельчающе-экстракционного устройства и соответствующие рекомендации.

Объект исследования – процесс приготовления кормовой добавки в виде белково-витаминного экстракта для молодняка сельскохозяйственных животных с помощью предложенного измельчающе-экстракционного устройства.

Предмет исследования – зависимости, характеризующие работу измельчающе-экстракционного устройства по процессам измельчения соево-корнеплодной композиции, экстракции питательных веществ из нее в водную среду и отделения жомового остатка от экстракта соевого белка.

Научную новизну исследования представляют:

- математическая модель функционирования ИЭУ;
- аналитические зависимости по обоснованию определения производительности, а также мощности, затрачиваемой на привод измельчающе-экстракционного устройства;
- математические модели процесса получения кормовой добавки с помощью измельчающе-экстракционного устройства, обеспечивающего выполнение операций по измельчению соево-корнеплодной композиции в водной среде, экстракции питательных веществ и отделение жомового остатка;
- рациональные технологические и структурно-эксплуатационные параметры предлагаемого измельчающе-экстракционного устройства на основе этих моделей.

Теоретическая и практическая значимость работы. Обоснованы технологический процесс и параметры измельчительно-экстракционного устройства для получения кормовой добавки молодняку сельскохозяйственных животных. Результаты исследований могут быть использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров в области сельского хозяйства, проектных организаций, конструкторских бюро и научно-исследовательских институтов при проектировании сельскохозяйственных и межхозяйственных предприятий для производства этого вида продуктов.

Методология и методы исследования. Общим методологическим подходом к исследованию был системный подход, позволивший изучить технологический процесс, разрабатываемый во взаимосвязи технических, технологических, ка-

чественных и экономических показателей с конкретными параметрами сырья и готовой продукции, а также с параметрами технологической линии приготовления кормовой добавки. В аналитических исследованиях использовались методы и принципы теоретической и прикладной механики, а также методы теории вероятностей. Исследования проводились на экспериментальной установке с использованием метода многофакторного планирования эксперимента и математического моделирования. Обработка и анализ полученных данных проводилась с помощью математической статистики с использованием персонального компьютера и программ Microsoft Excel 2010, «КПС», «Статистика - 8.0» и других.

Рабочая гипотеза. Принцип рационального способа приготовления качественной кормовой добавки на основе соево-корнеплодной композиции с наименьшими затратами труда и средств за счет использования предлагаемого измельчающе-экстракционного устройства, которое обеспечит качественное выполнение процессов измельчения сырьевых компонентов с извлечением питательных веществ в водной среде и последующим отделением жомового остатка.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты теоретических исследований для обоснования технологических и структурно-эксплуатационных параметров процессов получения кормовой добавки с помощью измельчающе-экстракционного устройства (ИЭУ);
- результаты экспериментальных исследований в виде полученных математических моделей и параметров процессов;
- методика расчета технологической линии приготовления кормовой добавки;
- технико-экономическая оценка результатов исследования.

Степень достоверности полученных результатов. Результаты испытаний были получены с использованием общепринятых методов исследования, современного измерительного и компьютерного оборудования. Достоверность проведенных исследований подтверждается сближением теоретических и экспериментальных

данных, всесторонним тестированием результатов испытаний. Результаты исследования были внедрены в СПК «Искра» Тамбовского района, в сельскохозяйственной артели (колхозе) «Родина» в Константиновском районе Амурской области.

Апробация и реализация результатов исследования. Основные результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на межвузовских научных конференциях Дальневосточного ГАУ (г. Благовещенск, 2014-2019 г.г.); XVI-XX региональной научно-практической конференции «Молодежь XXI века: шаг в будущее» (г. Благовещенск, 2015 – 2019 гг.); II этапе Всероссийского конкурса на лучшую работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (г. Благовещенск, 2017 г.); III этапе Всероссийского конкурса на лучшую работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (г. Москва, 2017 г.).

Публикации. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 20 работах, в том числе 3 – международных, 7 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science – 2, получено 6 патентов РФ на изобретения.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 127 страницах, содержит 28 таблиц, 39 рисунков, 11 приложений. Список литературы содержит 171 наименования, из них 22 – на иностранном языке.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПОЛУЧЕНИЯ СОЕВОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ

1.1 Роль и значение семян сои для кормления сельскохозяйственных животных

Основное производство сои России сосредоточено в Дальневосточном регионе, в частности в Амурской области. Семена сои и продукты их переработки богаты белком и содержат необходимый аминокислотный и витаминный состав. Такой спектр веществ значительно повышает биологическую ценность рационов при кормлении скота и птицы и служит значительной основой для повышения продуктивности [103].

По данным Росстата, за период 2000 - 2021 годы площадь земель, занятых под выращивание сои в России, с каждым годом только увеличивалась и по состоянию на 2021 год составляет 3021,0 тыс. га. Урожайность составила 16,8 ц/га, валовый сбор 4750,0 тыс. тонн., что отражено на рисунке 1.1.

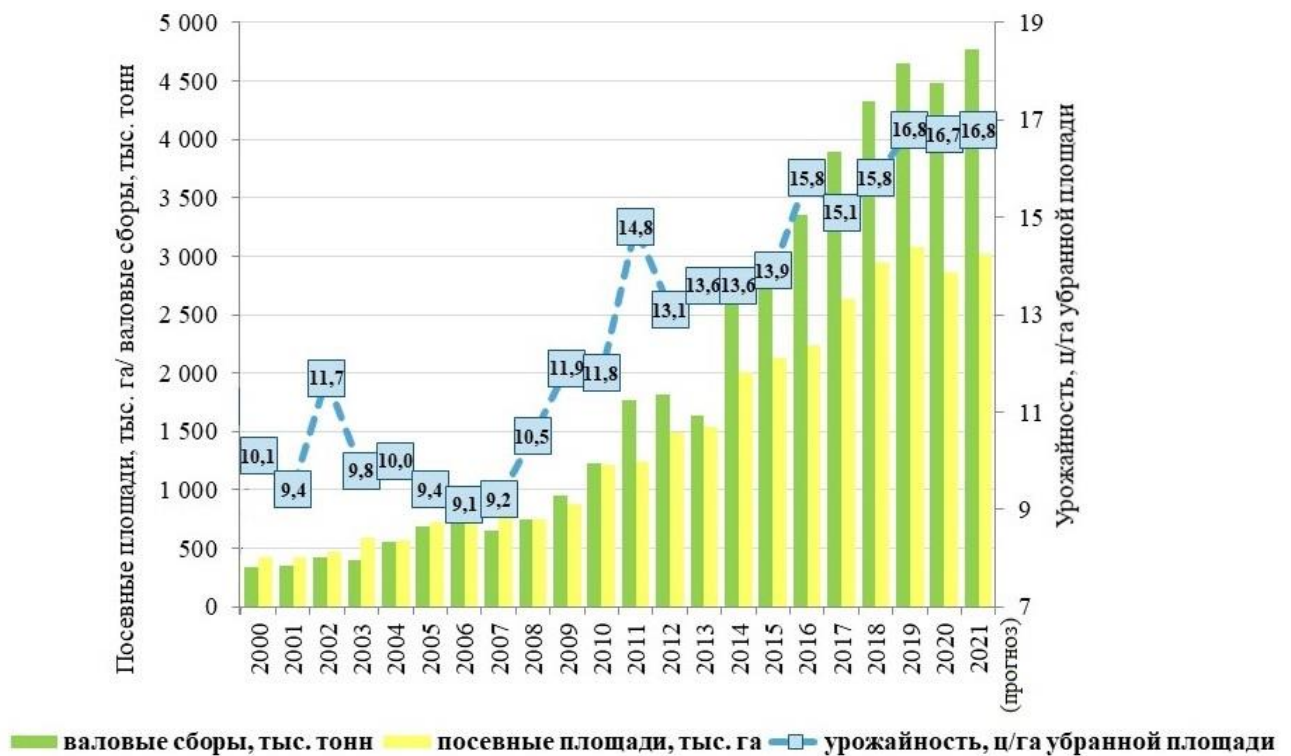


Рисунок 1.1 – Корреляция показателей валовых сборов, посевных площадей, и урожайности сои в России в 2000-2021 года [148]

Рассматривая посевные площади сои по федеральным округам (ФО), наиболее активно наращивались посевы в Центральном ФО и Дальневосточном ФО, также можно выделить Южный ФО, Сибирский ФО, Приволжский ФО, Северо-Кавказский, Уральский ФО и Северо-Западный ФО, данные по которым приведены на рисунке 1.2.

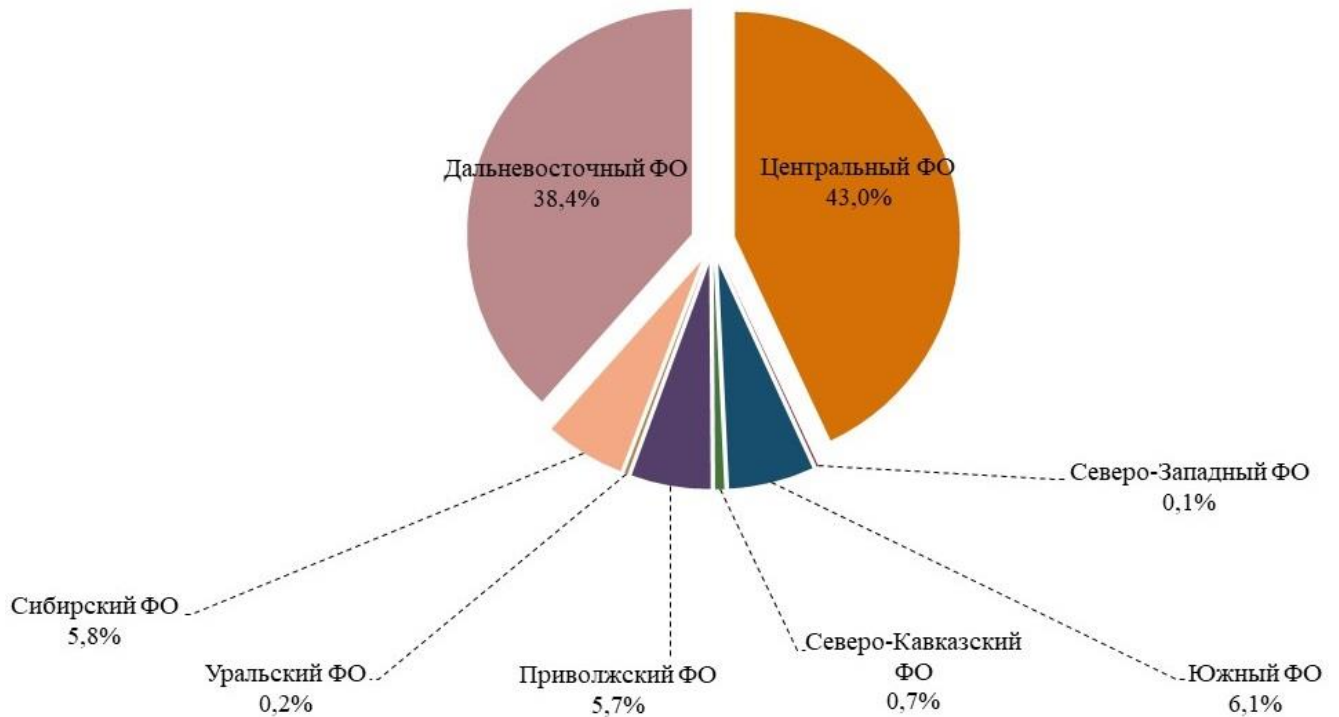


Рисунок 1.2 – Структура посевных площадей сои по федеральным округам в 2021 году, % [148]

На территории Дальневосточного ФО около 90% посевов сои приходится на Амурскую область (67,9% или 844,5 тыс. га в 2021 году) и Приморский край (22,3% или 277 тыс. га). За 2021 год лидирующие позиции по урожайности и валовому сбору остаются у Амурской области, так урожайность составила 15,7 ц/га, валовый сбор 1,75 млн тонн.

Анализируя показатели по валовым сборам, посевным площадям и урожайности, можно заметить, что недостатка в семенах сои не наблюдается, следовательно, использование сои в приготовлении кормов не будет требовать существенных затрат. А значит, совершенствование технологий и получение новых способов по переработке семян сои является актуальной задачей.

Семена сои являются питательным компонентом, применяемым в качестве белковой добавки в составе кормов для птицы и сельскохозяйственных животных. В их состав входит до 40% белка, 18 - 20% жира, и до 6,0% минеральных веществ, таких как кальций, фосфор, натрий, магний, калий, железо и другие. Все они необходимы для биологически полноценного кормления сельскохозяйственных животных [29].

Следует помнить и о наличии в семенах сои антипитательных веществ (ингибиторов трипсина, гликозидов, алкалоидов), которые в свою очередь существенно снижают усвоение чистого белка. Прежде чем приступить к скармливанию, предварительно, семена сои должны пройти термическую обработку для снижения активности антипитательных веществ [73, 143].

Показатель, на который стоит опираться при производстве корма – это пищевая ценность. Именно от него зависит эффективное потребление, переваримость и усвояемость корма. Разные виды кормов отличаются друг от друга по своей структуре, внешнему виду и составу. Однако, все они схожи тем, что состоят из воды и сухого вещества. Для кормов сухое вещество определяет пищевую ценность [11].

Например, при откорме птицы и свиней необходимо увеличить доступность аминокислот, а для жвачных животных необходимо сохранить белок от чрезмерной деградации в рубце и увеличить доступность аминокислот нерасщепленного белка в тонком кишечнике [16]. В таблице 1.1 рассмотрен состав и переваримость соевого семени и продуктов его переработки.

Таблица 1.1 – Состав и переваримость семян сои и продуктов его переработки

Показатели	Вид белкового продукта			
	зерно	мука	жмых	шрот
В 100 кг корма содержится:				
кормовых единиц, кг.	130,7	145,8	125,0	118,0
Переваримый протеин, кг.	29,2	34,1	34,8	36,0
На 1 кормовую единицу приходится переваримого протеина, г.	223	224	278	300
Состав в процентах:				
влага	11,4	9,2	14,9	14,6
протеин	33,2	38,3	38,7	40,0
белок	28,1	33,4	38,3	38,3,

Продолжение таблицы 1.1

белок	28,1	33,4	38,3	38,3,
жир	15,3	19,7	9,8	2,0
клетчатка	7,3	3,1	2,7	6,4
минеральные вещества	5,2	4,2	6,0	5,1
Коэффициент переваримости, %				
протеин	88	89	90	90
белок	88	89	88	90
жир	85	90	88	95
клетчатка	81	39	78	94
БЭВ	71	69	94	97

Таким образом, благодаря своему химическому составу и высоким функциональным свойствам, семена сои являются рациональными в качестве белковых и структурорегулирующих добавок в питании животных.

Наиболее эффективным способом использования семян сои в качестве корма для сельскохозяйственных животных является введение в их рационы соевой белковой добавки, получаемой в результате экстракции семян сои с водой или полученного в результате коагуляции белка. Область применения данных видов продукции распространяется на телят, поросят и птицу, в рационы которых они могут включаться. Это положительно сказывается на состоянии здоровья и выживаемости молодняка животных, а также позволяет сэкономить большое количество коровьего молока [29].

В качестве добавочного корма для выпойки ягнят, телят и поросят, широко применяется соевая кормовая добавка, заменяющая цельное или обезжиренное молоко. Использование данного вида корма не вызывает отравлений и желудочных заболеваний [46, 75, 76].

Первыми изучением технологических факторов, влияющих на качество получаемой продукции из растительного белка, занимались такие ученые как Е. Н. Волков и М. Е. Прахин. Исследования проводились в 1940 г. XX столетия на Московском соевом заводе с применением Гурийской и Харбинской сортов сои. Результаты исследований данных ученых представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Состав соевых семян

Сорт сои	% на абсолютно сухое вещество			Кислотность по вытяжке
	белок	жир	влага	
Гурийская соя (обрушенная)	43,25	20,65	7,20	10,88
Харбинская соя (обрушенная)	43,18	20,48	7,31	7,39

В своих работах авторы исследований обосновывают описание конкретных способов получения кормовой добавки, которые заслуживают наибольшего внимания.

При производстве кормовой добавки, предварительно очищенные и обрушенные семена сои измельчали в мелкозернистую муку. Следующим этапом к девяти объемам воды, при температуре 20-25°C, добавляли соевую муку в количестве одного объема, после чего осуществляли перемешивание с дальнейшей выдержкой в течение 2 часов. Полученную соевую массу отправляли на термообработку при t 60°C с выдержкой 1 час при постоянном перемешивании, после чего подвергли фильтрованию. Кормовую добавку, полученную таким способом, дополнительно дезодорировали паром в течение 30 минут. В результате, выход кормовой добавки составил 7 литров из 1 кг соевой муки. Наряду с этим, твердый остаток составил 1,75 кг влажностью 84,19 % [105].

Практика использования сои и продуктов ее переработки в рационах сельскохозяйственных животных стала достаточно распространенной. В большинстве аграрных хозяйств кормовую добавку на основе семян сои получают следующим образом: 1 кг сухих семян сои заливают водой при комнатной температуре из расчета 3 л на 1 кг семян на 24 часа. По истечении времени, остатки воды сливают, а семена подвергаются измельчению на универсальной кормодробилке [25]. Кашеобразную массу при интенсивном помешивании заливают горячей водой в пропорции 1:6, доводят до кипения и выдерживают в течение 8-10 минут, после чего подвергают охлаждению до температуры 30-35°C. Прокипяченную охлажденную массу фильтруют и выпаивают животным. Для улучшения вкуса готового продукта, его солят

поваренной солью из расчета 1-2 г на литр. В ряде хозяйств осуществляют кальцинирование – соевый белок насыщают кальцием посредством старогашеной извести - 3 г на каждый литр. Выработанный растительный продукт по содержанию кальция приближается к коровьему молоку, в нем улучшается соотношение минеральных веществ [11, 15].

Обзор имеющихся литературных источников по приготовлению кормовой добавки на основе семян сои позволил выявить следующие способы.

Один из способов получения кормовой добавки на основе семян сои, был разработан И.В. Кириленко. Суть способа заключается в том, что семена сои предварительно подвергаются замачиванию в трехкратном объеме воды на протяжении 8-10 часов при температуре 20°C. Затем, вода сливается и набухшие семена подвергаются измельчению. К получившейся массе повторно добавляется вода в соотношении 1:8 с последующим перемешиванием и отстаивании готового продукта. Температура добавляемой воды должна составлять 38-42°C. Перемешанная жидкая фракция проходит процесс кипячения, протяженностью 10-15 минут с последующим охлаждением [56].

Совершенно другой способ производства кормовой добавки разработан на основе смешивания соевой муки с водой. К соевой муке заливается вода с определенной температурой (30-55°C). Соотношение воды и семян сои составляет 1:8-1:10. Получаемая смесь периодически перемешивается 30 минут. Затем следует инактивация антипитательных веществ на протяжении 20-30 минут при температуре 100°C, после чего следует процесс пастеризации с температурой 85-90°C 20-30 минут. В готовый продукт вносят дополнительные компоненты такие как «Беллакт» и премикс, далее смесь гомогенизируется. Для повышения вкусовых качеств, вводятся ароматизаторы. По итогу, готовый продукт фасуется. Данный способ был разработан Т. Алимовым и другими учеными [5].

Следующий способ изготовления соевой кормовой добавки предложен А.И. Свеженцовым и другими учеными. Замоченные семена сои на протяжении 6-7,5 часов, заливаются и смешиваются свежей порцией воды в соотношении 1:10. Далее проводится нагрев (95-97°C) полученной массы с добавлением дополнительных

компонентов, а именно: лактоза, костный жир и фосфатиды. Перемешанная масса отправляется на измельчение, которое проводится ультразвуком, и на выходе вносятся витаминно-минеральный премикс [130].

С целью повышения питательной ценности кормовых добавок описаны способы комбинирования семян сои с обезжиренным молоком, молочной сывороткой, молочным сахаром с добавлением фосфатидов, казеината натрия, дистиллированных моноглицеридов, минеральных веществ и витаминов. Рекомендации таких ученых как В. Деревянский и А. Медведь, предлагают использовать в рационах сельскохозяйственных животных кормовую добавку дополнительно в которой будут содержаться хлористые, фосфорные и кальциевые соли [35].

Из исследований В.И. Комлацкого, А.С. Мельникова, В.И. Мищенко, Р.В. Смолкина выявлено, что включение в рационы молодняка свиней кормовой добавки на основе семян сои в период доращивания и откорма в количестве 0,8-2,2 л и 1,7-3,2 л приводило к повышению среднесуточной живой массы на 52 г и 35 г (на 12 и 6 %). Причем, замечалось снижение затрат корма на 1 кг прироста живой массы на 4,2 и 5,9 %. Также, скармливание жидкой соевой фракции приводило к увеличению выхода сала на 3,3 % [59, 60, 61].

По наблюдениям А.А. Бабича, 30-50 % замена цельного молока соевой кормовой добавкой в рационах поросят способствует нормальному росту и высоким приростам. Животные в соевых кормах переваривали органическое вещество на 60-91 %, протеин - на 67-93 %, белок - 64-93 %, жир - 45-91 %, клетчатку - 49-72 % и БЭВ – на 68-89 % [9].

Также стоит отметить опыт зарубежных ученых при производстве кормовой добавки на основе семян сои.

L. de C. L. Filho, P.M.A. Costa, D.T. Coelho для производства кормовой добавки вводили соевую муку в количестве 0,16 кг/л воды. Воду, в полученной таким образом смеси, заменяли молочной сывороткой, что, по их мнению, улучшало качество продукта, за счет увеличения сухого вещества, минеральных веществ и снижения содержания сырого протеина. В полученный продукт перед скармливанием

добавляли 6 мл раствора $\text{CaCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ (1 кг/л воды) и коагулировали в течение 15 минут при 35°C [157, 158].

Результаты исследований Р. М. А. Costa, J.C. Comes, A. S. Ferreira показывают, что к моменту отъема поросят, в возрасте 28 суток, их прирост живой массы на подсосе и у животных, получавших свиное, коровье и соевое «молоко» составлял 4,4; 5,7; 3,9 и 3,5 кг, при этом на единицу прироста затрачивали 3,4; 2,9; 2,2 и 2,0 кг корма. За весь период проводимого опыта с 4 до 42 - суточный возраст абсолютный прирост живой массы составил 9,3; 11,7; 8,0 и 8,3 кг при сохранности поросят 90,6 - 87,5 % [151].

Таким образом, изучив литературные источники по приготовлению соевой кормовой добавки, можно сделать вывод, что она достаточно распространена в кормлении сельскохозяйственных животных и не оказывает негативного воздействия на продуктивность, рост и состояние животных. Корма на основе сои в своем составе содержат высокое количество протеина, не вызывает аллергических реакций, хорошо переваривается. Данный продукт хорошо подходит для выпойки молодняка сельскохозяйственных животных. Но для того, чтобы корма на основе сои использовались более продуктивно, необходима соответствующая обработка, инактивирующая действие антипитательных веществ. Разные исследователи добавляли новые компоненты, либо внедряли новые процессы производства. Однако, нигде не удалось найти данных по включению в состав кормовых добавок корнеплодов.

1.2 Технологические схемы и методы производства кормовой добавки

Среди исследований изучения процесса измельчения и технических средств для приготовления высокобелковых кормов, ведущее место в разработке и модернизации существующих кормоприготовительных агрегатов и машин занимают работы В.П. Горячкина, С.М. Мельникова, А.А. Артюшина, И.З. Барфакова, Б.И. Вагина, В.Г. Гопки, С.М. Доценко, Г.М. Кукты, А.Т. Лебедева, Л.М. Куцына, С.В.

Брагинец, В.Ю. Фролова, В.С. Гордезиани, С.А. Иванова, Л.И. Подобеда, А.С. Катаева, Р.Ф. Филонова и других отечественных ученых.

Известны два основных способа получения кормовой добавки из семян сои: «китайский» и «американский». Технологические схемы получения соевой кормовой добавки по «Китайскому» и «Американскому» способам приведены на рисунках 1.3 и 1.4.

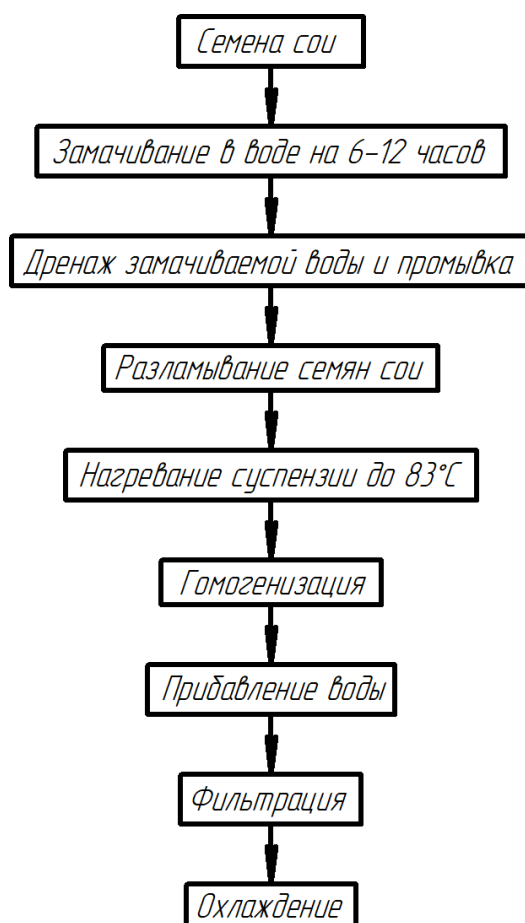


Рисунок 1.3 – Схема производства соевой кормовой добавки по «Американскому» способу

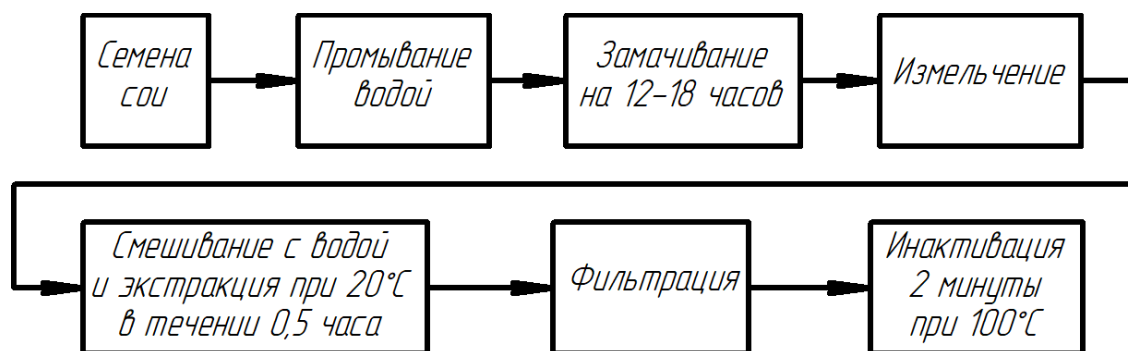


Рисунок 1.4 – Технологическая схема получения соевой кормовой добавки по «Китайскому» способу

«Американский» способ получения кормовой добавки был разработан в университете штата Иллинойс и состоял из следующих операций: семена сои подвергались замачиванию в воде на протяжении 6-12 часов с добавлением 0,5 % раствора H_2CO_3 (соотношение семян сои и воды 1:3). После замачивания вода сливается, а семена тщательно промываются. Затем следует разламывание, с нагреванием полученной смеси до температуры 83°C , гомогенизируют, снова заливают воду до получения 12 % раствора. Нейтрализация антипитательных веществ проводится 6-нормальной соляной кислотой, до тех пор, пока показатель рН не достигнет значения в пределах 6,8-7,2. На завершающем этапе готовый продукт разливается по бутылкам и стерилизуется с последующим охлаждением [130].

Одной из наиболее часто применяемых технологических схем производства соевой кормовой добавки является Тайваньская схема, приведенная на рисунке 1.5.

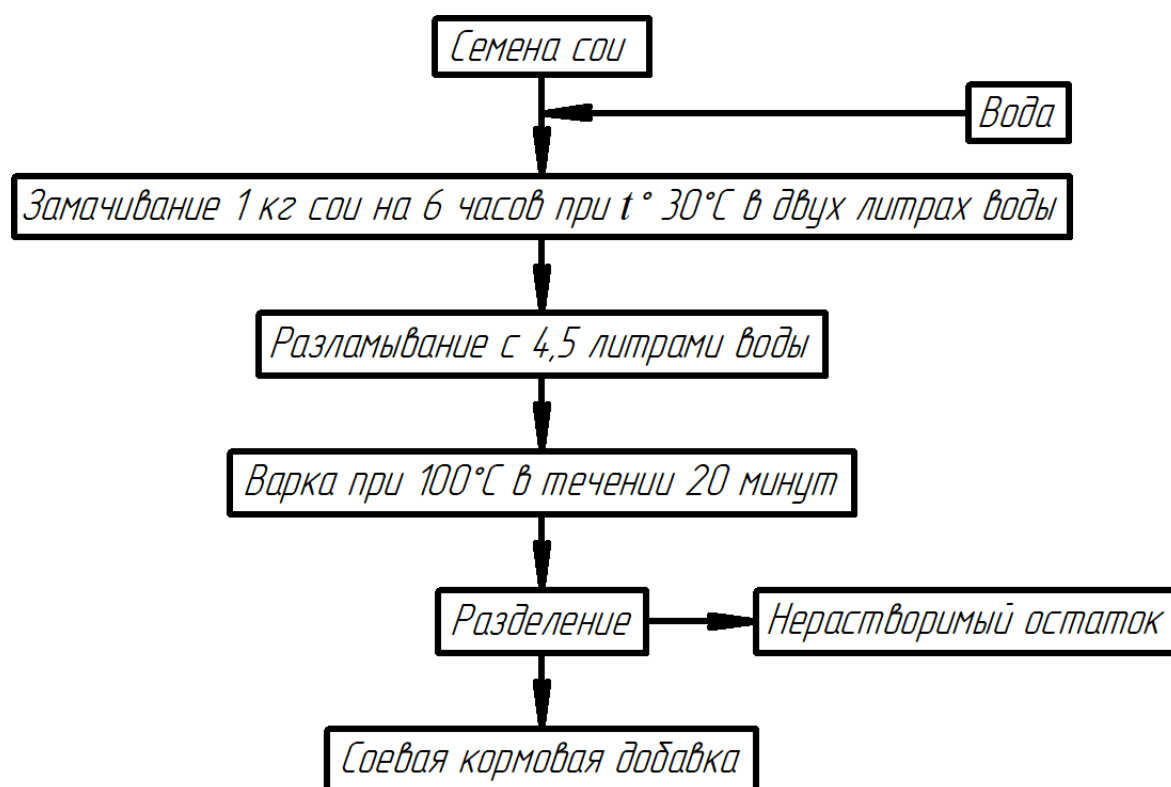


Рисунок 1.5 – «Тайваньская» схема получения соевой кормовой добавки

По «Тайваньской» схеме можно заметить, что первоначально семена сои замачиваются 6 часов в двух литрах воды с поддерживаемой температурой 30°C . Затем семена разламываются с добавлением 4,5 литров воды и потом варятся 20 минут. Готовый продукт подвергается разделению на жидкую и твердую фракцию. К

недостаткам данного способа приготовления соевой кормовой добавки можно отнести: большое количество операций, длительное время приготовления, снижение качества от продолжительного нагрева продукта [163].

Способы воздействия на зерно, такие как дробление и измельчение, являются самыми простыми и доступными в условиях хозяйств. За счет разрушения поверхностной пленки зерна улучшается поедаемость и переваримость питательных веществ при вскармливании. На сегодняшний день применяются следующие способы измельчения, приведенные на рисунке 1.6 [15, 28, 48].

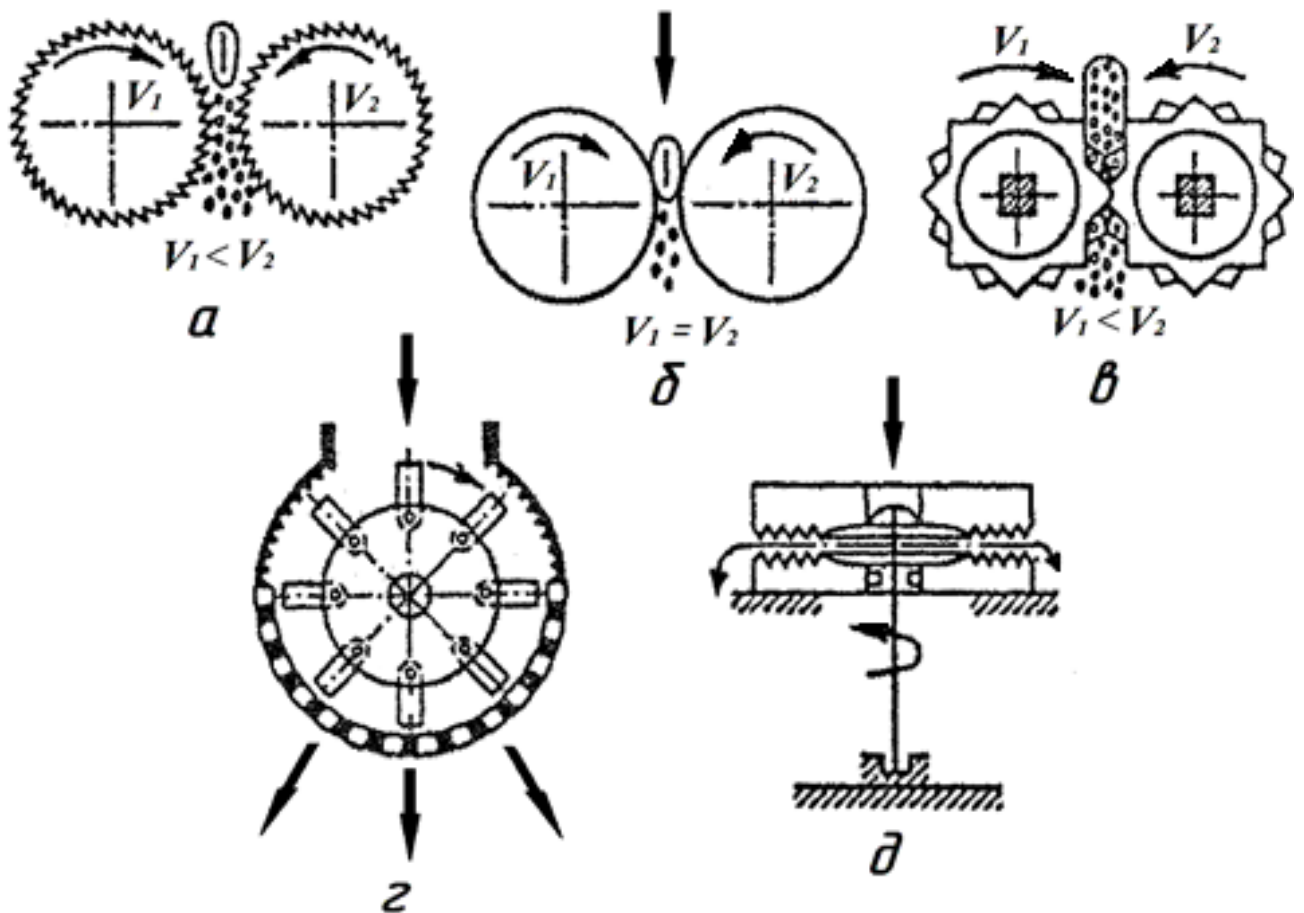


Рисунок 1.6 – Схемы рабочих органов измельчителей, при использовании способов: а – раскалывания; б – раздавливания; в – разламывания; г – удара; д – истирания.

а) раскалывание – процесс разрушения материала в области наибольших напряжений клиновидными рабочими органами. Размер частиц, получаемых при данном способе, на выходе можно регулировать;

б) раздавливание – процесс воздействия, при котором происходит деформация материала на весь объем, в результате чего на выходе частицы приобретают разный размер и форму;

в) разламывание – процесс разрушения материала под влиянием изгибающих моментов, при этом размер и форма получаемых частиц идентична раскалыванию;

г) удар – процесс, при котором на зерновой материал воздействуют динамические нагрузки, в следствии чего происходит раскалывание на множество частиц. Нагрузка, применяемая к материалу, может быть сосредоточенной и распределенной. Разрушение подразделяется стесненное и свободное;

д) истирание – процесс воздействия на получаемый материал силами сжатия и тангенциальными силами, с получением мелкого порошковидного продукта.

В Килийском районе Одесской области, на базе крестьянско-фермерского хозяйства «Украина», было налажено производство и использование кормовой добавки на основе семян сои, по технологической схеме, представленной на рисунке 1.7.

По данной схеме процесс получения кормовой добавки происходит следующим образом. Норией НЦГ-10, подготовленные семена сои подаются из загрузочного бункера 1 в бункер-стекатель 3 для замачивания в воде в соотношении 1:3 на протяжении 17 часов. После чего, замоченные семена сои отделяют от воды для дальнейшей ферментативной обработки в бункере-стекателе 4. Процесс измельчения производится машиной Эмульсор-ПСМ-6, в которую семена сои подаются в предельном соотношении с водой 1:10 – 1:16. На выходе получают 10-16 кг соевой кормовой добавки, в водный раствор которой экстрагировались витамины, масло, углеводы и белки. После измельчения, полученный водный экстракт разливается по двум ваннам 7, где данный подвергается перемешиванию мешалками 6 на протяжении 1,5 часов. По истечении данного времени экстракт перекачивается насосами 9 в одну общую ванну 8, из которой подается в три варочных котла 10 для инактивации антипитательных веществ путем кипячения в течение 10-15 минут. После, экстракт охлаждают до 28°C в охладителе 11 и отправляют в емкость 12 для

последующего хранения. В целях улучшения состава комовой добавки в нее добавляют костный жир, соль, аминокислоты, молочный сахар, основательно перемешивают и направляют на корм животным [61].

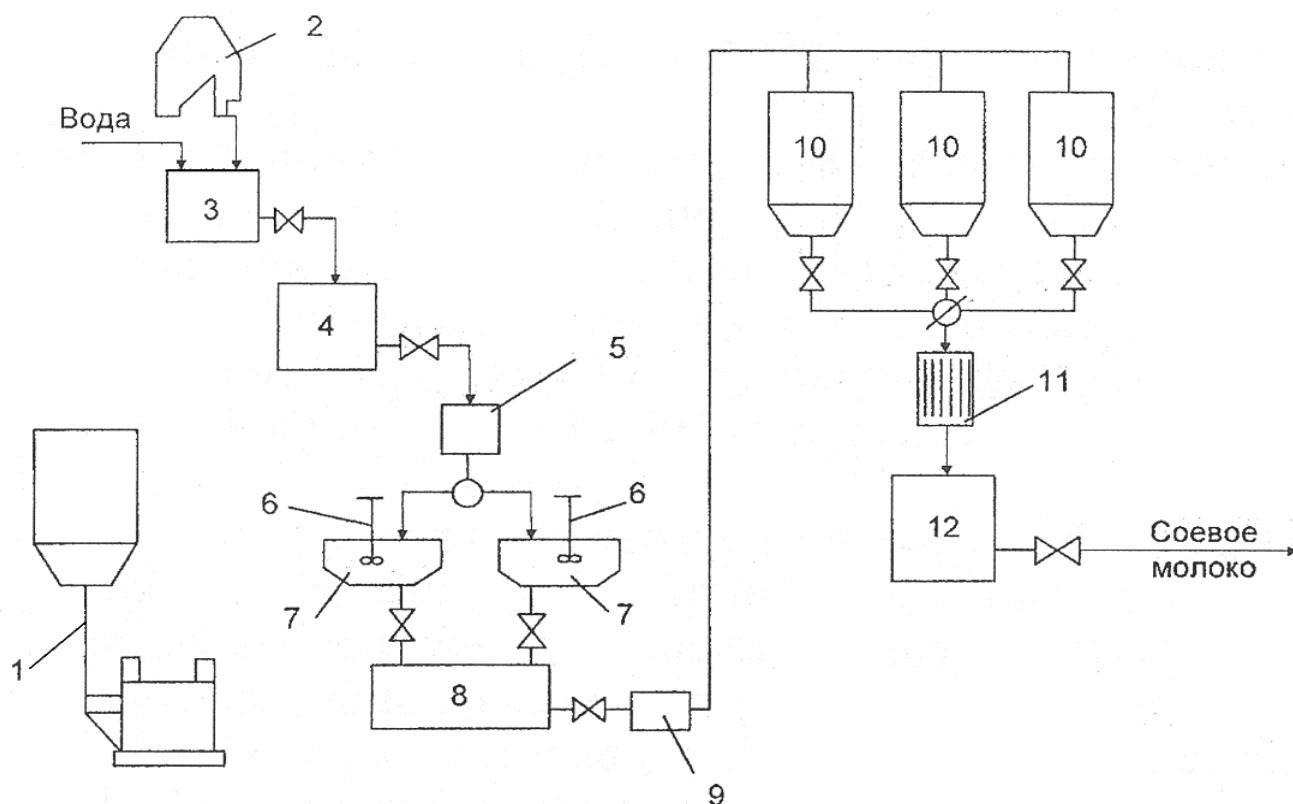


Рисунок 1.7 – Конструктивно-технологическая схема линии получения кормовой добавки в хозяйстве «Украина»: 1 – загрузочный бункер; 2 - нория НЦГ - 10; 3, 4 - бункер-стекатель; 5 - Эмульсор-ПСМ-6; 6 - мешалка; 7, 8 - ванна; 9 - насос; 10 - варочный котел; 11 - охладитель; 12 - емкость для хранения.

На основе научных исследований, проводимых в ДальНИИМЭСХ, создали технологическую линию по получению соевой кормовой добавки (рисунок 1.8). Первым этапом производств по данной схеме был очистка семян сои. Впоследствии они подавались из бункера 1 в дробилку КДУ-2. Измельченные семена сои поступали в дозатор 3, после чего совместно с водой они подаются в емкость 4. На протяжении 1,5 часа при температуре 60°C осуществляют процесс экстракции, при этом продукт регулярно перемешивается. Заданный температурный режим обеспечивался водонагревателем ЭПЗ-100 5. Далее, смесь подают в пастеризатор 7 с помощью центробежного насоса 6, где термообработку проводят при температуре

90°C. После этого пастеризованную смесь требуется охладить в емкости для охлаждения 8 с краткосрочным последующим хранением [105].

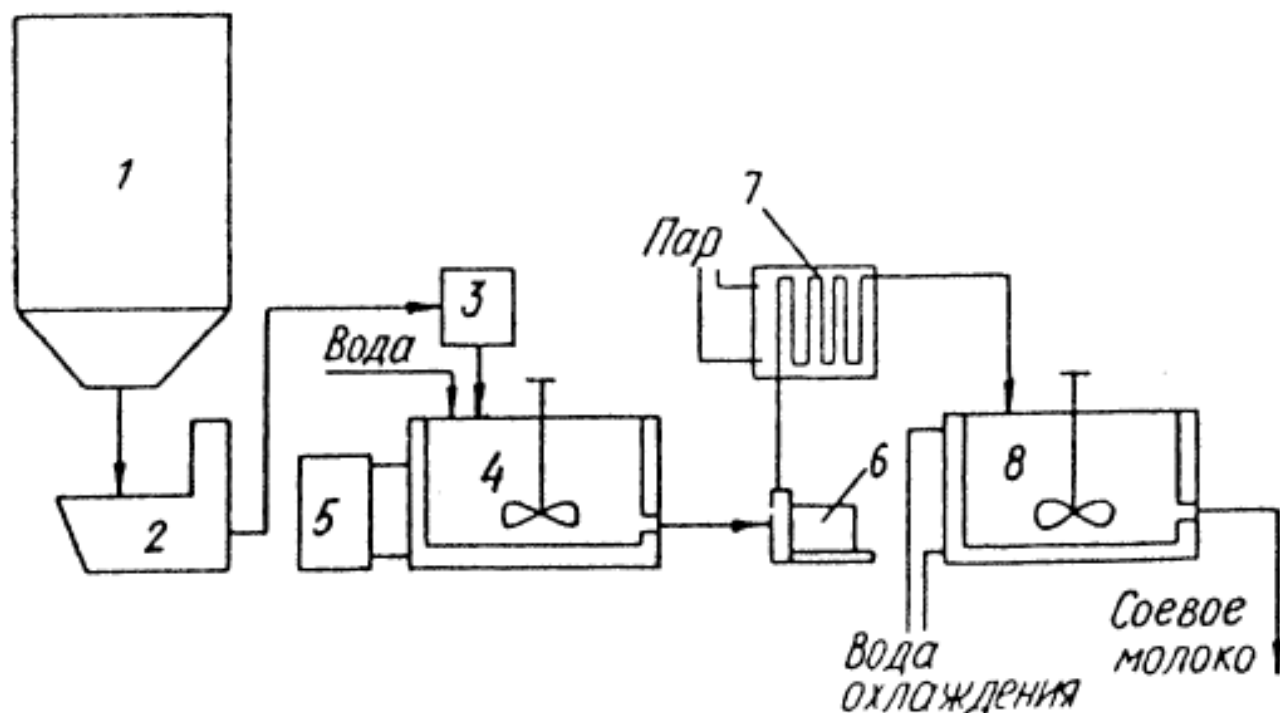


Рисунок 1.8 – Схема технологической линии получения соевой кормовой добавки, разработанная в ДальНИИМЭСХ: 1 – бункер хранения семян сои; 2 – дробилка КДУ-2; 3 – дозатор; 4 – емкость для экстракции; 5 – электродный водонагреватель ЭПЗ-100; 6 – центробежный насос; 7 – пастеризатор; 8 – емкость для охлаждения.

Совершенно иная конструктивно-технологическая схема разработана в АО «Димское» села Новоалександровка, Тамбовского района, Амурской области, представленная на рисунке 1.9. Семена сои совместно с водой загружаются в бункер 1 на 1,5-2 часа. После чего, замоченные семена подаются на измельчитель 2. По пути в вакуумный котел Ж-4-ФПА 4 готовые измельченные семена подвергаются термообработке паром. В течение продолжительного времени происходит варка измельченной массы в котле и на выходе получают готовую суспензию, которую охлаждают в емкости 5. Готовая кормовая добавка из емкости через насос 6 подается непосредственно на скормливание сельскохозяйственным животным или же переливают в подготовленную цистерну 7 [141].

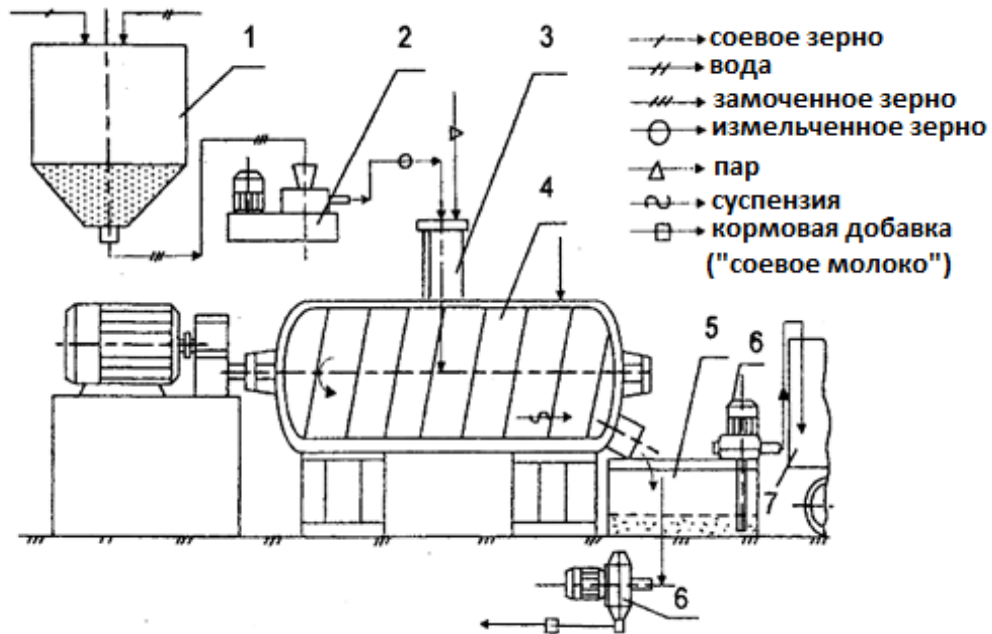


Рисунок 1.9 - Конструктивно-технологическая схема приготовления соевой кормовой добавки в АО «Димское»: 1 - бункер; 2 - измельчитель; 3 - насосы; 4 - вакуумный котел Ж-4-ФПА; 5 - емкость; 6 - насос; 7 - транспортное средство (цистерна)

Технологическая схема по приготовлению соевой кормовой добавки, представленная на рисунке 1.10, была разработана на Московском ГЗИПП. Суть технологии заключается в следующем: норией 4 семена сои подаются в бункер-накопитель 3 или надсепараторный бункер 6 из приемного бункера 1, посредством перекидного клапана 5. Чтобы отмерить необходимое количество семян сои, они взвешиваются автоматическими весами. Для удаления всякого рода механических примесей, семена сои проходят очистку в сепараторе 8, а удалить металлические частицы помогает магнит 25. После очистки, с семян сои снимается поверхностная пленка в наждачной обочной машине 26 и вентилятором отводится в бункер для отходов. Окончательная очистка от поверхностной пленки происходит в дуоспираторе 28. До того, как попасть в промежуточный бункер 11, проводится мойка от остаточных примесей в моечной машине 27 с последующей сушкой в сушилке 9. Через перекидной клапан семена сои попадают на первоначальное измельчение, которое происходит в дробилке 13 или же напрямую в бункер 24, из которого в

дальнейшем пресс-экструдером 23 происходит их истирание и сжатие. В пресс-экструдере полученная масса подвергается нагреву до температуры 140°C с прилагаемым давлением в 2,8 Мпа. Для отжима масла, пресс-экструдер может быть снабжен веерными пластинами. Во время работы пресс-экструдера, в нем образуется вспененная масса, которая легко растворяется в воде. После того как масса прошла через пресс-экструдер, она подается в смеситель 22 с подводом дозированного объема воды с последующим растворением при температуре $75-85^{\circ}\text{C}$. Нерастворенные частицы, находящиеся в полученной смеси, отфильтровываются, затем происходит процесс пастеризации, охлаждения и заполнения в баки 20 для хранения готовой продукции при температуре $8-10^{\circ}\text{C}$. Для того чтобы увеличить питательную ценность готового продукта, допускается добавить соль и витамины [15, 16].

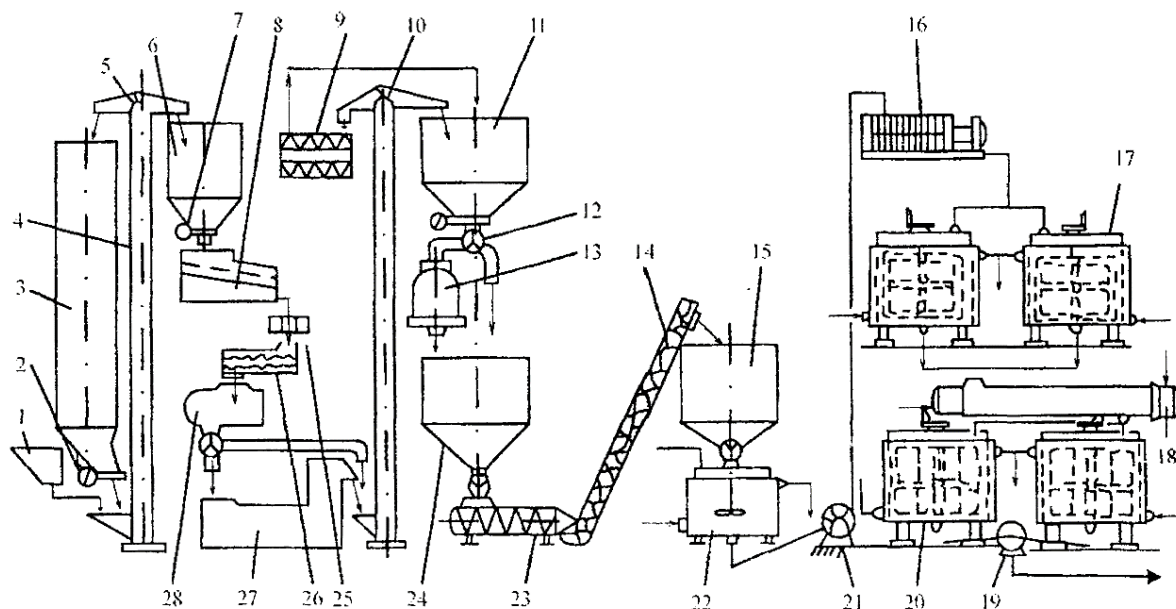


Рисунок 1.10 – Конструктивно-технологическая схема линии переработки семян сои: 1 - приемный бункер; 2,7 - ручные задвижки; 3,24 - бункер накопитель; 4,10 - нории; 5,12 - перекидные клапаны; 6 - надсепараторный бункер; 8 - сепаратор; 9 - сушилка; 11 - промежуточный бункер; 13 - дробилка; 14 - шнек-охладитель; 15 - бункер; 19,21 - насосы; 20 - баки; 22 - смеситель; 23 - пресс-экструдер; 25 - магнит; 26 - наждачная обочная машина, 27 - моечная машина; 28 - дуоаспиратор

Другая технологическая линия получения комовой добавки, была разработана и смонтирована в условиях хозяйства «Заря коммунизма» Братского района,

Николаевской области. Данная технологическая линия представлена на рисунке 1.11.

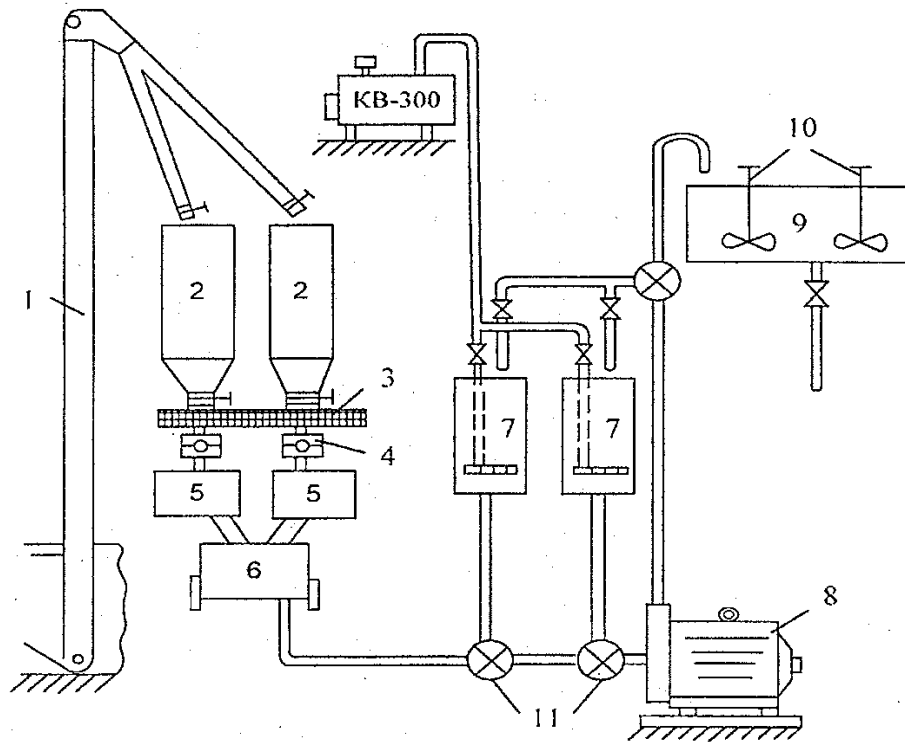


Рисунок 1.11 – Конструктивно-технологическая схема линии по приготовлению соевой кормовой добавки в хозяйстве «Заря коммунизма» Братского района, Николаевской области: 1 - нория; 2 - емкость для замачивания семян; 3 - шнек реверсивный; 4 - дозаторы; 5 - дробилки; 6 - емкость для переработанных семян сои; 7 - емкость для запаривания; 8 -насос; 9 - ёмкость для готовой продукции; 10 - мешалки; 11 - трехходовой кран

Принцип работы: в емкости 2, вместимость которых составляет 3 м^3 , норией 1 подаются семена сои, с дальнейшим замачиванием на протяжении 16 часов. После чего семена отправляются на дробилку 5, оснащенную решетом с мелким диаметром отверстий. Затем, в емкости 6 измельченная масса смешивается с водой и насосом 8 перекачивается в емкости 7 с последующим запариванием. Котлом KB-300 полученная масса проходит термическую обработку паром и насосом направляется в охлаждающую емкость для готовой продукции 9. Чтобы добиться однородности полученной массы, подключают установленные в емкости мешалки 10 [149].

Работники предприятия «Сигма» подобрали оборудование и объединили его в единую технологическую линию. По их мнению, подобная линия может использоваться на молочных фермах, комбинатах и фермерских хозяйствах. Схема этой технологической линии представлена на рисунке 1.12.

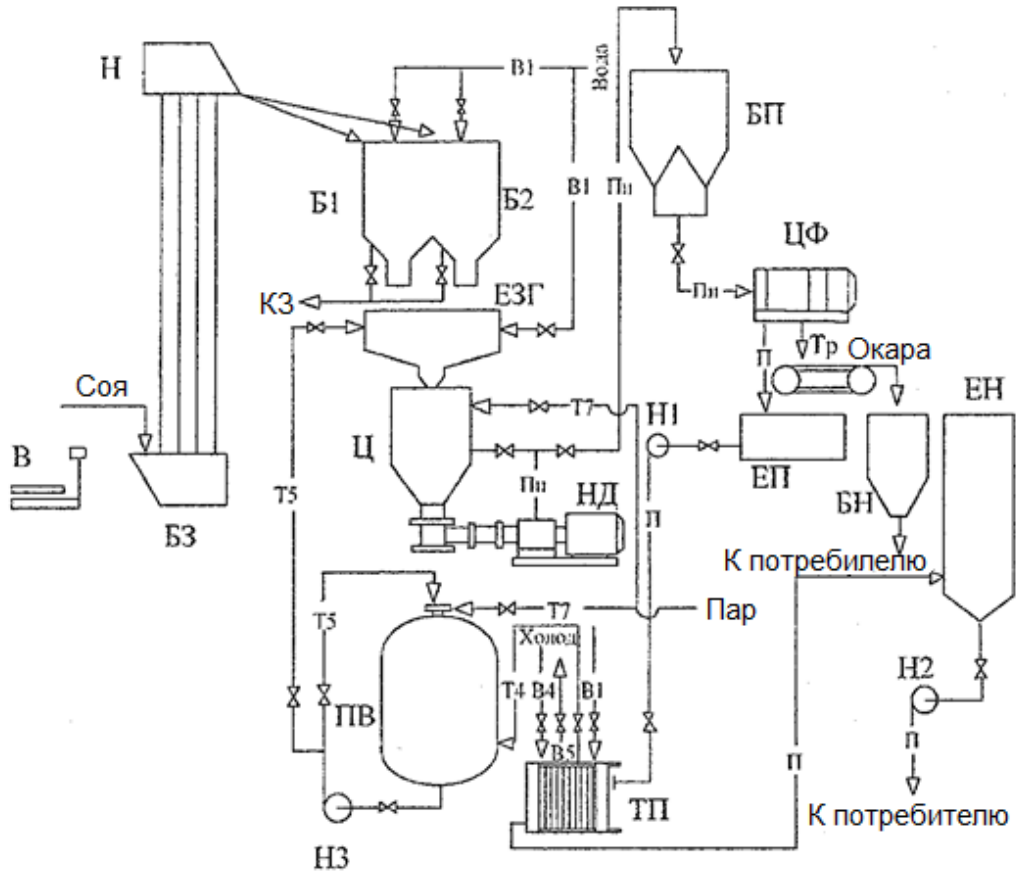


Рисунок 1.12 – Конструктивно-технологическая схема линии по производству кормовой соевой кормовой добавки: В - весы; ЕП - емкость промежуточная; БЗ - бункер загрузочный; ТП - теплообменник; Н - нория; ЕН - емкость накопительная; Б1, Б2 - бункер для замачивания сои; Тр - транспортер; ЕЗГ - емкость загрузочная; БН - бункер накопитель; Ц - циклон; ПВ - бойлер; НД - насос - диспергатор; Н1, Н2 - насос молочный; БП - бак промежуточный; НЗ - водяной насос; ЦФ - центрифуга; В1 - вода питьевая; В4 - вода ледяная подаваемая; Пн - продукт неочищенный; В5 - вода ледяная обратная; П - продукт; Т4 - вода теплая; КЗ - слив в канализацию; Т5 - вода горячая; Т7 - пар

Процесс приготовления кормовой добавки происходит следующим образом: загрузка заранее подготовленных и взвешенных семян сои в загрузочный бункер

для последующего замачивания, осуществляется норией. Из загрузочного бункера семена сои попадают в циклон, который заблаговременно залили горячей водой. В циклоне происходит циркуляция горячей воды в пределах замкнутого контура за счет насоса-диспергатора, с набором заданной температуры посредством пара. Во время нахождения семян сои в циклоне происходит череда процессов, такие как, измельчение, вызываемое кавитацией, вымывание белка, инактивация антипитательных веществ. Из циклона приготовленная суспензия насосом-диспергатором подается в промежуточный бак. Затем данная суспензия проходит очистку от окары в центрифуге. Окара, после отделения от суспензии, транспортером выводится в накопительный бункер с последующим использованием в рационах животных. Пройдя этап очистки, полученная суспензия перекачивается в теплообменник для охлаждения, с дальнейшим хранением в накопительной емкости с возможностью реализации [32, 71].

На рисунке 1.13 представлена технологическая линия, разработанная Санкт-Петербургским технологическим институтом совместно с НПО «Масложирпром» для производства кормовой добавки на основе семян сои. Данная технологическая линия обслуживается посредством 3 рабочих.

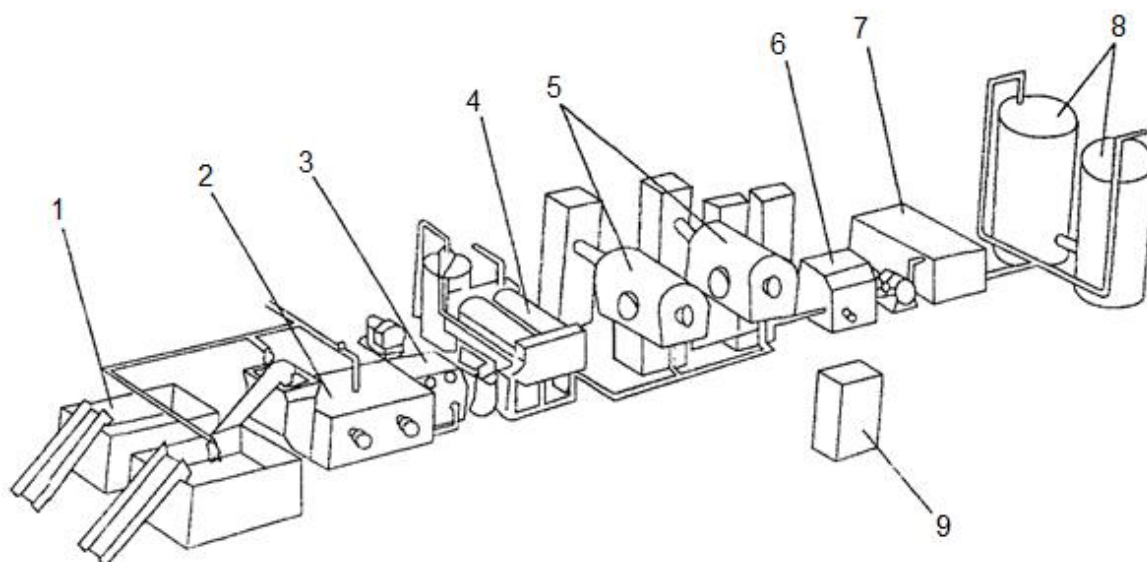


Рисунок 1.13 – Общий вид линии для производства соевого молока (разработка НПО «Масложирпром»): 1 - емкости для замачивания; 2 - смеситель; 3 - измельчитель; 5 - активаторы; 6 - гомогенизатор; 7 - охладитель; 8 - ёмкости для сухой соевой основы; 9 - пульт управления.

Проанализировав все вышеперечисленные методы и технологии, можно сделать вывод, что растительный (соевый) белок имеет богатый состав аминокислот, довольно хорошую усвояемость, обширный состав полинасыщенных жирных кислот без холестерина. Следует добавить, что растительные (соевые) белки имеют особую структуру в основном за счет технологии их производства.

Анализируя технологические схемы получения кормовых добавок, стоит отметить, что в большинстве схем присутствует процесс замачивания семян сои. Данный процесс очень важен в приготовлении кормовых добавок, так как облегчает распад антипитательных веществ, сокращает время на измельчение, повышает выход сухого вещества.

Цельное и обезжиренное молоко в рационах животных все чаще заменяется растительными и соевыми кормовыми добавками, которые используются на ранних стадиях откорма сельскохозяйственных животных, например, для кормления поросят, телят и ягнят, в виде дополнительного корма или дополнительных витаминных добавок к основному.

Таким образом, применение в рационах животного данного кормового продукта поможет хозяйствам снизить затраты на приобретение заменителей молока и сэкономить существенное количество цельного молока.

1.3 Обзор технических средств по производству кормовой добавки

К множеству физико-механических показателей первичного сырья, различным технологическим процессам со своими особенностями производств, а также к степени измельчения и однородности конечных размеров и форм частиц корма применяются нормативы, требующие создания различных типов средств по приготовлению кормовых продуктов [36, 48, 49].

В кормопроизводстве широкое распространение получили различные конструкции измельчающих устройств и машин. Во всех машинах используемых для

механического приготовления кормов, основными операциями их являются: разбивание свободным ударом, растирание, плющение или раздавливание, резание, скалывание или крошение.

Аппараты для переработки семян сои в различную готовую продукцию выпускают такие страны как Чехия, Китай, Южная Корея, Япония, Канада и другие. В России и ряде стран СНГ (бывшего СССР ближнего зарубежья), также выпускаются аппараты, мало чем отличающиеся, конструктивно. Ниже представлены наиболее популярные на рынке аппараты для переработки семян сои. Они

Автоматическая промышленная соевая машина ЕТ-10А с рабочим объемом варочного бака 40 литров, является разработкой компании ЕТОН со встроенной мельницей для помола в общем корпусе машины (рисунок 1.14). Принцип работы состоит в измельчении замоченных семян сои посредством, абразивных дисков, установленных в общем корпусе машины, с разделением на твердую и жидкую фракцию. По конструктивным особенностям схожи машины марок: Bean TGM-100, M-16, M-18, F-16, F-15, YQ-135.



Рисунок 1.14 – Общий вид автоматической промышленной соевой машины ЕТ-10А

Соевая машина FC-310 с рабочим объемом на 14 литров, выпускается фирмой FENG XIANG FOOD MACHINERY (рисунок 1.15). Принцип работы данной машины заключается в том, что в рабочую камеру загружаются предварительно замоченные семена сои и в дальнейшем происходит измельчение с разделением на твердую и жидкую фракцию посредством установленных на валу электродвигателя в нижней части аппарата спаренных ножей.



Рисунок 1.15 – Общий вид соевой машины FC-310

Конструктивно, машина схожа с такими марками как: Lecon LC-D25H12, LC-D25H20 и другими.

На рисунке 1.16 представлена другая конструкция измельчающей установки. Следующие измельчители отличаются тем, что рабочий орган представлен в виде спаренных ножей закрепленных на валу. Процесс приготовления выглядит следующим образом. Замоченные семена сои совместно с водой в соотношении 1:8 заполняют установку, далее накрывается плотной крышкой, вал вращаемый электродвигателем с закрепленными на нем ножами создают вихревое движение

продукта за счет чего и происходит измельчение. Вся измельченная жидкая фракция сливается через кран.



Рисунок 1.16 – Измельчитель Lecon LC-D25H12: а – общий вид; б – рабочий орган установки.

Таким образом, как показал проведенный анализ технических средств по получению соевой кормовой добавки, они имеют ряд недостатков: большую металлоемкость, использование абразивных элементов на основе полимерных смол, небольшой срок службы рабочих органов. Для реализации данного подхода необходимо провести изыскания в направлении разработки, например, щеточно-стирающего рабочего органа, так как большинство представленных аппаратов не способны в достаточной степени измельчать волокнистые продукты, такие как свекла, тыква, морковь.

1.4 Выводы по главе

Проведя анализ литературных и патентных источников установлено, что в настоящее время проблема получения и использования кормовых добавок для молодняка сельскохозяйственных животных не решена полностью.

Получение сухих кормовых добавок связано с высокими затратами труда и средств, обусловленными необходимостью использования распылительной сушилки, предусматривающей предварительное сгущение жидкообразного молочного и белкового соевого сырья. Высокозатратными являются также и технологии на основе использования термообработанных соевой крупки и муки.

Наиболее целесообразной технологией для малых и средних ферм является приготовление кормовых добавок на основе замоченного соевого зерна непосредственно в хозяйствах с помощью специальных малогабаритных установок. Однако, при всех достоинствах такой высокобелковой культуры, как соя, в ее составе отсутствует β -каротин. Использование для производства кормовых добавок соево-морковных, соево-тыквенных композиций позволяет исключить недостаток в рационах молодняка естественной формы β -каротина, витамина Е и белка.

В то же время, как показал анализ имеющихся данных по использованию таких композиций в технологиях механизированного кормления молодняка сельскохозяйственных животных, эффективных технологических средств для этих целей не имеется. Известные абразивные и другого вида рабочие органы не обеспечивают требуемой степени измельчения частиц корнеплодов, а также надежного выполнения рабочего процесса из-за волокнистой структуры их поверхности.

Следовательно, для эффективного изменения состава и свойств соево-корнеплодных композиций необходимо создание специального рабочего органа, обеспечивающего выполнение процессов по дезинтеграции указанного вида сырья в водной среде, экстракции количества питательных веществ, не ниже требуемого по зоотехническим нормам, а также отделения нерастворимого жомового остатка с его дальнейшей переработкой для получения белково-углеводно-витаминного концентрата, имеющего достаточно длительный срок хранения.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПОЛУЧЕНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ СОЕВО-КОРНЕПЛОДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕ-ЭКСТРАКЦИОННОГО УСТРОЙСТВА

2.1 Разработка структурной схемы измельчающе-экстракционного устройства и математической модели его функционирования

На первоначальном этапе исследований, был проведен анализ по сбору данных о наличии существующих технологических операций и устройств, с помощью которых процесс получения кормовой добавки осуществлялся совместно с другими компонентами. По итогу проделанной работы разработана их классификация, позволяющая определить направление в разработке технических средств данного назначения (рисунок 2.1).

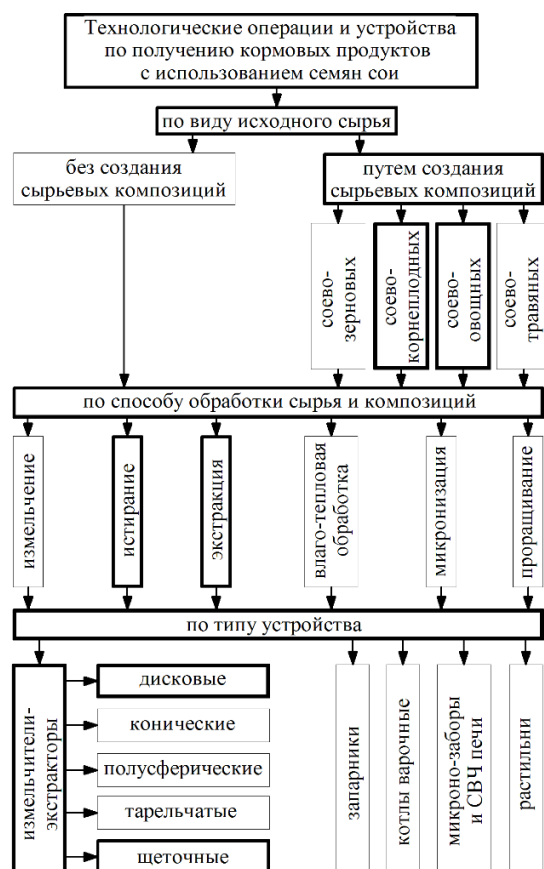


Рисунок 2.1 – Схема классификации технологических операций и технологических средств по получению кормовой добавки с использованием семян сои

Основываясь на результатах этого анализа, была разработана формализованная структурно-функциональная схема измельчающе-экстракционного устройства для получения кормовой добавки с добавлением дополнительных продуктов, улучшающих их основные показатели (рисунок 2.2).

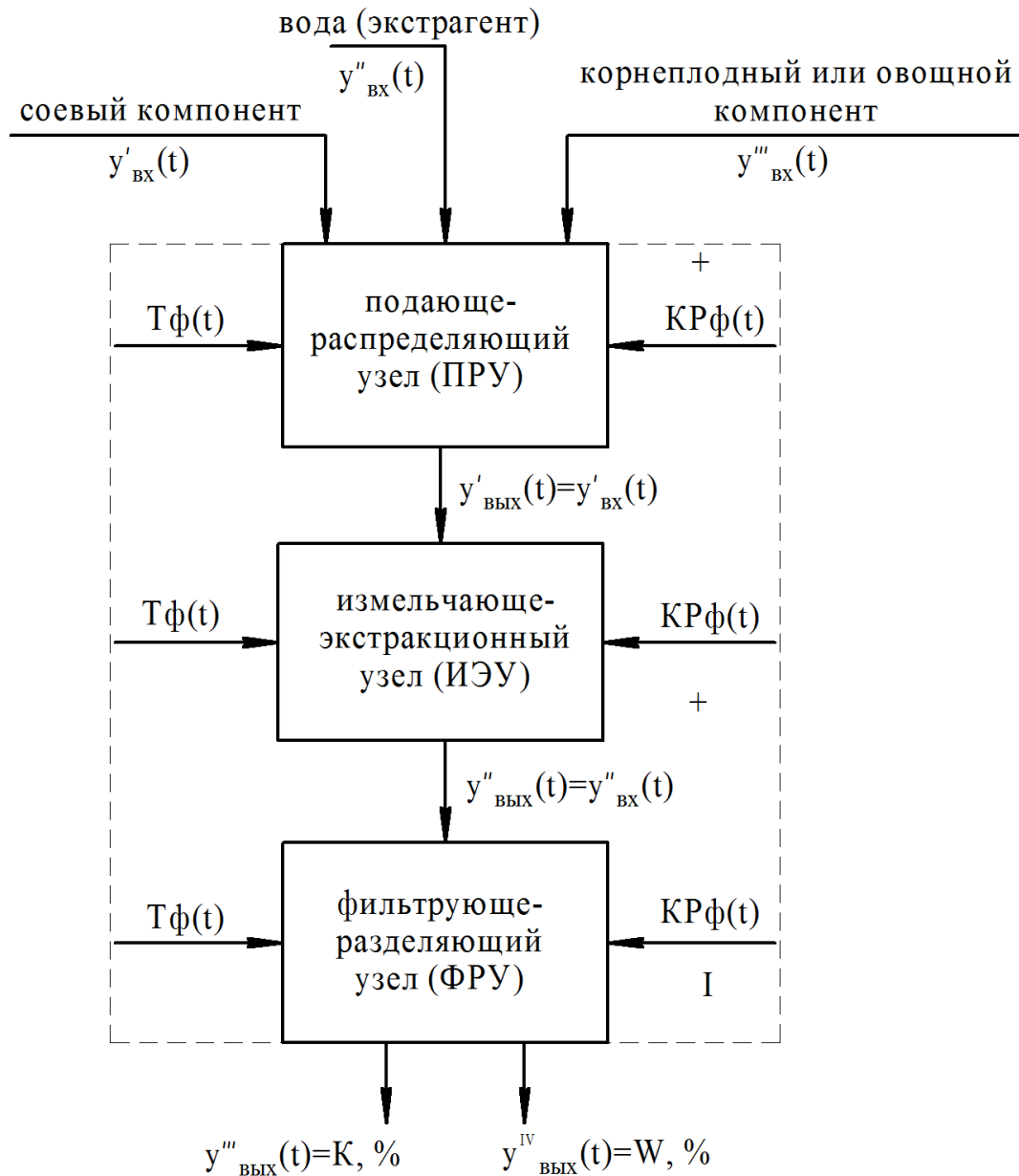


Рисунок 2.2 – Формализованная структурно-функциональная схема измельчающе-экстракционного устройства для получения кормовой добавки на основе соево-корнеплодных композиций: где – $T\phi$ – технологические факторы; $KP\phi$ – конструктивно-режимные факторы; $K, \%$ - концентрация питательных веществ в соевом белке (в форме СВ); $W, \%$ - влажность жомового остатка; СВ – сухое вещество.

Данная структурно-функциональная схема (рисунок 2.2) показывает процесс извлечения питательных веществ на основании трех стадий. Так, для каждой стадии обосновываются конструктивно-режимные факторы.

2.2 Разработка модели функционирования измельчающе-экстракционного устройства путем обоснования процесса извлечения сухих веществ из соево-корнеплодной композиции

Рассматривая процесс в ходе, которого питательные вещества подвергаются извлечению из соево-корнеплодной сырьевой композиции заданным способом, исходим из такого допущения, что концентрация сухих веществ $\frac{dK}{dt}$ изменяется со скоростью пропорциональной достигнутому уровню питательных веществ (ПВ), тем самым, относительная скорость их роста $\frac{1}{K} \frac{dK}{dt}$ остается постоянной.

Устанавливать закономерность, определения достигнутого уровня концентрации сухих веществ (СВ) в зависимости от времени их измельчающе-экстракционно-разделяющей обработки (ИЭРО) – $t_э$ будем находить посредством дифференциального уравнения:

$$\frac{1}{K} \cdot \frac{dK}{dt_э} = \gamma \text{ или } \frac{dK}{dt_э} = K \cdot \gamma, \quad (2.1)$$

где γ – эмпирический коэффициент, характеризующий состав сырья по питательности в исходных композициях ($\gamma > 0$);

$t_э$ – время извлечения СВ, с.

Решение данного уравнения имеет вид экспоненты:

$$K = C \cdot e^{\gamma t_э}, \quad (2.2)$$

где C – постоянная, характеризующая некоторый начальный уровень извлечения питательных веществ.

В тех случаях, когда условия измельчающе-экстракционно-разделяющей обработки изменяются (момент выхода пульпы из междискового пространства), экспоненциальный закон роста концентрации сохраняется не всегда. Таким образом,

процесс при котором происходит извлечение сухих веществ представляется следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dK}{dt_3} = \gamma \cdot K(A - K) (\gamma > 0; 0 < K < A), \quad (2.3)$$

где A – постоянная, характеризующая максимальное значение концентрации питательных веществ в экстрагенте (воде), %.

Относительная скорость роста концентрации ПВ приобретает характер линейной:

$$\frac{1}{K} \cdot \frac{dK}{dt_3} = \gamma(A - K). \quad (2.4)$$

Это уравнение ничто иное как уравнение с разделяющимися переменными. Если разделим переменные и возьмем интегралы от обеих его частей, то получим:

$$\frac{dK}{K(A - K)} = \gamma dt_3, \text{ или } \int \frac{dK}{K(A - K)} = \gamma t_3 + C. \quad (2.5)$$

В связи с тем, что:

$$\int \frac{dK}{K(A - K)} = \frac{1}{A} \int \left(\frac{1}{K} + \frac{1}{A - K} \right) dK = \frac{1}{A} \ln \frac{K}{A - K}. \quad (2.6)$$

то можно записать следующее решение уравнения:

$$\frac{1}{A} \ln \frac{K}{A - K} + \frac{1}{A} \ln C = \gamma t_3. \quad (2.7)$$

Полученное решение преобразуется путем потенцирования:

$$\frac{CK}{A - K} = e^{A\gamma t_3}; CK = (A - K) \cdot e^{A\gamma t_3}; \quad (2.8)$$

$$K \cdot (C + e^{A\gamma t_3}) = A \cdot e^{A\gamma t_3}; K = \frac{A \cdot e^{A\gamma t_3}}{C + e^{A\gamma t_3}}. \quad (2.9)$$

Чтобы показателя концентрации ПВ окончательно имеем, что:

$$K = \frac{A}{1 + C \cdot e^{-A\gamma t_3}}. \quad (2.10)$$

Рассматривая полученное выражение как математическую модель функционирования устройства, приходим к тому, что на эффективность процесса извлечения СВ оказывает ряд факторов, такие как длительность разрушения частиц в водной среде, экстракция ПВ и отделение твердого нерастворимого остатка или жома.

Интенсивность извлечения СВ в начальный момент прохождения экстракционного процесса характеризуется параметром А.

Как видим, небольшой промежуток времени обеспечивает повышение эффективности работы измельчающе-экстракционного устройства, заключающемся в извлечении наибольшего количества СВ. Именно поэтому, необходима разработка измельчающе-экстракционно-разделяющего рабочего органа, который обеспечивая интенсивное воздействие на измельчаемое сырье путем стремительного разрушения его на более мелкие фракции с интенсивным промыванием водой и фильтрацией жома.

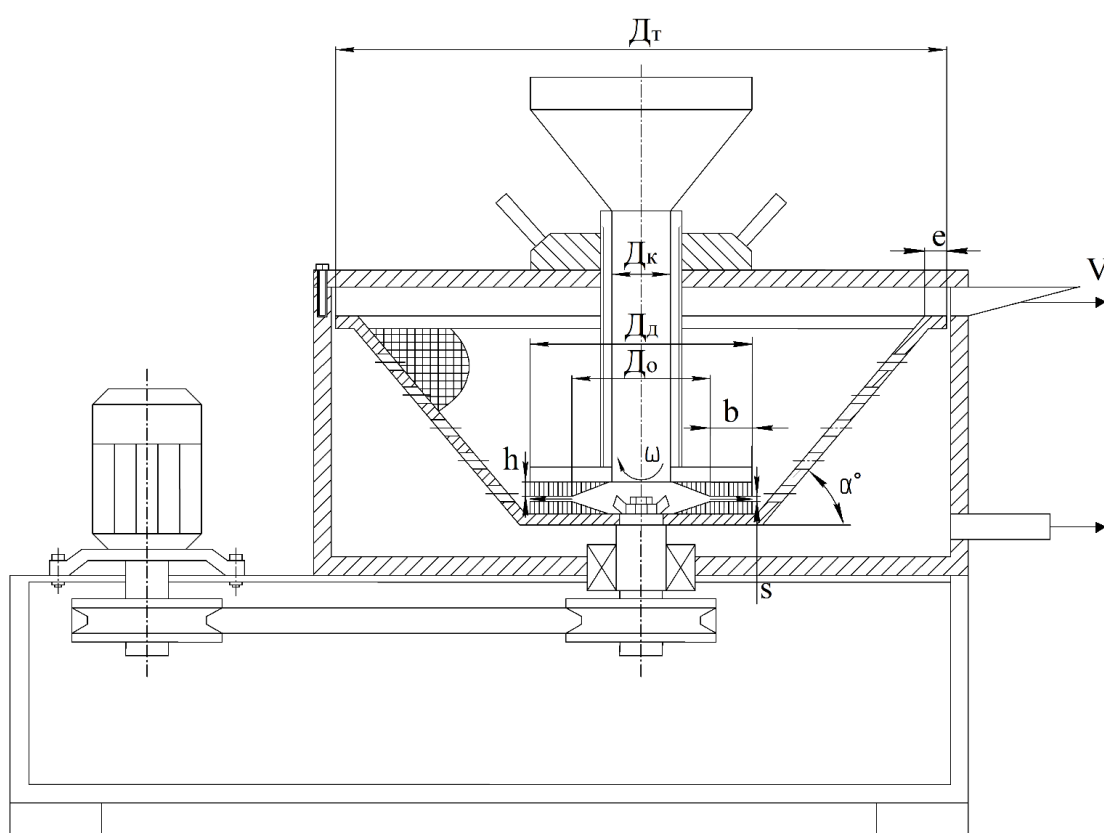


Рисунок 2.3 – Схема к расчету параметров измельчающе-экстракционного устройства: D_t – диаметр конического диска, м; D_k – диаметр патрубка, м; D_d – диаметр дисков, м; D_o – диаметр начала расположения ворса, м; b – ширина ворса, м; ω – угловая скорость ротора, c^{-1} ; h – высота ворса, м; s – зазор между дисками, м; α – угол наклона конической тарелки, град.; e – ширина края конической тарелки, м;

V – скорость выхода жомового остатка, м/с.

Руководствуясь патентным поиском и проводя анализ технологий, была проведена работа по созданию устройства для получения кормовой добавки (патент на

изобретение РФ № 2624947), рабочие органы которого соответствовали бы решаемой задаче, а именно извлечения наибольшего количества питательных веществ (рисунок 2.3) [109]. Рабочие органы дискового типа, движущаяся поверхность истирает поступаемые на нее продукты переработки. Истирающая поверхность представляет собой металлические ворсины, размещенные на дисках.

Решая техническую задачу, необходимо определить по какой траектории будет двигаться частица относительно истирающей поверхности нижнего диска, радиус которого – R_d и вращается с угловой скоростью – ω , при условии того, что верхний диск неподвижен.

Принимая во внимание то, что точка O это начало координат, а угол α образуется с осью OX касательной в произвольной точке $A(x; y)$ искомой кривой. Через угол (обозначим угол φ), образованный с осью OX радиусом-вектором этой точки. В этой связи имеем, что $\alpha = \varphi + \psi$ (рисунок 2.4).

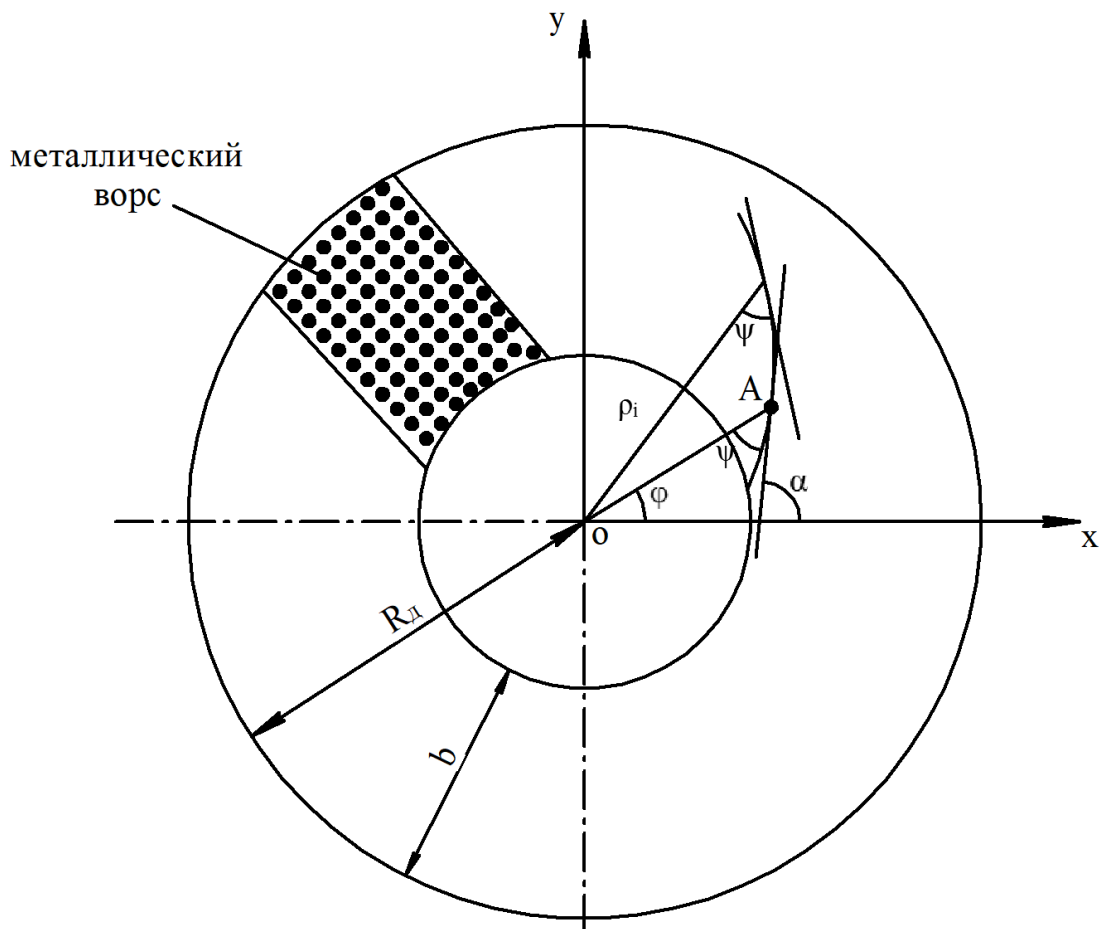


Рисунок 2.4 – Схема к определению уравнения траектории движения частиц пульпы в водно-соево-корнеплодной композиции

Для данного равенства тангенсы этих углов будут равны:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \psi}{1 - \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \psi}. \quad (2.11)$$

В связи с тем, что $\operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dx}$, а $\operatorname{tg} \varphi = y/x$, то в результате имеем:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{(y/x) + \gamma}{1 - \gamma y/x}, \quad (2.12)$$

где принято, что $\operatorname{tg} \psi = \gamma$, а потому уравнение (2.12) есть однородное уравнение.

Примем, что $y/x = \rho$ и, тогда $\frac{dy}{dx} = x \frac{d\rho}{dx} + \gamma$ и, следовательно получаем уравнение с разделяющимися переменными:

$$x \frac{d\rho}{dx} + \rho = \frac{\rho + \gamma}{1 - \gamma \rho}, \text{ или } x(1 - \gamma \rho) \cdot \frac{d\rho}{dx} = \gamma(\rho^2 + 1). \quad (2.13)$$

Разделяя переменные получим, что:

$$\frac{1 - \gamma \cdot \rho}{\rho^2 + 1} d\rho = \gamma \frac{dx}{x}. \quad (2.14)$$

В результате получаем общий интеграл:

$$\operatorname{arctg} \rho - \frac{\gamma}{2} \ln(\rho^2 + 1) = \gamma \ln x - \gamma \ln c. \quad (2.15)$$

После определенных преобразований, имеем:

$$(x^2 + y^2)^{0,5} = c \cdot e^{\frac{1}{\gamma} \operatorname{arctg} \frac{y}{x}}. \quad (2.16)$$

В полярных координатах общее решение данного уравнения имеет следующий вид:

$$R_{gi} = c \cdot e^{\frac{\varphi}{\gamma}}. \quad (2.17)$$

Из проведенного теоретического анализа, подтверждается гипотеза о том, что в разрабатываемом рабочем органе, частицы продукта движутся по собственной траектории. Движение частиц по данной траектории обеспечивает более эффективное извлечение ПВ из СКСК.

2.3 Обоснование параметров работы истирающих элементов измельчающе-экстракционного устройства

Как было показано ранее, истирающий элемент рабочего органа ИЭУ, содержащий упругие металлические элементы, взаимодействует с частицами соево-корнеплодных композиций в водной среде, в результате чего образуется, так называемая «пульпа».

На рисунке 2.5 представлена расчетная схема к обоснованию параметров металлического ворса, который должен обладать определенной упругостью.

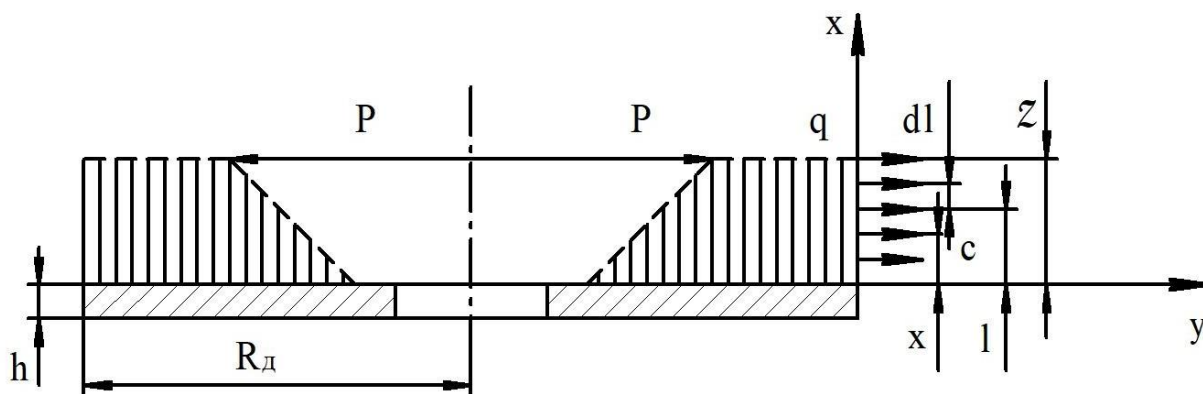


Рисунок 2.5 – Расчетная схема к обоснованию параметров металлического ворса ИЭУ

Для решения поставленной технической задачи воспользуемся известным выражением в виде дифференциального уравнения изогнутой оси балки [132]:

$$y'' = \pm \frac{M(x)}{EJ}, \quad (2.18)$$

где E – модуль Юнга (модуль упругости первого рода);

J – момент инерции поперечного сечения.

Найдем момент $M(x)$ в сечении bc на расстоянии x от заземленного конца металлической ворсины.

Изгибающий момент в сечении bc , возникающий от действия силы ρ равен:

$$M_1(x) = -\rho(Z - x), \quad (2.19)$$

где Z – длина (высота) ворсины, м.

Рассмотрим элемент dl для последующего определения изгибающего момента от распределенной нагрузки в виде силы $q dl$.

Момент в сечении bc на участке dl равен:

$$dM_2(x) = -q(1-x)dl. \quad (2.20)$$

Момент от всей совокупной нагрузки должен быть равен сумме:

$$\begin{aligned} M_2(x) &= -q \int_x^e (1-x)de = -q \frac{(1-x)^2}{2} \Big|_{1=x}^Z = \\ &= -q \frac{(Z-x)^2}{2} = 0,5(Z-x)^2. \end{aligned} \quad (2.21)$$

Момент изгибающий от двух видов нагрузки – сосредоточенной ρ и распределенной – q , определится как сумма моментов:

$$y'' = \frac{1}{EJ} \left[\rho(Z-x) + q \frac{(Z-x)^2}{2} \right]. \quad (2.22)$$

Величины E и J являются постоянными поэтому интегрирование дает два уравнения:

$$y' = -\frac{1}{EJ} [\rho(Zx - 0,5x^2) + 0,5q(Z^2x - Zx^2 + 0,33x^3)] + c_1, \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned} y &= -\frac{1}{EJ} [\rho(0,5Zx^2 - 0,167x^3) + 0,5q(0,5Z^2x^2 - 0,33Zx^3 + 0,083x^4)] + \\ &+ c_1x + c_2. \end{aligned} \quad (2.24)$$

Исходя из начальных условий $y|_{x=0} = y'|_{x=0} = 0$, имеем $c_1 = c_2 = 0$ и форма изогнутой оси ворса:

$$\begin{aligned} y &= -\frac{64}{\pi \cdot E \cdot d^4} [\rho(0,5Zx^2 - 0,167x^3) + \\ &+ 0,5q(0,5Z^2x^2 - 0,33Zx^3 + 0,083x^4)]. \end{aligned} \quad (2.25)$$

Максимальный прогиб не должен превышать допускаемого $[y]$ и тогда имеем:

$$y|_{x=Z} = -\frac{64}{\pi \cdot d^4 \cdot E} (0,33 \cdot \rho \cdot Z^3 + 0,125qZ^4) \leq [y], \quad (2.26)$$

где d – диаметр металлической ворсины, мм.

Максимальное напряжение в ворсе из условия прочности также не должно превышать допустимого:

$$\sigma_{\max} = \frac{0,5(Z - x)^2}{W_x} = \frac{16(Z - x)^2}{\pi \cdot d^3} \leq [\sigma]. \quad (2.27)$$

Из всего вышеперечисленного делается вывод, что дальнейшее решение задачи сводится к подходящему выбору длины ворса, размещаемому на истирающей поверхности диска, его диаметра и марки стали для ворсин.

2.4 Обоснование пропускной способности измельчающе-экстракционного узла и его параметров

Руководствуясь схемой к расчету параметров, приведенной выше на рисунке 2.3, на пропускную способность измельчающе-экстракционного узла влияют – плотность размещения металлического ворса – F (шт/см²), угловая скорость активного (нижнего) диска – ω (с⁻¹) и зазор между истирающими дисками – s .

Для того чтобы получить аналитическую зависимость, необходимо составить уравнение баланса, дабы проследить измельчение частиц в пульпе до и после их подачи к истирающим дискам измельчающе-экстракционного узла:

$$\frac{4}{3} \pi \cdot a_{3i} \cdot b_{3i}^2 = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot d_3^3}{6}, \quad (2.28)$$

где a_{3i}, b_{3i} – размер полуосей замоченного семени сои, принятого за эллипсоид, м;

λ – степень измельчения семени сои;

d_3 – эквивалентный диаметр частицы, полученный в результате измельчения, м.

Решение равенства (2.28) относительно степени измельчения λ дает следующее уравнение:

$$\lambda = \frac{8 \cdot a_{3i} \cdot b_{3i}^2}{d_3^3}. \quad (2.29)$$

Решая уравнение (2.29), относительно конечного размера измельченных частиц имеем, что:

$$d_3^3 = \frac{8a_{3i} \cdot b_{3i}^2}{\lambda}. \quad (2.30)$$

или

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{8a_{3i} \cdot b_{3i}^2}{\lambda}} \leq s. \quad (2.31)$$

Массовый расход измельчающе-экстракционного устройства составляет:

$$Q_{изу} = V_{\Delta} \cdot \rho \cdot n = 9,55V_{\Delta} \cdot \rho \cdot \omega, \quad (2.32)$$

где V_{Δ} – объем соево-корнеплодного материала, распределенного в ИЭУ на участке длиной ΔR_d согласно рисунку 2.6, m^3 ;

ρ – плотность композиции в камере ИЭУ, kg/m^3 ;

ω – угловая скорость нижнего диска, c^{-1} ; $\omega = \frac{\pi n}{30}$; $n = \frac{30\omega}{\pi} = 9,55\omega$.

На рисунке 2.6 представлена расчетная схема ИЭУ.

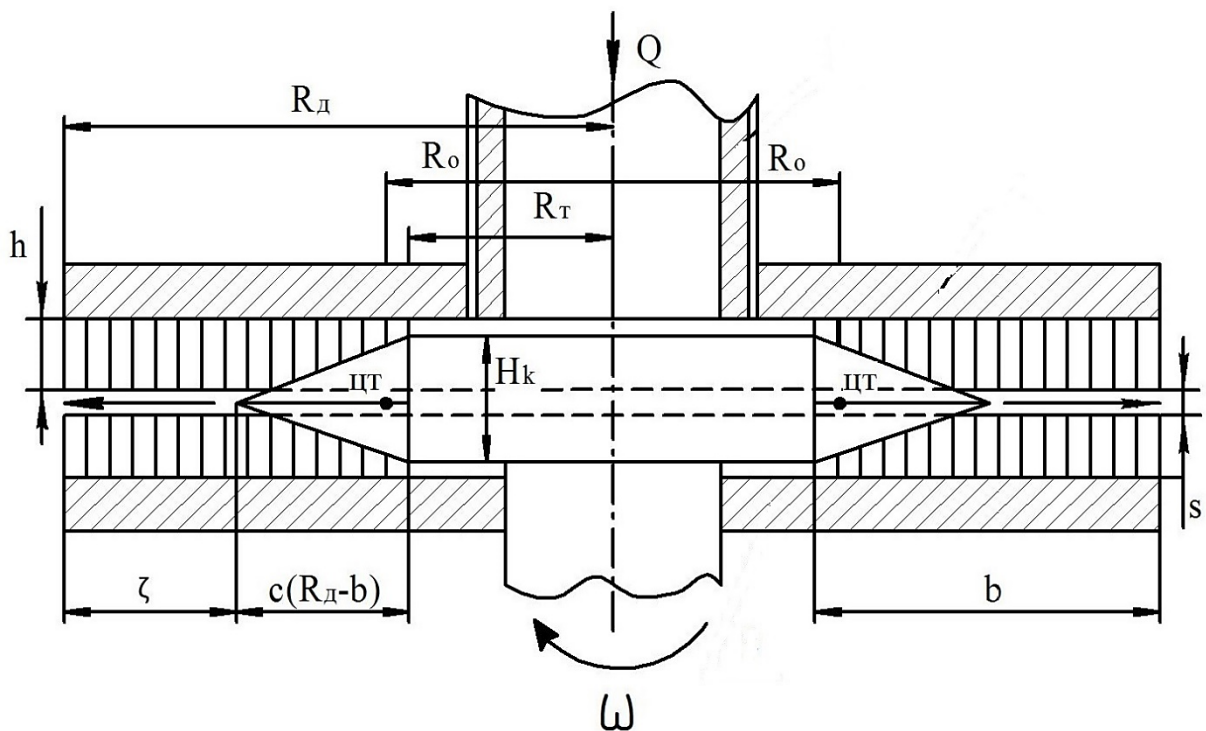


Рисунок 2.6 – Схема к расчету параметров ИЭУ

Объем кольца треугольного сечения, с высотой треугольника, равной s ($R_d - b$),

где s – коэффициент пропорциональности равен:

$$V_{\Delta} = 2\pi \cdot R_o \cdot F_{\Delta}, \quad (2.33)$$

где R_o – расстояние от оси вращения диска до центра тяжести треугольного сечения кольцевой фигуры, м.

F_{Δ} - площадь поперечного сечения кольцевой фигуры, m^2 .

При этом:

$$R_o = R_T + c(R_d - b)/3. \quad (2.34)$$

и

$$F_{\Delta} = c(R_d - b) \cdot H_k, \quad (2.35)$$

где R_d – радиус диска, м;

b – ширина кольца на основе металлического ворса, м;

H_k – высота камеры ИЭУ, м.

Подставив выражения для определения V_{Δ} , R_o и F_{Δ} в равенство (2.32), получим, что:

$$Q_{изу} = 2\pi \cdot \left[R_T + \frac{c(R_d - b)}{3} \right] \cdot c(R_d - b) \cdot H_k. \quad (2.36)$$

С другой стороны, пропускная способность ИЭУ определяется как:

$$Q_{изу} = 2\pi \cdot R_{изм} \cdot R_d \cdot s, \quad (2.37)$$

где $R_{изм}$ – коэффициент пропорциональности, характеризующий выход готового продукта с единицы площади междискового пространства, размером равным – s [находится в пределах 2-3 кг/(с·м²)].

Данный коэффициент связан с размером кольца, образованного водно-продуктовым слоем – $\zeta_{сл}$ и может быть определен по следующей формуле:

$$R_{изм} = \pi \cdot \zeta_{сл} \cdot \rho_{п} \cdot \beta_{ц} / t_{э}, \quad (2.38)$$

где $\rho_{п}$ – плотность пульпы, кг/м³;

$\beta_{ц}$ – массовая доля частиц продукта в объеме водно-продуктового слоя, кг/м³;

$t_{э}$ – время работы ИЭУ, ч.

Подставляя полученное значение коэффициента из формулы (2.38), в формулу (2.37) получаем, что:

$$Q_{изу} = 2\pi^2 \cdot \zeta_{сл} \cdot \rho_{п} \cdot \beta_{ц} \cdot R_d^3 \sqrt{\frac{8a_{зi} \cdot b_{зi}^2}{\lambda}} / t_{э}, \quad (2.39)$$

Кратность циркуляции пульпы в камере измельчающе-экстракционного узла массой, равной $M_{ц}$ зависит от времени ее движения и пути, равного $S=t_{э} \cdot v_{сл}$, где $v_{сл}$ – скорость движения пульпы.

Тогда имеем, что:

$$K_p = \frac{t_{э} \cdot v_{сл}}{2\pi \cdot R_d}. \quad (2.40)$$

или

$$K_p = \frac{M_{ц} \cdot v_{сл}}{2\pi \cdot Q_{иэ} \cdot R_d}. \quad (2.41)$$

или

$$K_p = \frac{0,16 \cdot M_{ц} \cdot v_{сл}}{2\pi \cdot Q_{иэ} \cdot R_d}. \quad (2.42)$$

Масса пульпы, циркулирующей в междисковом зазоре составляет:

$$M_{ц} = 2\pi^2 \cdot \zeta_{сл} \cdot \rho_{п} \cdot \beta_{ц} \cdot R_d^3 \sqrt{\frac{8a_{зи} \cdot b_{зи}^2}{\lambda}}. \quad (2.43)$$

Соответственно высота слоя циркулирующей пульпы составит:

$$\zeta_{сл} = \frac{M_{ц}}{2\pi^2 \cdot \rho_{п} \cdot \beta_{ц} \cdot R_d^3 \sqrt{\frac{8a_{зи} \cdot b_{зи}^2}{\lambda}}}. \quad (2.44)$$

или

$$\zeta_{сл} = \frac{0,05M_{ц}}{\rho_{п} \cdot \beta_{ц} \cdot R_d \left(\frac{8a_{зи} \cdot b_{зи}^2}{\lambda}\right)^{0,33}}. \quad (2.45)$$

С другой стороны, представим массу пульпы как:

$$M_{ц} = V_{сл} \cdot \rho_{п} = 2\pi \cdot R_d \cdot \zeta_{сл} \cdot s \cdot \rho_{п}. \quad (2.46)$$

Из уравнений (2.43) и (2.46), необходимо приравнять их правые части и, следовательно, решив полученное равенство относительно параметра $\beta_{ц}$ имеем:

$$\beta_{ц} = \frac{s}{\pi \sqrt{\frac{8a_{зи} \cdot b_{зи}^2}{\lambda}}}. \quad (2.47)$$

В формуле (2.39) неизвестным параметром является параметр времени – $t_{э}$.

Для процесса измельчения частиц и экстракции из них питательных веществ композиции, поступающих в ИЭУ используем следующее уравнение:

$$-\frac{dK}{dt_3} = v \cdot \beta_1 \cdot \beta_2, \quad (2.48)$$

где β_1 – концентрация частиц в водно-продуктовом слое, %;

β_2 – массовая доля воды в объеме пульпы, %;

v – константа скорости, характеризующая интенсивность процессов измельчения и экстракции.

За время рабочего процесса концентрация частиц в пульпе и питательных веществ в экстракте уменьшается быстрее чем массовая доля воды. В этой связи принимаем, что $\beta_2 = \text{const}$ и обозначая $v \cdot \beta_2 = \beta_1$, получаем:

$$-\frac{d\beta_1}{dT} = v_1 \cdot \beta_1. \quad (2.49)$$

Примем, что в период $t_3=0$ в выделенном элементарном объеме камеры ИЭУ доля измельченных частиц составляла β_1' , а в период $t_3 + \Delta t_3$ разрушается еще некоторое количество исходного продукта и их массовая доля составила β_1'' . При таких условиях количество неизмельченного (промежуточного) продукта составило $(\beta_1' - \beta_1'')$. При этом, когда исходный продукт (композиция) входил в стадию промежуточного, то через время, равное $t_3 + \Delta t_3 + \Delta t_3'$, промежуточный продукт превращается в конечный продукт с размером $< s$ и массовой долей - β_3 . В этот момент времени концентрация промежуточного продукта составит:

$$\beta_1'' - \beta_3 = \beta_k. \quad (2.50)$$

Уравнение интенсивности процессов, происходящих в ИЭУ в этом случае, можно представить как:

$$\frac{d\beta_1''}{dt_3} = v_1(\beta_1' - \beta_1''). \quad (2.51)$$

Интегрирование данного уравнения дает:

$$\beta_1 = \ln \beta_1' / t_3 (\beta_1' - \beta_1''). \quad (2.52)$$

Потенцирование данного уравнения дает:

$$\beta_1'' = \beta_1' (1 - e^{v_1 \cdot t_3}). \quad (2.53)$$

При этом, интенсивность рабочего процесса в ИЭУ можно представить как:

$$\frac{d\beta_3}{dt_3} = v_2(\beta_1' - \beta_3). \quad (2.54)$$

С учетом значения параметра β_3 из уравнения (2.50) имеем:

$$\beta_3 = \left[\frac{\beta_1'(1 - v_2)}{(v_2 - v_1) \cdot e^{-v_1 \cdot t_3}} \right] + \frac{v_1}{(v_2 - v_1) \cdot e^{-v_2 \cdot t_3}}. \quad (2.55)$$

Данное уравнение позволяет рассчитать конечное значение продукта через время t_3 если известны константы v_1 и v_2 , характеризующие интенсивность рабочего процесса ИЭУ.

Массовую долю промежуточных частиц за период времени t_3 определим как:

$$\beta_{ц} = \beta_1 \cdot v_1(v_2 - v_1) \cdot (e^{-v_1 \cdot t_3} - e^{-v_2 \cdot t_3}), \quad (2.56)$$

Приняв $t_3 = t_{3\max}$ и проведя соответствующие преобразования получим значение времени t_{\max} , при котором заканчивается процесс за определенное количество циркуляций K_p , согласно равенству (2.42):

$$t_{3\max} = \frac{0,434 (\ln v_1 - \ln v_2)}{(v_1 - v_2)}. \quad (2.57)$$

Проведенный анализ показывает, что на процесс работы ИЭУ оказывает влияние величина $v_1/v_2 = c$ и тогда:

$$\beta_{ц\max} = \beta_1' \cdot c^{\frac{1}{1-c}}. \quad (2.58)$$

Исходя из данного выражения видно, что увеличение C приводит к увеличению $\beta_{ц\max}$.

С учетом выражения (2.57) выражение (2.39) принимает вид:

$$Q_{иэу} = \frac{45,43 \cdot \zeta_{сл} \cdot \rho_{п} \cdot \beta_{ц} \cdot R_{д} \left(\frac{8d_{3i} \cdot b_{3i}^2}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot (v_1 - v_2)}{(\ln v_1 - \ln v_2)}. \quad (2.59)$$

Рассматривая данное уравнение видно, что пропускная способность ИЭУ щеточного типа (в виде вращающихся дисков с металлическим ворсом) значительно зависит от исходных размеров частиц сырья, радиуса диска, снабженного металлическим ворсом, воздействие которого на исходные частицы продукта, обеспечивает

высокую интенсивность работы ИЭУ и получение максимального количества питательных веществ в экстракте [77].

Для определения параметров ПРУ (рис. 2.2 и 2.3) запишем условие неразрывности потока для трех структурных элементов измельчающе-экстракционного устройства:

$$Q_{\text{пру}} \leq Q_{\text{изэу}} \leq Q_{\text{фру}}, \quad (2.60)$$

где $Q_{\text{пру}}$, $Q_{\text{изэу}}$ и $Q_{\text{фру}}$ – подача подающе-распределяющего узла, пропускная способность ИЭУ и ФРУ соответственно.

Подача ПРУ определяется как:

$$Q_{\text{пру}} = 0,125\pi D_{\text{к}}^2 \cdot \rho_{\text{к}} \cdot v, \quad (2.61)$$

где $D_{\text{к}}$ – диаметр подающего патрубка (рис. 2.3), м;

$\rho_{\text{к}}$ – плотность композиции, кг/м³;

v – скорость подачи композиции, м/с.

Принимая во внимание уравнение (2.60) и решая равенство (2.61) относительно параметра $D_{\text{к}}$ получим, что:

$$D_{\text{к}} \geq \sqrt{\frac{2,547 \cdot Q_{\text{изэу}}}{\rho_{\text{к}} \cdot v}}. \quad (2.62)$$

Формулу для определения пропускной способности ФРУ запишем в следующем виде:

$$Q_{\text{фру}} = Q_{\text{тф}} + Q_{\text{жф}}, \quad (2.63)$$

где $Q_{\text{тф}}$ – производительность ФРУ по твердой фракции;

$Q_{\text{жф}}$ – производительность ФРУ по жидкой фракции.

Производительность ФРУ по твердой фракции, согласно рисунку 2.7, определяется как:

$$Q_{\text{тф}} = V_{\text{сл}} \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot \omega_{\text{кр}}, \quad (2.64)$$

где $V_{\text{сл}}$ – объем массы нерастворимого соево-корнеплодного жомового остатка (НСКЖО) по внутренней поверхности конического ротора, м³;

$\rho_{\text{ср}}$ – усредненная плотность перемещаемой массы, кг/м³;

$\omega_{кр}$ – угловая скорость конического ротора, c^{-1} .

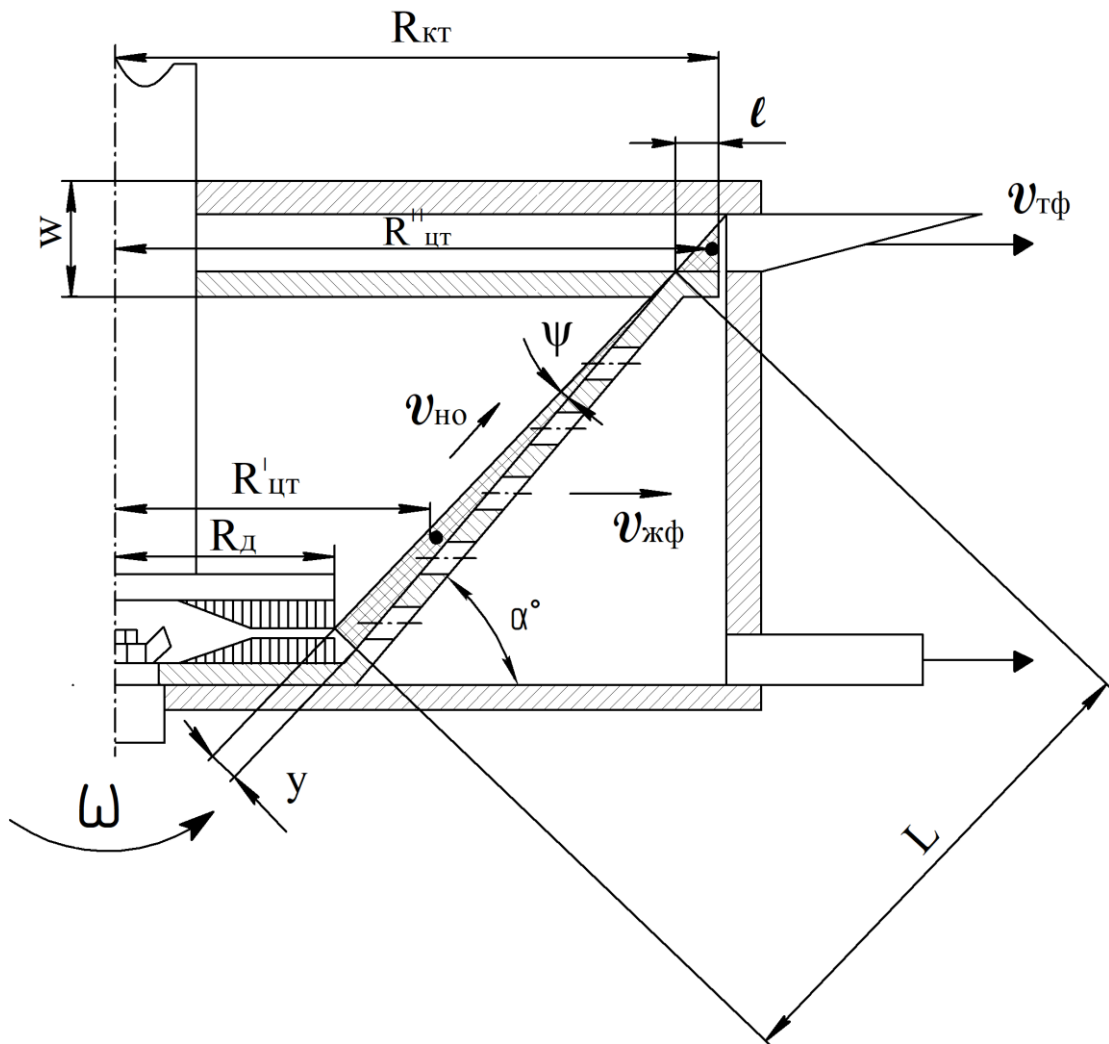


Рисунок 2.7 – Схема к обоснованию параметров

Объем перемещаемой массы определим по следующему выражению:

$$V_{сл} = 2\pi \cdot R'_{цт} \cdot F_{сл}, \quad (2.65)$$

где $R'_{цт}$ – расстояние до центра тяжести фигуры поперечного сечения перемещаемой массы (рисунок 2.7), м;

$F_{сл}$ – площадь поперечного сечения слоя массы НСКЖО, m^2 .

Расстояние $R'_{цт}$ примем равным:

$$R'_{цт} = R_{д} + 0,25L, \quad (2.66)$$

где $R_{д}$ – радиус диска, м;

L – длина образующей конического перфорированного ротора, м.

Площадь поперечного сечения слоя массы НСКЖО в виде треугольника составляет:

$$F_{\text{сл}} = \frac{0,5L^2}{\text{tg}\Psi}, \quad (2.67)$$

где Ψ – угол в треугольнике (рис. 2.7), град.

С учетом приведенных положений пропускная способность ФРУ по жомовой фракции определяется как:

$$Q_{\text{тф}} = \frac{0,5L^2 \cdot \omega \cdot \rho_{\text{ср}}(R_{\text{д}} + 0,25L)}{\text{tg}\Psi}. \quad (2.68)$$

Приравнивая правые части уравнений (2.59) и (2.68) и решая полученное равенство относительно параметра ω имеем, что:

$$\omega = \frac{90,86\zeta_{\text{сл}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot \beta_{\text{ц}} \cdot R_{\text{д}}(8a_{\text{зи}} \cdot b^2 \cdot \lambda^{-1})^{\frac{1}{3}} \cdot (v_1 - v_2)\text{tg}\Psi}{L^2 \cdot \rho_{\text{ср}}(\ln v_1 - \ln v_2)(R_{\text{д}} + 0,25L)}, \quad (2.69)$$

где $\rho_{\text{п}}/\rho_{\text{ср}}$ – показатель, характеризующий степень центробежного разделения пульпы на твердую и жидкую фракции, кг/м³.

По своей сути показатель $\zeta_{\text{р}} = \rho_{\text{п}}/\rho_{\text{ср}}$ есть показатель эффективности работы фильтрующе-разделяющего узла.

Энергоемкость фильтрующе-разделяющего процесса измельчающе-экстракционного устройства зависит от затрат мощности на его выполнение:

$$E_{\text{фру}} = F_{\text{тр}} \cdot v_{\text{max}}, \quad (2.70)$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила сопротивления перемещению массы НСКЖО, Н;

v_{max} – скорость движения массы по внутренней поверхности конического ротора, м/с.

Тогда:

$$N_{\text{фру}} = \frac{0,5L^2 \cdot (R_{\lambda} + 0,25L)g \cdot f \cdot R_{\lambda}}{\text{tg}\Psi}, \quad (2.71)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

f – коэффициент трения массы НСКЖО о фильтрующую сетку;

R_{λ} – коэффициент, учитывающий сопротивление движению массы в зависимости от угла наклона образующей стенки конического ротора.

В конечном виде:

$$Q_{\text{фру}} = N_{\text{фру}}/Q_{\text{тф}}. \quad (2.72)$$

Производительность ФРУ по жидкой фракции – $Q_{\text{жф}}$, определим как:

$$Q_{\text{жф}} = Q_{\text{изу}} - Q_{\text{тф}}. \quad (2.73)$$

Энергоемкость процесса получения кормовой добавки в виде экстракта и не-растворимого жомового остатка, определим как:

$$E_{\text{уд}} = \frac{0,125 \cdot N_{\text{изв}} \cdot d_{\text{э}}^3}{Q_{\text{изу}} \cdot a_{\text{зи}} \cdot b_{\text{зи}}^2}. \quad (2.74)$$

Мощность, затрачиваемая на процесс работы ИЭУ равна:

$$N_{\text{изв}} = \frac{45,43R_{\text{д}} \cdot \zeta_{\text{сл}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot [b_1' \cdot c^{1/(1-c)}] \cdot (8a_{\text{зи}} \cdot b_{\text{зи}}^2)^{\frac{1}{3}} \cdot (v_1 - v_2)A_{\text{изм}}}{\ln v_1 - \ln v_2}, \quad (2.75)$$

где $A_{\text{изм}}$ – работа, расходуемая на реализацию процесса в ИЭУ, Дж/кг.

Работа $A_{\text{изм}}$ определяется по формуле профессора Мельникова С.В. [95]:

$$A_{\text{изм}} = C_1 \cdot \ln \lambda^3 + C_2(\lambda - 1), \quad (2.76)$$

где C_1 и C_2 – эмпирические коэффициенты, которые можно принять равными:

$$C_1 = (10 - 13) \cdot 10^3 \text{ Дж/кг};$$

$$C_2 = (6 - 9) \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}.$$

Степень измельчения в данном уравнении определяется по формуле (2.29).

Затраты энергии на измельчение семян сои зависят от его влажности. Учесть влияние влажности можно, если по формуле С.В. Мельникова значение $A_{\text{изм}}$ умножить на поправочный коэффициент:

$$C_{\omega} = 1 + 1,07(B - 14),$$

где B – относительная влажность семян сои, %.

В конечном итоге, мощность привода измельчающе-экстракционного устройства составит:

$$N_{\text{изу}} = \frac{(1,15 \dots 1,2)(N_{\text{изв}} + N_{\text{фру}})}{\eta}, \quad (2.77)$$

где η – КПД привода устройства.

2.5 Выводы по главе

1. На основе проведенного анализа и разработанной классификации технологических операций и технических средств по реализации процесса получения соевого белка в виде белковых экстрактов и жомовых продуктов обосновано перспективное направление в их создании и проектировании.

В частности, определено, что для получения соевого белка в виде экстрактов на основе семянных и волокнистых сырьевых продуктов наиболее эффективен дисково-щеточный орган, позволяющий интенсифицировать процесс извлечения ПВ из СКК.

На основе разработанной формализованной структурно-формализованной схемы ИЭУ определены его основные структурные элементы и выделены факторы, позволяющие управлять рабочим процессом при прохождении СКК через ПРУ, ИЭУ и ФРУ.

2. Анализом рабочего процесса измельчающе-экстракционного устройства получена математическая модель оценки эффективности извлечения ПВ из СКК в виде уравнения кинетики (2.10).

Установлено, что траекторией движения частиц СКК в составе водно-продуктовой пульпы является семейство логарифмических спиралей в зависимости от соответствующих параметров измельчающе-экстракционного устройства.

3. На основе анализа рабочего состояния металлического ворса определено условие его прочности для правильного выбора и конструирования измельчающе-экстракционного устройства с дисково-щеточным типом измельчающе-экстракционного узла.

4. С учетом принятых допущений получена аналитическая модель, характеризующая пропускную способность измельчающе-экстракционного устройства, позволяющая расчетным путем, при ее заданном значении производительности – $Q_{ИЭУ}$, определять величину искомых параметров радиуса диска – R_d , зазор между истирающими дисками – s .

5. Получена аналитическая модель для расчета энергоемкости рабочего процесса измельчающе-экстракционного устройства с учетом степени измельчения исходного сырья в виде соево-корнеплодных композиций.

6. Получена аналитическая модель по расчету угловой скорости рабочего органа фильтрующе-разделяющего узла с учетом показателя эффективности его работы по процессу разделения готовой пульпы в виде белково-витаминного экстракта и нерастворимый соево-корнеплодный жомовый остаток.

7. Получены формулы для расчета энергетических показателей процесса приготовления соевого белка на основе соево-корнеплодных сырьевых композиций (2.71), (2.74), (2.75) и (2.77).

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа, методика и объекты исследования

Принимая во внимания все требования, предъявляемые к технологическим линиям получения соевого белка, приоритетными являются исследования по вопросам повышения надежности работы оборудования, технические характеристики и эффективность процесса.

Для достижения оптимальных конструктивных характеристик измельчающе-экстракционного устройства был создан экспериментальный образец на основе принятой конструктивно – технологической схемы. Проведена оптимизация и рационализация его конструктивных и режимных параметров с целью повышения энерго-эффективности, стабильности и надежности выполнения рабочего процесса. Тем самым, подтверждена истинность теоретических предпосылок, выдвигаемых вначале исследований с дальнейшим проведением испытаний по переработке соево-корнеплодной композиции на экспериментальной измельчающе-экстракционном устройстве.

3.2 Установка и оборудование для экспериментальных исследований

При исследовании работы измельчающе-экстракционного устройства для переработки соево-корнеплодной композиции (СКК) для получения кормовой добавки, была изготовлена экспериментальная установка, общий вид которой показан на рисунке 3.1.

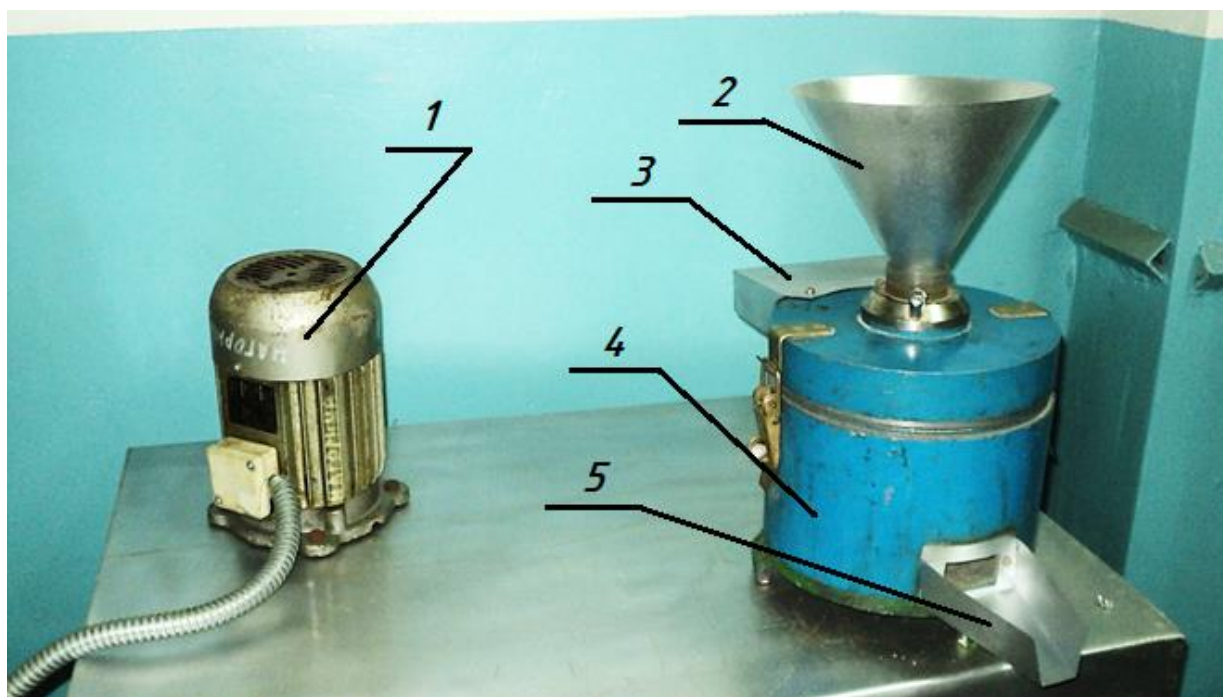


Рисунок 3.1 – Общий вид экспериментальной установки: 1 – электродвигатель; 2 – загрузочная воронка; 3 – выгрузное окно; 4 – корпус; 5 – сливной желоб.

На рисунке 3.2 данная установка изображена схематично. Установка состоит, из корпуса 3, с размещенным в нем ротором 4, который выполнен в виде конического перфорированного диска, где на внутренней поверхности установлена сетка-фильтр 2. Ротор обращен большим основанием корпуса вверх. Нижнее основание ротора закреплено на валу с возможностью вращательного движения от электродвигателя 1. Внутри ротора и соосно с ним размещён воронкообразный патрубок 7, который за счет регулировочной гайки 6 перемещается в вертикальной плоскости. В нижней части ротора, закреплен диск, оснащенный упругими металлическими элементами, размещёнными кольцеобразно на поверхности 8. В нижней (торцевой) части воронки патрубка, так же установлен диск с размещенными упругими металлическими элементами 8, кольцеобразно. Корпус снабжён выгрузным окном 9 для вывода нерастворимого жомового остатка (окары) и сливным желобом 10 для выхода жидкой фракции [86].

Данная экспериментальная установка позволяет в необходимых пределах регулировать параметры, влияющие на процессы, подвергаемые исследованиям.

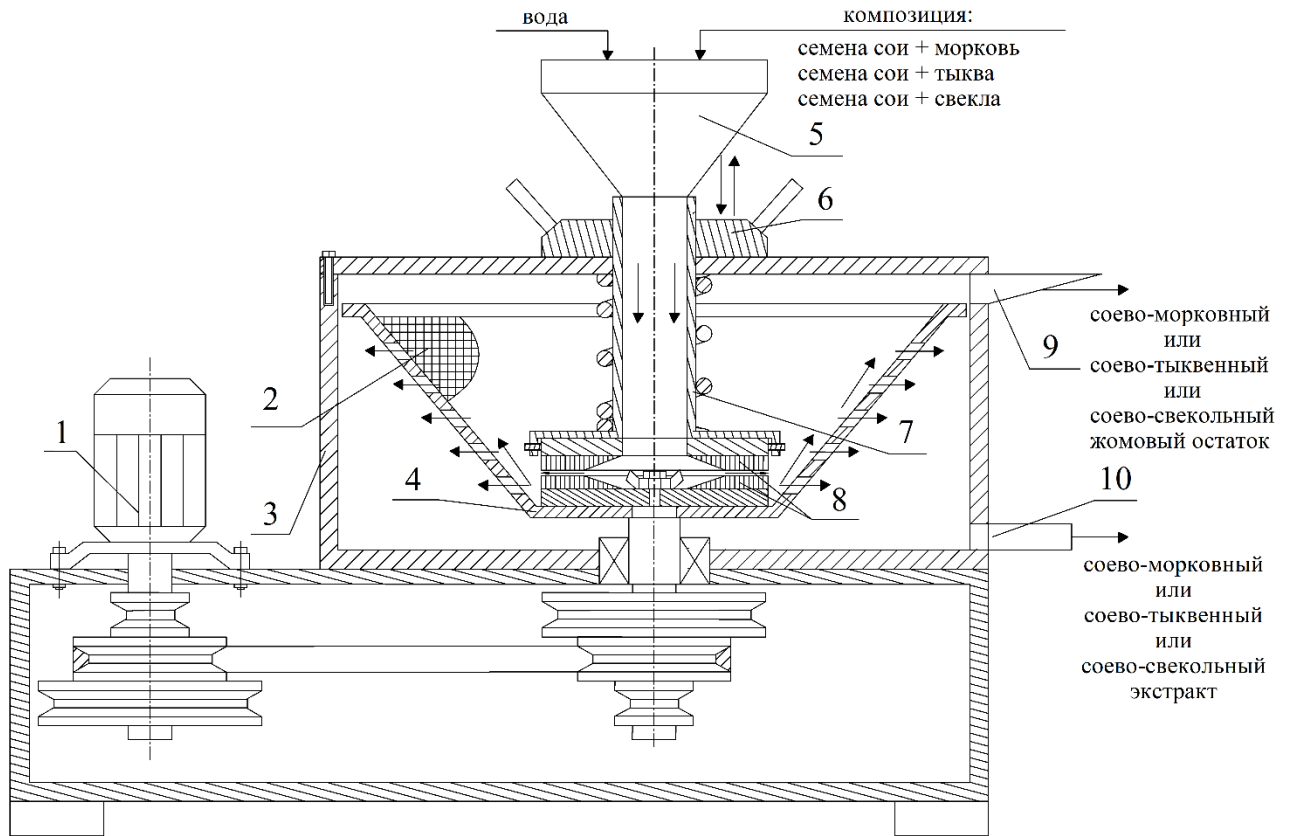


Рисунок 3.2 – Конструктивно-технологическая схема экспериментальной установки: 1 – электродвигатель; 2 – фильтрующий элемент; 3 – корпус; 4 – ротор; 5 – загрузочная воронка; 6 – регулировочная гайка; 7 – патрубок; 8 – упругие металлические элементы; 9 – выгрузное окно; 10 – сливной желоб.

На рисунке 3.3 приводится схема места сопряжения кольцеобразных ворсяных поверхностей измельчающе-экстракционного узла.

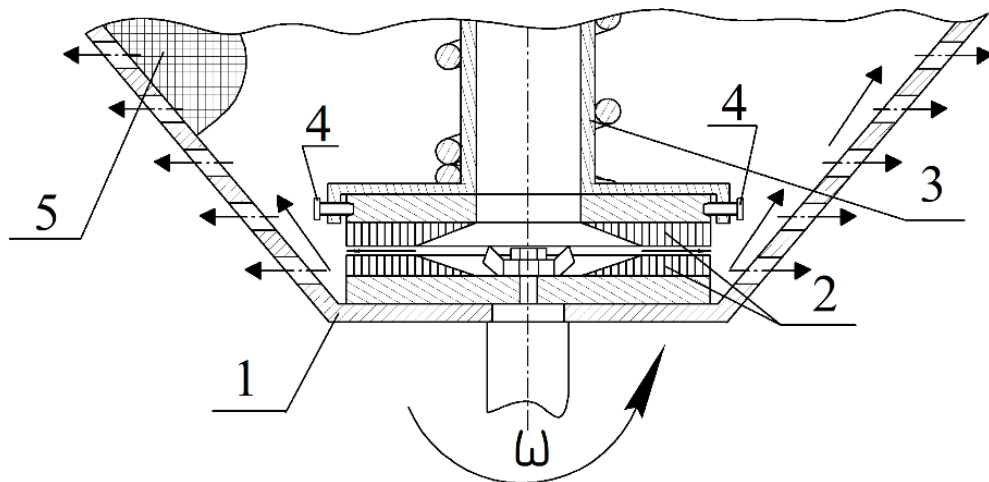


Рисунок 3.3 – Место сопряжения кольцеобразных ворсяных поверхностей измельчающе-экстракционного узла: 1 – ротор; 2 – упругие металлические элементы; 3 – патрубок; 4 – винты крепления неподвижного диска; 5 – фильтрующий элемент.

Комбинированный прибор К-505, использовался для определения энергетических характеристик, таких как, мощность, затрачиваемая на процесс измельчения, экстракции и отделения жома.

Взвешивание, нерастворимого жомового остатка, производилось при помощи весов ВЛТК-500М с использованием лабораторных бюкс.

Для измерения частоты вращения рабочих органов (подвижного диска), был применен тахометр часового типа Т4-10-Р. Измерение и изменение необходимых зазоров между рабочими дисками осуществлялось с применением щупов различной толщины пластин.

3.3 Объекты и методика проведения эксперимента

При проведении экспериментальных исследований использовались семена сои сорта «Соната» селекции ВНИИ сои, соответствующее требованиям ГОСТ 17109-88 «Соя. Требования при заготовках и поставках». Морковь сорта «Нантская», соответствующая требованиям ГОСТ 1721-85 «Морковь столовая свежая заготавливаемая и поставляемая. Технические условия». Тыква сорта «Стофунтовая», соответствующая требованиям ГОСТ 7975-2013 «Тыква продовольственная свежая. Технические условия». Свекла сорта «Бордо», соответствующая требованиям ГОСТ 1722-85 «Свекла столовая свежая, заготавливаемая и поставляемая. Технические условия». Подготовленные пробы компонентов и готовой композиции представлены на рисунках 3.4 и 3.5.

Подготовка соево-морковной композиции происходила следующим образом. Семена сои предварительно замачивались в воде в течении 8 часов. Морковь подвергалась измельчению до размера семян сои. После чего оба компонента смешивались с водой, объемная доля которой оставалась неизменной. Исследованиями установлено, что оптимальным значением соотношения семян сои, корнеплодов и воды являлось соотношение 1:8. Данное соотношение также применимо для создания соево-свекольной и соево-тыквенной композиции. При помощи подающе-распределяющего узла (ПРУ) композиция подавалась на рабочую поверхность между

дисками. При взаимодействии соево-морковной композиции с упругими металлическими элементами верхнего и нижнего диска, происходило растирание. Сменные диски устанавливались на патрубке верхнего рабочего органа и роторе нижнего рабочего органа установки, представленные рисунками 3.6 и 3.7.



Рисунок 3.4 – Пробы компонентов: а – замоченные семена сои; б – измельченная морковь.



Рисунок 3.5 – Проба приготовленной соево-морковной композиции



Рисунок 3.6 – Общий вид верхнего рабочего органа



Рисунок 3.7 – Общий вид нижнего рабочего органа измельчающе-экстракционного узла

На рисунке 3.8 представлен набор сменных рабочих дисков, при помощи которых проводится исследование процесса измельчения с применением этих самых дисков.

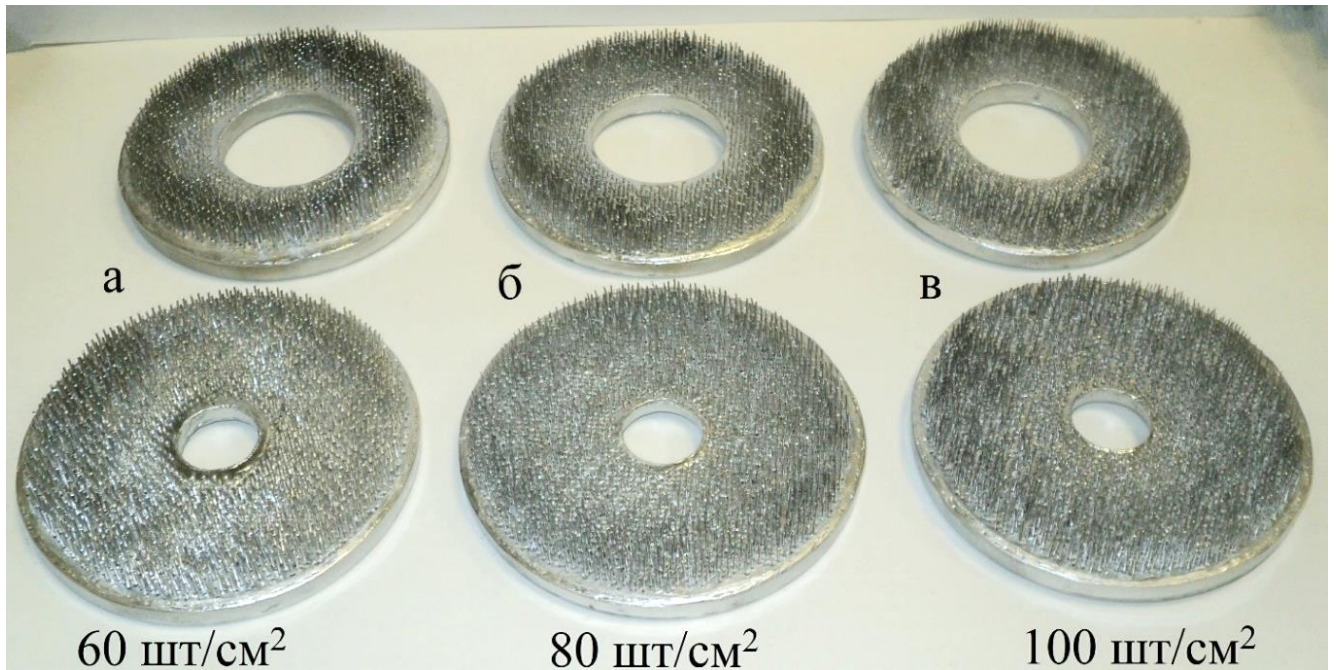


Рисунок 3.8 – Общий вид рабочих органов: а – верхний и нижний диск с плотностью размещения ворса 60 шт/см^2 ; б – верхний и нижний диск с плотностью размещения ворса 80 шт/см^2 ; в – верхний и нижний диск с плотностью размещения ворса 100 шт/см^2

Полученный белково-витаминный экстракт проходил через фильтрующий элемент, установленную на коническом диске. Впоследствии происходило отделение нерастворимого остатка (жома) от жидкой фракции. Пробы полученного нерастворимого остатка (жома) и жидкой фракции приведены на рисунке 3.9.



Рисунок 3.9 – Проба приготовленного экстракта

Далее были исследованы физико-химические показатели полученных фракций.

Жом подвергли сушке, с целью определения массовой доли влаги. Влажность определили путем высушивания трех образцов с применением лабораторного сушильного шкафа, при $t = 130^{\circ}\text{C}$, в течении 1 часа. Для этого, в подготовленную лабораторные бюксы отмерили навеску 5 грамм исследуемого материала. Данные бюксы разместили на полке сушильного шкафа, представленного на рисунке 3.11.



Рисунок 3.10 – Сушильный шкаф

Массовую долю влаги (W , %) определили по формуле:

$$W = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100}{5} \quad (3.1)$$

где m_1 – масса бюксы с навеской до сушки, г;

m_2 – масса бюксы с навеской после сушки, г;

5 – масса навески, г.

$$W = \frac{(23,87 - 22,1) \cdot 100}{5} = 37,2 \%$$

$$W = \frac{(23,87 - 21,98) \cdot 100}{5} = 37,8 \%$$

$$W = \frac{(23,87 - 22) \cdot 100}{5} = 37,4 \%$$

После этого находим среднеарифметическое значение показателя влажности жома по трем образцам:

$$W = \frac{37,2 + 37,8 + 37,4}{3} = 37,5 \%$$

Вязкость жидкой фракции определили при помощи вибрационного вискозиметра SV-10, общий вид которого представлен на рисунке 3.12. Прибор измеряет вязкость путем детектирования движущего электрического тока, необходимого для резонанса двух сенсорных пластин при постоянной частоте 30 Гц и амплитуде менее 1 мм.



Рисунок 3.11 – Общий вид вибрационного вискозиметра SV-10 (A&D) в момент определения вязкости жидкой фракции

Активную кислотность (рН) измерили с помощью портативного прибора HI 83141, представленного на рисунке 3.13.



Рисунок 3.12 – Общий вид портативного прибора HI 83141 во время определения рН жидкой фракции

Результаты проведенных исследований показаны в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Контроль качества жидкой фракции по органолептическим и физико- химическим показателям

Контролируемые показатели	Результат
Внешний вид	Жидкость с незначительной примесью жомового осадка
Вкус и запах	Ярко-выраженный привкус сои. Запах, свойственный вносимым корнеплодам. Без посторонних привкусов и запахов
Цвет	Бледно-оранжевый, характерный для вносимых наполнителей (морковь)
рН, ед	5,79
Динамическая вязкость, МПа·с	3,28

Физико-механические показатели СКК и готовых продуктов определялись по методикам изложенным в источниках 1, 22, 94, 96, 101, 102, 120.

Энергетическую оценку проводим в установившемся режиме по энергозатратам в целом для измельчающе-экстракционного устройства. Для этого использовался комбинированный прибор К-505, представленный на рисунке 3.13

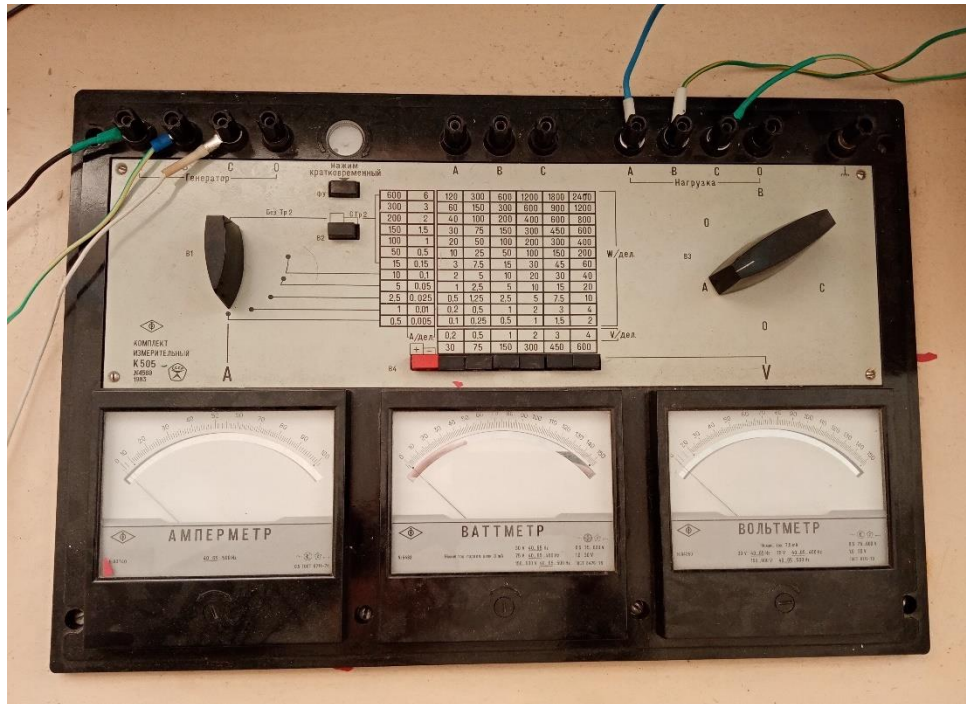


Рисунок 3.13 – Общий вид комбинированного прибора К-505

Полученную обработку и анализ данных, выявленных в ходе экспериментальных исследований, проводим известными методами математической статистики [43, 94, 97, 101, 121].

3.4 Выводы по главе

1. Создана экспериментальная установка для получения соевого белка. Для достижения оптимальных конструктивных и технических характеристик установки разработаны рабочие органы, представленные в виде дисков, оснащенных упругими металлическими элементами.
2. Проведен процесс получения экстракта соевого белка с дальнейшим отделением жидкой фракции от нерастворимого жомового остатка.
3. Проведена оценка качественных показателей полученных фракций. Жомовый остаток подвергли высушиванию с целью определения массовой доли влаги, которая составила 37,5 %. Жидкую фракцию исследовали по следующим физико-химическим показателям: динамическая вязкость – 3,28 МПа·с; рН – 5,79.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

4.1 Определение физико-механических показателей сырья и продуктов

На данном этапе исследований определены физико-механические показатели в соответствии с общеизвестными методиками, изложенными в работах Мельникова С.В., Кукты Г.М. и других ученых.

Результаты по определению физико-механических показателей представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные физико-механические показатели соево-корнеплодной сырьевой композиции

№	Наименование продукта	Влажность, %	Эквивалентный диаметр, Дэ, мм	Плотность ρ , кг/м ³
1.	Соево-морковная композиция (СМК)	80-82	7,2	683,2-691,5
2.	Соево-тыквенная композиция (СТК)	82-84	7,5	686,5-694,1
3.	Соево-свекольная композиция (ССК)	85-86	6,8	681,3-692,4

4.2 Обоснование оптимальных параметров процесса получения кормовой добавки с помощью измельчающе-экстракционного устройства по принятым его узловым блокам

На данном этапе необходимо было определить, какие факторы в большей степени влияют на процессы измельчения, экстракции и отделения жома, получить математические модели, описывающие данные процессы и оптимизировать основные параметры исследуемого процесса по получению кормовой добавки.

Исследования проводились на экспериментальной установке, схема и описание которой приводятся в п. 3.2.

На основании метода априорного ранжирования и поисковых опытов были выделены наиболее значимые факторы, которые существенно влияют на исследуемый процесс измельчения.

В качестве управляемых факторов приняты:

- угловая скорость нижнего диска – X_1 (ω , c^{-1});
- плотность размещения ворса – X_2 (F, шт/ cm^2);
- зазор между дисками – X_3 (s, мм).

В качестве критерия оптимизации процессов одновременного измельчения, экстракции и отделения жома СКСК методом истирания, принято сухое вещество $K_{св}$, %:

- сухое вещество соево-морковной композиции – Y_1 (%);
- сухое вещество соево-тыквенной композиции – Y_2 (%);
- сухое вещество соево-свекольной композиции – Y_3 (%).

$$Y_{1-3} = K_{св} = f(\omega; F; s) \rightarrow \max$$

В результате поисковых опытов определены уровни варьирования указанных факторов. В таблице 4.2 представлены факторы процесса и уровни их варьирования.

Таблица 4.2 – Факторы и уровни варьирования для рабочего процесса измельчающе-экстракционного устройства

Уровни варьирования	Факторы		
	$X_1 / \omega, c^{-1}$	$X_2 / F, шт/cm^2$	$X_3 / s, мм$
Верхний уровень (+)	180,0	100,0	3,0
Основной уровень (о)	140,0	80,0	2,0
Нижний уровень (-)	100,0	60,0	1,0
Интервал варьирования (E)	40,0	20,0	1,0

В таблице 4.3 представлена матрица планирования трехфакторного эксперимента и его результаты по 15 опытам.

Таблица 4.3 – Матрица планирования эксперимента и результаты опытов

№ П/П	Факторы в безразмерной системе координат			Факторы в натуральном масштабе			Выходной параметр		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ / ω	X ₂ / F	X ₃ / s	Y ₁ /K ₁	Y ₂ /K ₂	Y ₃ /K ₃
1	-1	-1	1	100,0	60,0	3,0	7,2	7,4	7,2
2	1	-1	-1	180,0	60,0	1,0	6,8	6,6	6,4
3	-1	1	-1	100,0	100,0	1,0	7,0	6,8	6,7
4	1	1	1	180,0	100,0	3,0	12,5	12,7	12,6
5	-1	-1	-1	100,0	60,0	1,0	5,8	5,8	5,7
6	1	-1	1	180,0	60,0	3,0	10,1	11,1	10,9
7	-1	1	1	100,0	100,0	3,0	9,4	9,8	9,4
8	1	1	-1	180,0	100,0	1,0	9,6	10,0	10,2
9	-1,215	0	0	91,4	80,0	2,0	9,2	9,4	9,5
10	+1,215	0	0	190,04	80,0	2,0	12,4	12,6	12,5
11	0	-1,215	0	140,0	55,7	2,0	10,7	10,5	10,1
12	0	+1,215	0	140,0	105,02	2,0	12,2	12,7	12,4
13	0	0	-1,215	140,0	80,0	0,749	9,9	10,8	10,6
14	0	0	+1,215	140,0	80,0	3,251	12,6	12,4	11,7
15	0	0	0	140,0	80,0	2,0	12,0	12,5	11,5

После реализации эксперимента по матрице планирования и получения данных проведена их обработка (таблицы 4.4-4.6).

Таблица 4.4 – Регрессионный анализ зависимости $Y_{1-3} = f(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \max$

Критерий	Стандартное отклонение	R-корреляции	Коэффициент детерминации R ²	F-критерий	Значимость F-критерия (p)
Y ₁ →max	0,732	0,982	0,963	14,688	0,004
Y ₂ →max	0,928	0,973	0,947	10,024	0,010
Y ₃ →max	1,106	0,958	0,919	6,294	0,030

Таблица 4.5 – Результаты регрессионного анализа

Критерий	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₁₂	a ₁₃	a ₂₃	a ₁₁	a ₂₂	a ₃₃	Заключение об адекватности	
											F _R	F _T
Y ₁	13,03	1,24	0,96	1,2	-	0,3	-	-1,71	-1,29	-1,35	14,69	3,59
Y ₂	13,38	1,34	1,02	1,24	-	0,33	-	-1,78	-1,38	-1,33	10,02	3,59
Y ₃	12,71	1,36	1,06	1,12	-	0,34	-	-1,42	-1,24	-1,25	6,29	3,59

На основе проведенной математической обработки экспериментальных данных получены математические модели, характеризующие процесс извлечения питательных веществ, которые после отсеивания незначимых коэффициентов получили следующий вид:

- в кодированной форме:

$$Y_1 = 13,03 + 1,24 \cdot X_1 + 0,96 \cdot X_2 + 1,2 \cdot X_3 + 0,3 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,71 \cdot X_1^2 - 1,29 \cdot X_2^2 - 1,35 \cdot X_3^2 \rightarrow \max \quad (4.1)$$

$$Y_2 = 13,38 + 1,34 \cdot X_1 + 1,02 \cdot X_2 + 1,24 \cdot X_3 + 0,33 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,78 \cdot X_1^2 - 1,38 \cdot X_2^2 - 1,33 \cdot X_3^2 \rightarrow \max \quad (4.2)$$

$$Y_3 = 12,71 + 1,36 \cdot X_1 + 1,06 \cdot X_2 + 1,12 \cdot X_3 + 0,34 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,42 \cdot X_1^2 - 1,24 \cdot X_2^2 - 1,25 \cdot X_3^2 \rightarrow \max \quad (4.3)$$

- в раскодированной форме:

$$K_{\text{пв1}} = -38,61 + 0,29 \cdot \omega + 0,52 \cdot F + 5,26 \cdot \Delta + 0,007 \cdot \omega \cdot \Delta - 0,001 \cdot \omega^2 - 0,003 \cdot F^2 - 1,35 \cdot \Delta^2 \rightarrow \max \quad (4.4)$$

$$K_{\text{пв2}} = -42,46 + 0,31 \cdot \omega + 0,57 \cdot F + 5,61 \cdot \Delta + 0,008 \cdot \omega \cdot \Delta - 0,001 \cdot \omega^2 - 0,003 \cdot F^2 - 1,33 \cdot \Delta^2 \rightarrow \max \quad (4.5)$$

$$K_{\text{пв3}} = -35,33 + 0,24 \cdot \omega + 0,51 \cdot F + 5,4 \cdot \Delta + 0,008 \cdot \omega \cdot \Delta - 0,0009 \cdot \omega^2 - 0,003 \cdot F^2 - 1,25 \cdot \Delta^2 \rightarrow \max \quad (4.6)$$

Адекватность полученных моделей, по результатам регрессионного анализа, с вероятностью $P = 0,95$, при коэффициентах корреляции $R_1 = 0,982$, $R_2 = 0,973$ и $R_3 = 0,958$ подтверждается неравенством $F_R > F_T$ (таблица 4.5). Достоверность моделей оценивали по уровню значимости критерия Фишера, который должен быть меньше, $0,05$, то есть $p_1 = 0,004$, $p_2 = 0,01$ и $p_3 = 0,03$, а это означает, что полученные

модели значимы. Степень точности описания моделью процесса характеризует коэффициент детерминации (R^2), а поскольку R^2_{1-3} находится в пределах больших чем 0,8-0,95 (таблица 4.4), то можно говорить о высокой точности аппроксимации.

В таблице 4.6 приведены области экстремальных значений факторов X_1 , X_2 и X_3 , при которых критерии оптимизации Y_{1-3} стремятся к максимальному значению.

Таблица 4.6 – Области экстремальных значений

Критерий	X_1 / ω	X_2 / F	X_3 / s	$Y_{1-3} / K_{пв1-3}$
$Y_1 \rightarrow \max$	1,09 / 136,5	1,07 / 89,0	1,06 / 2,3	12,0 / 12,0
$Y_2 \rightarrow \max$	1,07 / 165,4	1,07 / 95,0	1,04 / 2,6	12,5 / 17,5
$Y_3 \rightarrow \max$	1,15 / 145,0	1,19 / 85,0	1,34 / 2,6	12,0 / 10,8

На основе этих данных проведена графическая интерпретация полученных зависимостей в виде поверхностей и их сечений представлены в приложении К.

Анализ частных коэффициентов показал, что на исследуемый процесс наибольшее влияние оказывают скорость вращения нижнего диска – X_1 , а также взаимодействие этого фактора с фактором X_2 – плотностью размещения металлического ворса.

Проведенный анализ и решение полученных уравнений регрессии, позволили получить оптимальные значения параметров, которые равны:

- угловая скорость вращения нижнего диска – $\omega = 136,5-165,4 \text{ с}^{-1}$;
- плотность размещения ворса – $F = 85-95 \text{ шт/см}^2$;
- зазор между дисками – $s = 2,3-2,6 \text{ мм}$.

При указанных значениях параметров, сухое вещество соево-морковной композиции – 12 %; сухое вещество соево-тыквенной композиции – 17,5 %; сухое вещество соево-свекольной композиции – 10,8 %.

Поверхности отклика представлены в приложении К.

4.3 Обоснование оптимальных параметров рабочего процесса по разделению жидкой и твердой фракции

На данном этапе исследований, на основании поисковых опытов и априорного ранжирования, выделены наиболее значимые факторы, которые существенно влияют на исследуемый процесс разделения жидкой фракции и нерастворимого остатка.

В качестве управляемых факторов приняты:

- угловая скорость нижнего диска – X_1 (ω , c^{-1});
- угол наклона образующей стенки конуса к вертикали – X_2 (α , град.);
- зазор между дисками – X_3 (s , мм).

В качестве критерия оптимизации процесса разделения семян сои методом истирания принята: влажность композиции (W , %).

- влажность соево-морковного жома – Y_4 (W_4 , %);
- влажность соево-тыквенного жома – Y_5 (W_5 , %);
- влажность соево-свекольного жома – Y_6 (W_6 , %).

$$Y_{4-6} = W = f(\omega; \alpha; s) \rightarrow \min$$

В результате поисковых опытов определены уровни варьирования указанных факторов. В таблице 4.7 представлены факторы процесса и уровни их варьирования.

Таблица 4.7 – Факторы и уровни варьирования для процесса отделения жома

Уровни	Факторы		
	$X_1 / \omega, c^{-1}$	$X_2 / \alpha, \text{град.}$	$X_3 / s, \text{мм.}$
Верхний уровень (+)	180,0	50,0	3,0
Основной уровень (о)	140,0	45,0	2,0
Нижний уровень (-)	100,0	40,0	1,0
Интервал варьирования (E)	40,0	5,0	1,0

В таблице 4.8 представлена матрица планирования трехфакторного эксперимента и его результаты по 15 опытам.

Таблица 4.8 – Матрица планирования эксперимента и результаты опытов

№ п/п	Факторы в безразмерной системе координат			Факторы в натуральном масштабе			Выходной параметр		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ / ω	X ₂ / α	X ₃ / s	Y ₄ / W ₄	Y ₅ / W ₅	Y ₆ / W ₆
1	-1	-1	1	100,0	40,0	3,0	67,0	66,0	65,0
2	1	-1	-1	180,0	40,0	1,0	68,0	67,0	67,0
3	-1	1	-1	100,0	50,0	1,0	60,0	61,0	60,0
4	1	1	1	180,0	50,0	3,0	59,0	61,0	59,0
5	-1	-1	-1	100,0	40,0	1,0,	63,0	65,0	64,0
6	1	-1	1	180,0	40,0	3,0	60,0	62,0	61,0
7	-1	1	1	100,0	50,0	3,0	68,0	67,0	62,0
8	1	1	-1	180,0	50,0	1,0	64,0	63,0	63,0
9	-1,215	0	0	91,4	45,0	2,0	58,0	58,0	58,0
10	+1,215	0	0	190,04	45,0	2,0	59,0	57,0	57,0
11	0	-1,215	0	140,0	38,925	2,0	69,0	66,0	61,0
12	0	+1,215	0	140,0	51,255	2,0	61,0	59,0	58,0
13	0	0	-1,215	140,0	45,0	0,749	47,0	47,0	46,0
14	0	0	+1,215	140,0	45,0	3,251	51,0	52,0	51,0
15	0	0	0	140,0	45,0	2,0	49,0	50,0	50,0

После реализации эксперимента по матрице планирования и получения данных проведена их обработка (таблицы 4.9-4.11).

Таблица 4.9 – Регрессионный анализ зависимости $Y_{4-6} = f(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \min$

Критерий	Стандартное отклонение	R-корреляции	Коэффициент детерминации R ²	F-критерий	Значимость F-критерия (p)
Y ₄ →min	2,384	0,978	0,957	12,351	0,006
Y ₅ →min	2,027	0,981	0,963	14,506	0,004
Y ₆ →min	2,130	0,976	0,953	11,158	0,008

Таблица 4.10 – Результаты регрессионного анализа

Критерий	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₁₂	a ₁₃	a ₂₃	a ₁₁	a ₂₂	a ₃₃	Заключение об адекватности	
											F _R	F _T
Y ₄	50,26	-0,57	-1,62	-	-	-3,12	0,87	5,18	9,40	-1,06	12,35	3,59
Y ₅	49,38	-0,71	-1,60	0,56	-	-1,75	1,0	5,52	8,78	-	14,51	3,59
Y ₆	48,64	-0,26	-1,59	-	-	-1,62	0,37	6,13	7,47	-	11,16	3,59

На основе проведенной математической обработки экспериментальных данных получены математические модели, характеризующие процесс отделения жома, которые после отсеивания незначимых коэффициентов получили следующий вид:

- в кодированной форме:

$$Y_4 = 50,26 - 0,57 \cdot X_1 - 1,62 \cdot X_2 - 3,12 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,87 \cdot X_2 \cdot X_3 + 5,18 \cdot X_1^2 + 9,4 \cdot X_2^2 - 1,06 \cdot X_3^2 \rightarrow \min \quad (4.7)$$

$$Y_5 = 49,38 - 0,71 \cdot X_1 - 1,6 \cdot X_2 + 0,56 \cdot X_3 - 1,75 \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,0 \cdot X_2 \cdot X_3 + 5,52 \cdot X_1^2 + 8,78 \cdot X_2^2 \rightarrow \min \quad (4.8)$$

$$Y_6 = 48,64 - 0,26 \cdot X_1 - 1,59 \cdot X_2 - 1,62 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,37 \cdot X_2 \cdot X_3 + 6,13 \cdot X_1^2 + 7,47 \cdot X_2^2 \rightarrow \min \quad (4.9)$$

- в раскодированной форме:

$$W_4 = 868,66 - 0,68 \cdot \omega - 34,25 \cdot \alpha + 7,65 \cdot \Delta - 0,08 \cdot \omega \cdot \Delta + 0,17 \cdot \alpha \cdot \Delta + 0,003 \cdot \omega^2 + 0,37 \cdot \alpha^2 - 1,06 \cdot \Delta^2 \rightarrow \min \quad (4.10)$$

$$W_5 = 842,36 - 0,84 \cdot \omega - 32,14 \cdot \alpha - 0,04 \cdot \omega \cdot \Delta + 0,2 \cdot \alpha \cdot \Delta + 0,003 \cdot \omega^2 + 0,35 \cdot \alpha^2 - 1,06 \cdot \Delta^2 \rightarrow \min \quad (4.11)$$

$$W_6 = 744,28 - 1,02 \cdot \omega - 27,45 \cdot \alpha - 0,04 \cdot \omega \cdot \Delta + 0,07 \cdot \alpha \cdot \Delta + 0,004 \cdot \omega^2 + 0,3 \cdot \alpha^2 \rightarrow \min \quad (4.12)$$

Адекватность полученных моделей, по результатам регрессионного анализа, с вероятностью P=0,95, при коэффициентах корреляции R₄= 0,978, R₅=0,981 и R₆=0,976 подтверждается неравенством F_R > F_T (таблица 4.10). Достоверность моделей оценивается по уровню значимости критерия Фишера, который должен быть меньше, 0,05, то есть p₄= 0,006, p₅ = 0,004 и p₆ = 0,008 означают, что полученные

модели значимы. Степень точности описания моделью процесса характеризует коэффициент детерминации (R^2), поскольку R^2_{4-6} находится в пределах больших чем 0,8-0,95 (таблица 4.9), то можно говорить о высокой точности аппроксимации.

В таблице 4.10 приведены области экстремальных значений факторов X_1 , X_2 и X_3 , при которых критерии оптимизации Y_{4-6} стремятся к минимальному значению.

Таблица 4.11 – Области экстремальных значений

Критерий	X_1 / ω	X_2 / α	X_3 / s	$Y_{4-6} / W_{4-6}, \%$
$Y_4 \rightarrow \min$	0,72 / 113,3	0,31 / 46,2	1,21 / 0	49,0 / 37,5
$Y_5 \rightarrow \min$	0,06 / 140,0	0,09 / 45,9	0 / 0	49,3 / 45,7
$Y_6 \rightarrow \min$	0,53 / 127,3	0,39 / 45,8	1,06 / 0,71	49,9 / 49,9

На основе этих данных проведена графическая интерпретация полученных зависимостей в виде поверхностей и их сечений представлены в приложении Л.

Анализ частных коэффициентов показал, что на исследуемый процесс наибольшее влияние оказывают скорость вращения нижнего диска – X_1 , а также взаимодействие этого фактора с фактором X_2 – плотностью размещения металлического ворса.

Проведенный анализ и решение полученных уравнений регрессии, позволили получить оптимальные значения параметров, которые равны:

- угловая скорость вращения нижнего диска – $\omega = 136,5-165,4 \text{ с}^{-1}$;
- угол наклона образующей стенки конуса к вертикали – $\alpha = 45,8-46,2$, град.

При указанных значениях параметров, влажность соево-морковной композиции $W = 37,5 \%$; соево-тыквенной композиции $W = 45,7 \%$; соево-свекольной композиции $W = 49,9 \%$.

Поверхности отклика представлены в приложении Л.

4.4 Исследования по обоснованию затрат энергии на получение кормовой добавки с помощью измельчающе-экстракционного устройства

На данном этапе исследований, на основании поисковых опытов и априорного ранжирования, также выделены наиболее значимые факторы, которые существенно влияют на исследуемый процесс измельчения.

В качестве управляемых факторов приняты:

- угловая скорость нижнего диска – X_1 (ω , c^{-1});
- ширина кольца ворса – X_2 (b, мм);
- высота ворса – X_3 (h, мм).

В качестве критерия оптимизации процесса извлечения питательных веществ из соево-корнеплодной композиции приняты: затраты удельной мощности ($N_{уд}$, Вт·ч/литр).

- затраты мощности (энергоёмкость) – Y_7 ($N_{уд7}$, кВт·с/литр);
- затраты мощности (энергоёмкость) – Y_8 ($N_{уд8}$, кВт·с/литр);
- затраты мощности (энергоёмкость) – Y_9 ($N_{уд9}$, кВт·с/литр).

$$Y_{7-9} = N_{уд} = f(\omega; b; h) \rightarrow \min$$

В результате поисковых опытов определены уровни варьирования указанными факторами. В таблице 4.12 представлены факторы процесса и уровни их варьирования.

Таблица 4.12 – Факторы и уровни варьирования для процесса

Уровни	Факторы		
	$X_1 / \omega, c^{-1}$	$X_2 / b, мм$	$X_3 / h, мм$
Верхний уровень (+)	180,0	30,0	3,0
Основной уровень (о)	140,0	20,0	2,0
Нижний уровень (-)	100,0	10,0	1,0
Интервал варьирования (E)	40,0	10,0	1,0

В таблице 4.13 представлена матрица планирования трехфакторного эксперимента и его результаты по 15 опытам.

Таблица 4.13 – Матрица планирования эксперимента и результаты опытов

№ п/п	Факторы в безразмерной системе координат			Факторы в натуральном масштабе			Выходной параметр		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ / ω	X ₂ / b	X ₃ / h	Y ₇ / N _{уд7}	Y ₈ / N _{уд8}	Y ₉ / N _{уд9}
1	-1	-1	1	100,0	10,0	3,0	60,0	60,0	61,0
2	1	-1	-1	180,0	10,0	1,0	63,0	64,0	65,0
3	-1	1	-1	100,0	30,0	1,0	61,0	61,0	62,0
4	1	1	1	180,0	30,0	3,0	65,0	66,0	66,0
5	-1	-1	-1	100,0	10,0	1,0	70,0	69,0	69,0
6	1	-1	1	180,0	10,0	3,0	64,0	64,0	64,0
7	-1	1	1	100,0	30,0	3,0	62,0	61,0	60,0
8	1	1	-1	180,0	30,0	1,0	55,0	54,0	55,0
9	-1,215	0	0	91,4	20,0	2,0	56,0	56,0	54,0
10	+1,215	0	0	190,04	20,0	2,0	53,0	52,0	52,0
11	0	-1,215	0	140,0	7,85	2,0	61,0	60,0	60,0
12	0	+1,215	0	140,0	32,51	2,0	65,0	65,0	66,0
13	0	0	-1,215	140,0	20,0	0,749	54,0	47,0	47,0
14	0	0	+1,215	140,0	20,0	3,251	50,0	52,0	50,0
15	0	0	0	140,0	20,0	2,0	48,0	49,0	47,0

После реализации эксперимента по матрице планирования и получения данных проведена их обработка (таблицы 4.14-4.16).

Таблица 4.14 – Регрессионный анализ зависимости $Y_{7-9}=f(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \min$

Критерий	Стандартное отклонение	R-корреляции	Коэффициент детерминации R ²	F-критерий	Значимость F-критерия (p)
Y ₇ →min	2,547	0,969	0,940	8,690	0,010
Y ₈ →min	2,820	0,967	0,936	8,107	0,010
Y ₉ →min	2,990	0,969	0,938	8,460	0,015

Таблица 4.15 – Результаты регрессионного анализа

Критерий	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₁₂	a ₁₃	a ₂₃	a ₁₁	a ₂₂	a ₃₃	Заключение об адекватности	
											F _R	F _T
Y ₇	49,23	-0,91	-0,91	-	-	2,5	2,5	3,16	8,81	1,48	8,69	3,59
Y ₈	48,47	-0,75	-0,89	0,83	-	2,6	2,6	3,71	9,38	-	8,12	3,59
Y ₉	46,78	-0,45	-0,89	-	-	2,5	2,25	4,10	10,76	1,11	8,46	3,59

На основе проведенной математической обработки экспериментальных данных получены математические модели, характеризующие процесс извлечения СВ из СКК по затратам энергии, которые после отсеивания незначимых коэффициентов получили следующий вид:

- в кодированной форме:

$$Y_7 = 49,23 - 0,91 \cdot X_1 - 0,91 \cdot X_2 + 2,5 \cdot X_1 \cdot X_3 + 2,5 \cdot X_2 \cdot X_3 + 3,16 \cdot X_1^2 + 8,81 \cdot X_2^2 + 1,48 \cdot X_3^2 \rightarrow \min \quad (4.13)$$

$$Y_8 = 48,47 - 0,75 \cdot X_1 - 0,89 \cdot X_2 + 0,83 \cdot X_3 + 2,6 \cdot X_1 \cdot X_3 + 2,6 \cdot X_2 \cdot X_3 + 3,71 \cdot X_1^2 + 9,38 \cdot X_2^2 \rightarrow \min \quad (4.14)$$

$$Y_9 = 46,78 - 0,45 \cdot X_1 - 0,89 \cdot X_2 + 2,5 \cdot X_1 \cdot X_3 + 2,25 \cdot X_2 \cdot X_3 + 4,1 \cdot X_1^2 + 10,76 \cdot X_2^2 + 1,11 \cdot X_3^2 \rightarrow \min \quad (4.15)$$

- в раскодированной форме:

$$N_{уд7} = 162,11 - 0,7 \cdot \omega - 4,11 \cdot b - 19,93 \cdot h + 0,06 \cdot \omega \cdot h + 0,25 \cdot b \cdot h + 0,002 \cdot \omega^2 + 0,09 \cdot b^2 + 1,48 \cdot h^2 \rightarrow \min \quad (4.16)$$

$$N_{уд8} = 165,27 - 0,79 \cdot \omega - 4,32 \cdot b - 16,58 \cdot h + 0,06 \cdot \omega \cdot h + 0,26 \cdot b \cdot h + 0,002 \cdot \omega^2 + 0,09 \cdot b^2 + 0,74 \cdot h^2 \rightarrow \min \quad (4.17)$$

$$N_{уд9} = 173,59 - 0,85 \cdot \omega - 4,84 \cdot b - 17,35 \cdot h + 0,06 \cdot \omega \cdot h + 0,22 \cdot b \cdot h + 0,002 \cdot \omega^2 + 0,12 \cdot b^2 + 1,11 \cdot h^2 \rightarrow \min \quad (4.18)$$

Адекватность полученных моделей, по результатам регрессионного анализа, с вероятностью P=0,95, при коэффициентах корреляции R₇= 0,969, R₈=0,967 и R₉=0,969 подтверждается неравенством F_R > F_T (таблица 4.15). Достоверность моделей оценивается по уровню значимости критерия Фишера, который должен быть

меньше, 0,05, то есть $p_7 = 0,01$, $p_8 = 0,01$ и $p_9 = 0,015$ означают, что полученные модели значимы. Степень точности описания моделью процесса характеризует коэффициент детерминации (R^2), поскольку R^2_{7-9} находится в пределах больших чем 0,8-0,95 (таблица 4.14), то можно говорить о высокой точности аппроксимации (модель хорошо описывает явление).

В таблице 4.16 приведены области экстремальных значений факторов X_1 , X_2 и X_3 , при которых критерии оптимизации Y_{7-9} стремятся к минимальному значению.

Таблица 4.16 – Области экстремальных значений

Критерий	X_1 / ω	X_2 / b	X_3 / h	$Y_{7-9} / N_{уд7-9}$, кВт·с/литр
$Y_7 \rightarrow \min$	0,14 / 142,4	0,05 / 19,8	0 / 2,2	49,1 / 49,9
$Y_8 \rightarrow \min$	0,1 / 197,5	0,05 / 24,0	0 / 0	48,4 / 35,4
$Y_9 \rightarrow \min$	0,05 / 117,6	0,04 / 17,7	0 / 2,9	46,74 / 44,0

На основе этих данных проведена графическая интерпретация полученных зависимостей в виде поверхностей и их сечений представлены в приложении М.

Проведенный анализ позволил определить оптимальные значения параметров, которые равны:

- ширина кольца ворса – $b = 17,7-24,0$ мм;
- высота ворса – $h = 2,2-2,9$ мм.

При указанных значениях параметров процесса истирания, затраты мощности составляют для соево-морковной композиции $N_{уд} = 49,9$ кВт·с/литр; соево-тыквенной композиции $N_{уд} = 44$ кВт·с/литр; соево-свекольной композиции $N_{уд} = 35,4$ кВт·с/литр.

Поверхности отклика, представлены в приложении М.

4.5 Результаты исследований по установлению производительности энергоемкости измельчающе-экстракционного устройства в зависимости от угловой скорости активного диска

На заключительном этапе исследований устанавливались зависимости следующего вида:

- для производительности: $Q_{ИЭУ} = f(\omega)$;
- для мощности $N_{ИИЭУ} = f(\omega)$.

На рисунке 4.1 представлены искомые зависимости в их графическом виде.

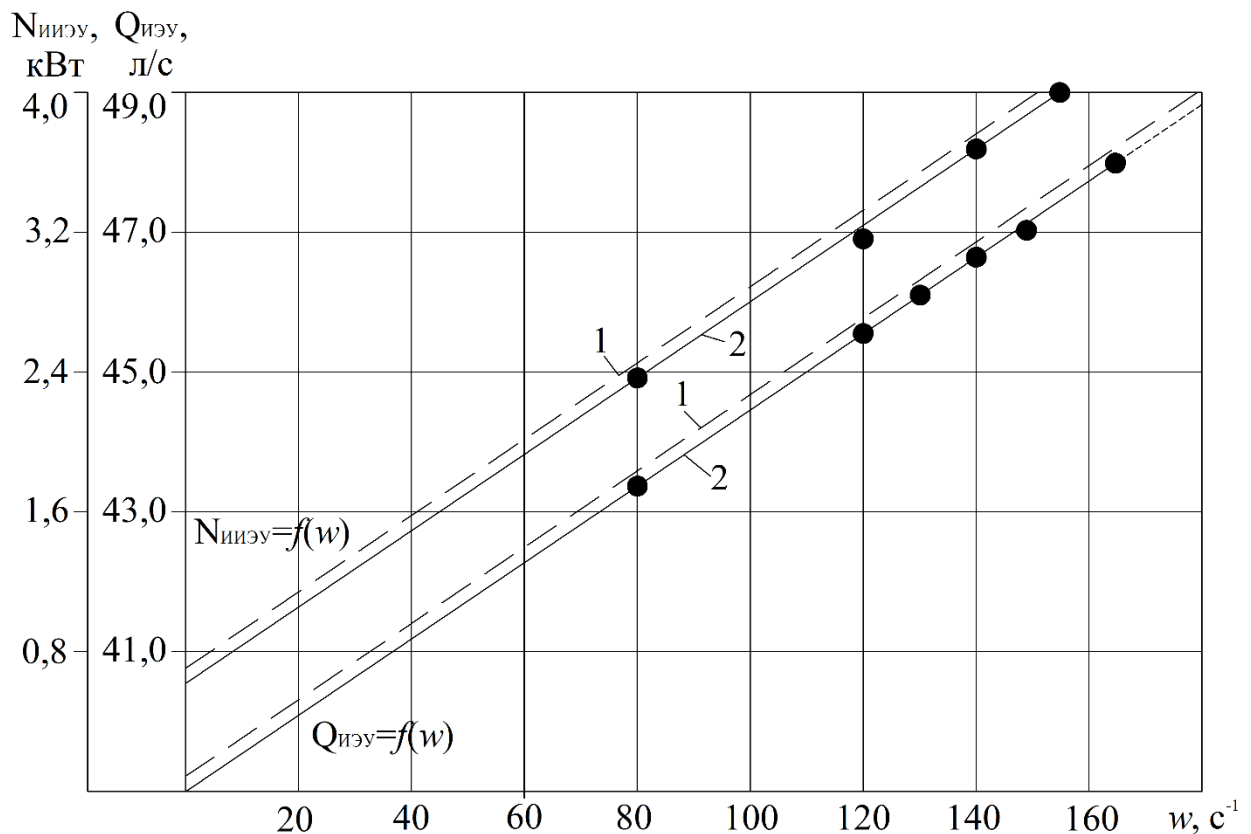


Рисунок 4.1 – Зависимости производительности $Q_{ИЭУ}$ и затрат мощности $N_{ИИЭУ}$ от угловой скорости – ω активного диска от $Q_{ИЭУ}$: 1 - теоретические (2.59), (2.77);

2 – экспериментальные

Анализ представленных на рисунке 4.1 зависимостей показывает, что с увеличением параметра ω до 180 с^{-1} производительность ИЭУ увеличивается, причем линейно. Затраты энергии также увеличиваются по линейному закону.

Данная зависимость аппроксимирована с использованием метода наименьших квадратов выражением следующего вида:

$$N_{\text{ИИЭУ}} = 0,568 + 0,0216\omega \quad (4.19)$$

При этом установлено, что энергоемкость рабочего процесса ИЭУ снижается в зависимости от увеличения его пропускной способности расхождение результатов по формулам (2.59) и (2.77) и экспериментальным данным составляют соответственно:

$$\Delta_Q = \left[1 - \left(\frac{0,079}{0,083} \right) \right] \cdot 100\% = 1 - 0,9518 = 4,82\%$$

$$\Delta_N = \left[1 - \left(\frac{3,75}{3,9} \right) \right] \cdot 100\% = 1 - 0,9615 = 3,85\%$$

4.6 Выводы по главе

1. В ходе экспериментальных исследований определены физико-механические показатели исходного сырья, а также основные конструктивно-режимные факторы, влияющие на процесс извлечения ПВ из СКК и установлены критерии оптимизации – концентрацию питательных веществ - K , влажность жома – W и энергоёмкость рабочего процесса ИЭУ.

2. Получены математические модели, адекватно описывающие процесс извлечения питательных веществ из СКК пооперационно в узловых системах ИЭУ, на основе которых установлены оптимальные значения факторов:

- угловая скорость нижнего диска – $\omega = 136,5-165,4 \text{ с}^{-1}$;
- плотность размещения ворса – $F = 85-95 \text{ шт/см}^2$;
- зазор между дисками – $s = 2,3-2,6 \text{ мм}$.

3. Получены математические модели, адекватно описывающие процесс разделения жидкой и нерастворимой фракций, для узловой системы ФРУ, которые позволили установить оптимальное значение фактора в виде угла наклона образующей стенки конуса к вертикали $45,8-46,2$ градусов.

4. Получены математические модели, характеризующие затраты энергии (энергоёмкость), позволяющие установить оптимальные значения факторов, влияющих на рабочий процесс ИЭУ в виде ширины кольца ворса – $b = 17,7-24,0 \text{ мм}$ и высоты ворса – $h = 2,2-2,9 \text{ мм}$.

5. Установлены зависимости, характеризующие пропускную способность ИЭУ - Q и затраты энергии на осуществление его рабочего процесса – N_y от угловой скорости дискового рабочего органа – ω , при сходимости результатов в пределах:

- $\Delta_Q = \pm 4,82\%$;
- $\Delta_{N_y} = \pm 3,85\%$.

5 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ, ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕ-ЭКСТРАКЦИОННОГО УСТРОЙСТВА

5.1 Производственная проверка основных результатов исследований по приготовлению кормовой добавки на основе соево-корнеплодных композиций

В целях подтверждения результативности теоретических и экспериментальных исследований, а также для определения технико-экономических показателей работы установки, проводились производственные испытания истирающе-экстракционного устройства в составе технологической линии.

Производственная проверка проводилась в Тамбовском районе Амурской области, на базе СПК «Искра». Технологическая схема получения кормовой добавки, схема линии для безотходного производства с использованием предложенного истирающе-экстракционного устройства представлены на рисунках 5.1 и 5.2.

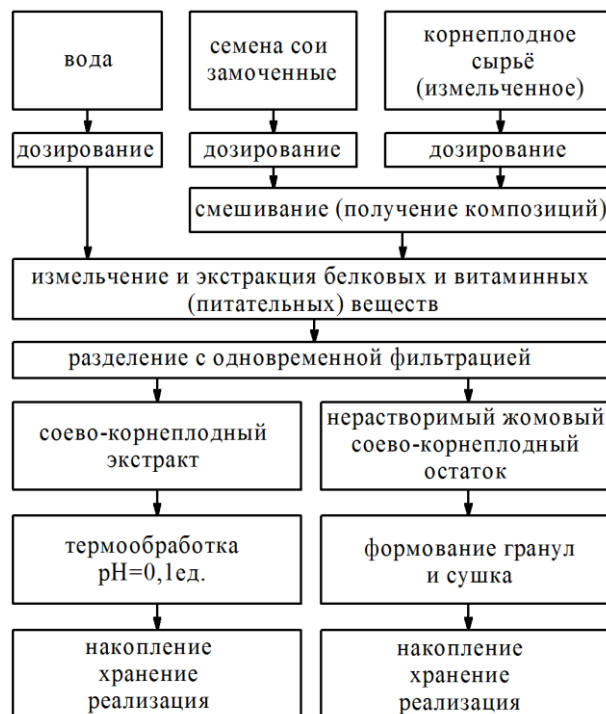


Рисунок 5.1 – Принципиальная технологическая схема получения кормовых продуктов на основе соево-корнеплодных композиций

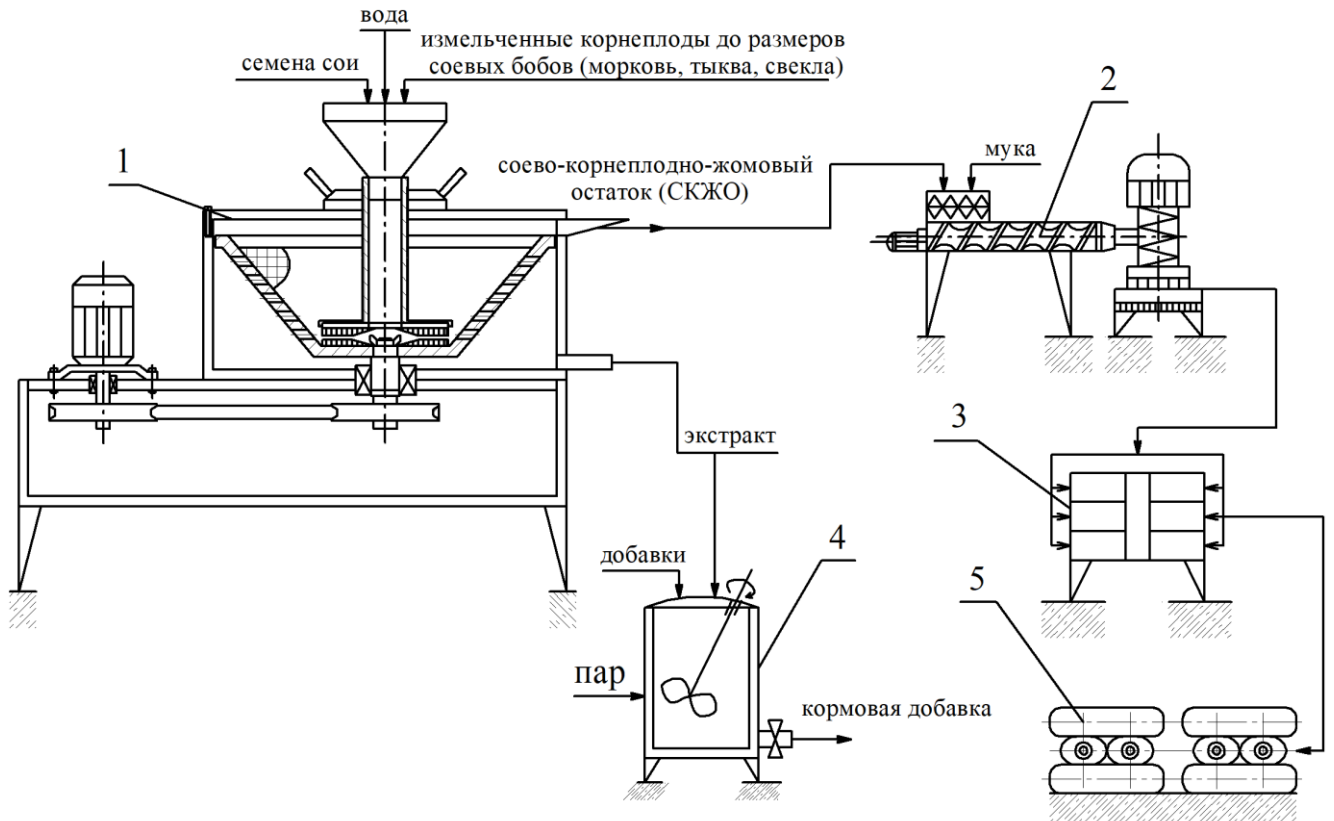


Рисунок 5.2 – Конструктивно-технологическая схема линии для безотходного производства кормовой добавки с использованием инновационного ИЭУ; 1 – измельчающе-экстракционное устройство; 2 – пресс-гранулятор; 3 – сушильный шкаф ЭСПИС-4-Универсал; 4 – агрегат АЗМ-0,7А; 5 – гранулы.

В результате производственной проверки установлено, что предложенное истирающе-экстракционное устройство обеспечивает производство кормовой добавки в количестве 300 литров в час при установленной мощности $N_{уст} = 4,0$ кВт. Техническая характеристика, габаритные размеры:

- длина – 1000 мм;
- высота – 900 мм;
- ширина – 700 мм.

Производительность:

- по соевому белку – 270-300 л/ч;
- по жому – 27-30 кг/ч.

Установленная мощность – 4,0 кВт.

5.2 Сравнительная технико-экономическая оценка результатов исследований

Для проведения технико-экономической оценки по разработке технических и технологических результатов, необходимо воспользоваться стандартными методиками [23, 98, 99].

Чтобы проследить экономический эффект требуется сопоставление двух технологических линий, по базовому и предлагаемому варианту, после чего рассмотреть эти линии по таким показателям как снижение металлоемкости, снижение энергоемкости, совокупность применяемых в процессе работы линии операций.

В качестве базового варианта сравнения экономической эффективности, была принята технологическая линия по производству соевой кормовой добавки разработанная в ДальНИИМЭСХ.

Состав, характеристика и стоимость сравниваемых комплектов оборудования представлены в таблицах 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Состав, характеристика и стоимость комплекта оборудования по производству соевой кормовой добавки разработанная в ДальНИИМЭСХ

№ п/п	Наименование оборудования	Масса, кг	Установленная мощность, кВт	Кол-во, шт	Цена за ед., руб.	Стоимость, руб.
1	Бункер хранения семян сои	300	-	1	60000	60000
2	Дробилка КД-2	940	30	1	150000	150000
3	Дозатор	110	-	1	100000	100000
4	Емкости для экстракции	80	-	1	60000	60000
5	Электродный водонагреватель ЭПЗ-100	220	100	1	36000	36000
6	Центробежный насос	32	1,5	1	38000	38000
7	Пастеризатор	327	45	1	350000	350000
8	Емкость для охлаждения	215	3,5	1	250000	250000
	Итого	2224	180	8		1044000

Таблица 5.2 – Состав, характеристика и стоимость комплекта оборудования по предлагаемому варианту

№ п/п	Наименование оборудования	Масса, кг	Установленная мощность, кВт	Кол-во, шт	Цена за ед., руб.	Стоимость, руб.
1	Емкости для замачивания семян сои	300	-	1	150000	150000
2	Овощерезка ОМ-350	28	0,55	1	50000	50000
3	Агрегат для мойки корнеплодов МТМ-600К	60	1,5	1	72000	72000
4	Бункеры-дозаторы	100	-	1	100000	100000
5	Измельчающе-экстракционное устройство для производства соево-корнеплодной кормовой добавки	20	4	1	30000	30000
6	Агрегат АЗМ-0,8А	830	6,1	1	40000	40000
7	Пресс-гранулятор ГД-145	250	3	1	80000	80000
8	Сушильный шкаф ЭСПИС-4	220	7	1	65000	65000
9	Бункер для хранения семян сои	300	-	1	60000	60000
	Итого	2108	20,1	9		647000

Экономическую эффективность рассчитываем в соответствии с ценами, сложившимися на момент 01.01.2022 год.

Размер капитальных вложений с учетом затрат на монтаж и транспортно-складские расходы составят:

Для базового варианта:

$$KB_6 = \sum_{i=1}^8 1044000 \cdot 1,34 = 1398960 \text{ руб.}$$

Для предлагаемого варианта:

$$KB_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^8 647000 \cdot 1,34 = 866980 \text{ руб.}$$

Произведем расчет годовых эксплуатационных затрат.

Оборудование для приготовления кормов для животных относится ко второй амортизационной группе, срок его полезного использования – 3 года.

Годовую сумму амортизационных отчислений на оборудование определили из формулы:

$$A_o = \frac{C_o \cdot a_a}{100} \quad (5.1)$$

где B – балансовая стоимость оборудования, руб.;

a_a – норма амортизационных отчислений за год (33,3 % от балансовой стоимости оборудования).

Расчет годовой нормы амортизации рассчитали по формуле:

$$a_a = \frac{100}{3} = 33,3 \%, \quad (5.2)$$

где 3 – срок полезного использования оборудования, лет.

Таким образом, 33,3 % стоимости оборудования будет ежегодно уходить в счет погашения стоимости оборудования и за 3 года стоимость полностью будет списана.

$$A_o^B = \frac{1044000 \cdot 33,3}{100} = 347652 \text{ руб.}$$

$$A_o^{\text{пр}} = \frac{647000 \cdot 33,3}{100} = 215451 \text{ руб.}$$

Годовые затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание оборудования:

$$Z_{\text{тр}} = \frac{C_o \cdot a_{\text{тр}}}{100}, \quad (5.3)$$

где $a_{\text{тр}}$ – норма затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования (5–8%).

$$Z_{\text{тр}}^B = \frac{1044000 \cdot 8}{100} = 83520 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{тр}}^{\text{ПР}} = \frac{647000 \cdot 8}{100} = 51760 \text{ руб.}$$

Годовые затраты на электроэнергию:

$$Z_{\text{э.год}} = (N_{\text{уст}} \cdot T_{\text{э}} \cdot t) \cdot Д, \quad (5.4)$$

где $N_{\text{уст}}$ – установленная мощность оборудования, кВт;

$T_{\text{э}}$ – тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч;

t – время работы оборудования, ч;

$Д$ – число рабочих дней в году.

$$Z_{\text{э.год}} = (180 \cdot 5,05 \cdot 10) \cdot 250 = 2272500 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{э.год}} = (22,15 \cdot 5,05 \cdot 10) \cdot 250 = 279643,75 \text{ руб.}$$

Далее произведен расчет численности и фонда заработной платы рабочих. Расчет тарифной ставки производили умножением минимального размера оплаты труда (МРОТ) на коэффициент, соответствующий разряду занимаемой должности работника. На 1 января 2022 года МРОТ составляет 13890 руб.

Так, предусмотрены рабочие для производственных линий по базовому и предлагаемому варианту, работающие по 4 разряду. Соответствующий тарифный коэффициент для 4 разряда – 1,91. Таким образом, тарифная ставка составит:

$$T_{\text{с}} = O_{\text{мрот}} \cdot K_{\text{раз}} = 26530 \text{ руб.} \quad (5.5)$$

где $O_{\text{мрот}}$ – минимального размера оплаты труда (МРОТ), руб., $O_{\text{мрот}} = 13890$ руб.;

$K_{\text{раз}}$ – коэффициент разряда (коэффициент для 4 разряда – 1,91).

$$T_{\text{с}} = 13890 \cdot 1,91 = 26530 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы рассчитали по формуле:

$$Z_{\text{зп.год}} = T_{\text{с}} \cdot k \cdot 12 \cdot Z_{\text{доп}} \cdot \Phi_{\text{ЕСН}} \cdot K_{\text{р}}, \quad (5.6)$$

где $T_{\text{с}}$ – тарифная ставка, руб.;

k – количество работников, чел.;

$Z_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, руб., $Z_{\text{доп}} = 1,5$;

$\Phi_{\text{ЕСН}}$ – коэффициент отчислений в единый социальный налог (ЕСН), $\Phi_{\text{ЕСН}} = 1,3$;

$K_{\text{р}}$ – районный коэффициент, $K_{\text{р}} = 1,2$.

$$Z_{\text{зп.год}} = 26530 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 1,5 \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 1489924,8 \text{ руб.}$$

Прочие расходы берутся в размере 1% от суммы капиталовложений:

$$П_p^Б = 1398960 \cdot 0,01 = 13989,6 \text{ руб.}$$

$$П_p^{ПР} = 866980 \cdot 0,01 = 8669,8 \text{ руб.}$$

Таблица 5.3 – Размер годовых эксплуатационных затрат в базовом и предлагаемом варианте

№ п/п	Показатели	Базовый вариант	Предлагаемый вариант	Отношение предлагаемого к базовому варианту, %
1	Амортизационные отчисления, руб.	347652	215451	61
2	Затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание оборудования, руб.	83520	51760	61
3	Затраты на сырье, руб.	6834375	5653125	82
4	Затраты на электроэнергию, руб.	2272500	279643,75	12
5	Затраты на оплату труда, руб.	1489924,8	1489924,8	100
6	Прочие расходы, руб.	13989,6	8669,8	61
	ИТОГО	11041961,4	7698574,35	70

Годовой экономический эффект составит:

$$Э_Г = Э_{з.год}^Б - Э_{з.год}^{ПР} \quad (5.7)$$

$$Э_Г = 11041961,4 - 7698574,35 = 3343387,05 \text{ руб.}$$

Таким образом, размер годовых эксплуатационных затрат предлагаемого варианта ниже базового на 3343387,05 рублей, что в относительном выражении составит 70%.

Себестоимость приготовления 1 кг кормовой добавки по базовому и предлагаемому варианту:

$$S = \frac{Э_{\text{экс.год.}}}{V_{\text{прод.год.}}} \quad (5.8)$$

$$S_6 = \frac{11041961,4}{675000} = 16,3 \text{ руб./кг.}$$

$$S_{\text{пр}} = \frac{7698574,35}{675000} = 11,4 \text{ руб./кг.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений:

$$T_{\text{ср}} = \frac{KB_{\text{пр}}}{\mathcal{E}_{\Gamma}} \quad (5.9)$$

где: $T_{\text{ср}}$ - сравнительный срок окупаемости капитальных вложений, лет;

$KB_{\text{пр}}$ - размер капитальных вложений предлагаемого варианта, рубли;

\mathcal{E}_{Γ} - годовой экономический эффект, рубли.

$$T_{\text{ср}} = \frac{866980}{3343387,05} = 0,26 \text{ года}$$

Коэффициент снижения металлоемкости:

$$M_c = M_{\text{пр}}/M_{\text{Б}}, \quad (5.10)$$

где $M_{\text{пр}}$ – масса оборудования по предлагаемому варианту, кг.;

$M_{\text{Б}}$ – масса оборудования по базовому варианту, кг.

$$M_c = 1808/2224 = 0,81$$

Коэффициент снижения энергоемкости:

$$E_c = E_{\text{пр}}/E_{\text{Б}}, \quad (5.11)$$

где $E_{\text{Б}}$ – установленная мощность оборудования базового варианта, кВт;

$E_{\text{пр}}$ – установленная мощность оборудования предлагаемого варианта, кВт.

$$E_c = 22,15/180 = 0,12$$

Сводная показателей ожидаемой экономической эффективности производства кормовой добавки по предлагаемому варианту в сравнении с базовым представлена в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Показатели ожидаемой экономической эффективности производства кормовой добавки по предлагаемому варианту в сравнении с базовым

Показатель	Значение	
	базовый вариант	предлагаемый вариант
Капитальные вложения, рубли	1398960	866980
Эксплуатационные затраты, рубли	11041961,4	7698574,35

Годовой экономический эффект, рубли	-	3343387,05
Срок окупаемости капиталовложений, лет	-	0,26
Себестоимость 1 кг кормовой добавки, руб	16,3	11,4
Коэффициент снижения металлоемкости	-	0,81
Коэффициент снижения энергоемкости	-	0,12

Таким образом, за счет экономии на текущих затратах более 3 млн. рублей в год, капитальные вложения в оборудование окупятся за срок менее года. Снижение себестоимости единицы (1 кг) производства кормовой добавки составит 4,9 руб., что является экономически выгодным.

5.4 Выводы по главе

Проведенные расчеты экономической эффективности определили целесообразность внедрения технологии приготовления кормовой добавки на основе соево-морковной композиции с применением разрабатываемого измельчающе-экстракционного устройства. Внедрение данной технологии позволит уменьшить затраты на капитальные вложения до 531980 рублей.

Годовой экономический эффект составит 3343387,05 рублей. В целом, производство кормовой добавки по предлагаемому варианту является экономически эффективным, так как срок окупаемости капиталовложений менее года, а снижение себестоимости единицы (1 кг) производства кормовой добавки составит 4,9 руб. Также следует отметить, что при внедрении разрабатываемой линии приготовления соево-корнеплодной кормовой добавки позволит снизить металлоемкость на 0,81, и снизить энергоемкость до 0,12.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертационной работе решена актуальная научно-производственная задача по обоснованию нового способа получения кормовой добавки на основе соево-корнеплодных композиций с использованием измельчающе-экстракционного устройства.

2. Проведенный анализ существующих конструкций сельскохозяйственных аппаратов по приготовлению кормовой добавки показал, они являются менее эффективными при измельчении волокнистых продуктов, таких как свекла, морковь, тыква и др., в связи с чем была разработана конструктивно-технологическая схема измельчающе-экстракционного устройства (патент № 2624947).

Повысить эффективность процесса измельчения семян сои и корнеплодов можно путем применения рабочих органов в виде дисков, с размещенным на них металлическим ворсом, обеспечивающих извлечение питательных веществ.

3. На основании анализа итогов выполненного исследования по технологическому и техническому обеспечению системы механизированного кормления молодняка сельскохозяйственных животных, обоснован способ получения кормовой добавки, включающий операции по извлечению белково-витаминных и других питательных веществ в водную среду из предварительно подготовленных соево-корнеплодных композиций.

На основании разработанной структурно-функциональной схемы измельчающе-экстракционного устройства (ИЭУ) для получения кормовой добавки обоснованы решения по конструктивному оформлению подающе-распределяющего узла (ПРУ), измельчающе-экстракционного узла (ИЭУ) и фильтрующе-разделяющего узла (ФРУ).

В результате теоретического анализа рабочего процесса предложенного устройства получена кинетическая модель, в виде зависимости характеризующей интенсивность процесса извлечения питательных веществ из соево-корнеплодных композиций (2.10), а также зависимости по обоснованию пропускной способности предложенного устройства (2.37), с учетом конструктивных особенностей ПРУ,

ИЭУ и ФРУ, в том числе совокупные затраты энергии на выполнение процессов измельчения, экстракции и разделения (2.71), (2.74), (2.75) и (2.77).

4. Экспериментальным путем получены математические модели процессов, в виде адекватных уравнений регрессии, на основании которых обоснованы конструктивно-режимные параметры ИЭУ. Установлено, что оптимальными значениями параметров ИЭУ являются:

- угловая скорость нижнего диска – $\omega = 136,5-165,4 \text{ с}^{-1}$;
- плотность размещения ворса – $F = 85-95 \text{ шт/см}^2$;
- зазор между дисками – $s = 2,3-2,6 \text{ мм}$;
- угол наклона образующей стенки конического ротора к его вертикальной оси - $45,8-46,2$ градусов;
- ширина кольца ворса – $b = 17,7-24,0 \text{ мм}$;
- высота ворса – $h = 2,2-2,9 \text{ мм}$.

Расхождение результатов теоретических исследований и полученных экспериментальных данных не превышает допустимые 5%.

5. В ходе производственной проверки подтверждены результаты теоретических и экспериментальных исследований. На основе полученных данных обоснован состав технологической линии по производству кормовой добавки молодняку сельскохозяйственных животных с использованием соево-корнеплодных композиций, а также предложена методика ее расчета.

Установлено, что данная технологическая линия обеспечивает безотходное получение кормовой добавки с содержанием сухих веществ в пределах 10,8-17,5% в зависимости от вида соево-корнеплодной композиции, а также нерастворимого соево-корнеплодного жомового остатка с влажностью в пределах 37,5-49,9%. При совокупной энергоемкости ИЭУ 35,4-49,9 кВт·с/литр

6. В результате сравнительной технико-экономической оценки разработанной технологической линии, содержащей предложенное ИЭУ по безотходному производству кормовой добавки на основе соево-корнеплодных композиций, установлено, что ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения разрабатываемой технологии составит 3343387,05 рублей.

На основании проведенных исследований разработаны рекомендации по производству и использованию инновационных продуктов, полученных на основе соево-корнеплодных сырьевых композиций с помощью предложенного ИЭУ.

Рекомендации и предложения производству

1. При разработке и проектировании системы механизированного кормления молодняка сельскохозяйственных животных на малых фермах (КРС и свинофермах) рациональным является использование ИЭУ со щеточно-стирающим рабочим органом дискового типа.

2. Данное ИЭУ целесообразно использовать в совокупности со смесителем-гранулятором сушильным шкафом «ЭСПИС-4-универсал», позволяющим обеспечить безотходное производство соевого белка и получать белково-углеводно-витаминный гранулят.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Используя теоретический и экспериментальный материал проведенных исследований возможно разработать способы по использованию других композиций на основе бобовых и овощных кормовых культур, а также отходов перерабатывающих производств и теоретических средств для их реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Макарова., Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. - 280 с.
2. Алешкин, В.Р. Механизация животноводства / В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – 2-е изд., перераб. доп. – М.: Колос, 1993. – 319 с.
3. Алешкин, В.Р. Механизация животноводства / В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. Под. ред. С.В. Мельникова. – М.: Агропромиздат, 1985. -346 с.
4. Алейникова, Л.Д. Основы кормопроизводства / Л.Д. Алейникова, Ю.С. Козлов – М.: Агропромиздат, 1988. - 191 с.
5. Алимов Т. Соевое молоко для телят / Т. Алимов [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 1991. – № 5. – С. 25–27.
6. Алябьев, Е.В. Приготовление, хранение и раздача кормов на животноводческих фермах / Е.В. Алябьев. – М.: Колос, 1977.-315 с.
7. Астахов, А.С. Краткий справочник по машинам и оборудованию для животноводческих ферм / А.С. Астахов, А.В. Еленев. – М.: Колос, 1977. - 256 с.
13. Бабич, А. А. Соя на корм / А. А. Бабич. – Москва: Колос, 1974. – 103 с.
8. Бабич, А. А. Соя на корм / А. А. Бабич. – Москва: Колос, 1974. – 103 с.
9. Бабичев, А.А. Соя в США / А.А. Бабичев // Масленичные культуры. 1987. - №6.
10. Баранов, В.Ф. Соя в кормопроизводстве / В.Ф. Баранов, А.В. Кочегура, С.И. Кононенко. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта, 2010. – 367 с.
11. Барсуков, С.С. Соя – важнейший источник белка и масла / С.С. Барсуков, А.С. Барсуков // Аграрная наука. – 2005. -№ 3. –С.10-11.
12. Белянчиков, Н.Н. Механизация животноводства / Н.Н. Белянчиков, А.И. Смирнов. – М.: Колос, 1983.-360 с.

13. Бережной, И.А. Исследование размерных характеристик зерна сои / И.А. Бережной, А.Т. Волков, В.Н. Рябченко // Труды Амур. с.-х. станции. - т.2, вып.2. - Хабаровск, 1968.-С. 131-142.
14. Борсук, А.А. Обоснование и оптимизация параметров технологической линии приготовления соевого заменителя молока / А.А. Борсук, С.А. Иванов, С.М. Доценко // Вестник КрасГАУ. №9 2011. – С. 277-281.
15. Боярский, Л.Г. Производство и использование кормов. - М.: Росагропромиздат, 1988.
16. Вараксин, С.В. Механико-технологические основы повышения эффективности приготовления кормовых продуктов с использованием соево-зерновых композиций: монография / С.В. Вараксин, С.М. Доценко, С.А. Иванов, Р.В. Соболев. – Благовещенск: ДальГАУ, 2014. – 294 с.
17. Вараксин, С.В. Теоретические и практические аспекты получения белково-углеводных гранул заданной влажности и однородности для кроликов / С.В. Вараксин, Д.А. Маркин. // Сб. материалов 4 международной научно-практической конференции «Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков». Новосибирск 2016. – С. 75 – 80.
18. Вараксин, С.В. Обоснование способа приготовления кормов с использованием сои / С.В. Вараксин, Е.А. Неретина., С.М. Доценко, Р.В. Соболев, Д.А. Маркин // Вестник КрасГАУ. Выпуск 12. Красноярск 2015. – С. 87-91.
19. Вараксин, С.В. Обоснование параметров процесса получения соево-кукурузного белково-углеводного гранулята / С.В. Вараксин, Е.А. Неретина., С.М. Доценко, Р.В. Соболев, Д.А. Маркин // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2016. № 3 (44). С. 107-117.
20. Вараксин, С. В. Оптимизация параметров сушки белково-витаминного гранулята / С.В. Вараксин, В. В. Самуйло, О.В. Гончарук, С. М. Доценко, А.И. Гончарук, Д.А, Маркин // Журнал «Научное обозрение». Выпуск № 1, 2017. – С. 36 – 39.
21. Василенко, П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М, Василенко. - Киев, 1960. - С. 244-250.

22. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин – М.: Колос, 1973. - 199 с.
23. Водяников В. Т., Середя Н. А., Кухарев О. Н., Малыха Е. Ф., Василькова Т. М. Экономическая оценка проектных решений в агроинженерии: учебник Издательство "Лань" 2022 С. 436
24. Воронец, П.С. Дифференциальное уравнение траектории материальной точки на шероховатой поверхности / П.С. Воронец. – Киев, 1966. - С. 1-10.
25. Гжиров, Р.И. Краткий справочник конструктора / Р.И. Гжиров. – Л.: Машиностроение, 1983. – 464 с.
26. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1972. - 368 с.
27. Гончарук, О.В. Научные аспекты создания продуктов питания заданного состава и свойств на основе соево-морковных композиций / О.В. Гончарук, С.М. Доценко, Л.А. Ковалева, А.И. Гончарук, С.В. Вараксин, А.Г. Иванин. // Вестник КрасГАУ. №5 2016. – С. 136-142.
28. Гордезиани, В.С. Производство заменителей молока / В.С. Гордезиани - М.: Агропромиздат, 1990.-272 с.
29. Гордезиани, В.С. Производство заменителей молока / В.С. Гордезиани. – Л.: Машиностроение, 1983. – 464 с.
30. Горячкин, В.П. Собр. соч. / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – т. 1-3.
31. Девяткин, А.И. Рациональное использование кормов / А.И. Девяткин. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 252 с.
32. Дектярев, Г.П. Справочник по машинам и оборудованию для животноводства / Г.П. Дектярев. – Изд. 2-е доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 224 с.
33. Денисов, А.М. Методика лабораторных испытаний кормоприготовительных машин / А.М. Денисов. // Научные труды ВИЭСХ. – 1964. – С. 36-38.
34. Демидов, П.Г. Технология комбикормового производства / П.Г. Демидов. – М.: Колос, 1968. – 245 с.
35. Деревянский, В. Соя – ценный корм для свиней / В. Деревянский, А. Медведь // Свиноводство. – 1994. – № 3. – С. 6–9.

36. Доценко, С.М. Теоретические предпосылки совершенствования процесса измельчения соевого зерна высокой влажности / С.М. Доценко, В.Ю. Фролов, Р.Ф. Филонов, И.А. Корбанева. // Сб. науч. тр. Технология и механизация производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Часть 1. Благовещенск, 1997.

37. Доценко, С.М. Повышение эффективности производства комбикормов-концентратов / С.М. Доценко, Ю.Б. Курков, И.В. Бибик. // Сборник научных трудов «Механизация технологических процессов в животноводстве». – Благовещенск, 1997. – С. 102-108.

38. Доценко, С.М. Технологическая линия производства комбикормов-концентратов / С.М. Доценко, И.В. Бибик, В.В. Петров. // Сборник научных трудов «Технология и механизация производства и переработки сельскохозяйственной продукции». – Благовещенск, 1998. – С. 43-46.

39. Доценко, С.М. Экономическая оценка использования линии производства комбикормов-концентратов / С.М. Доценко, И.В. Бибик. // Сборник научных трудов «Технология и механизация производства и переработки сельскохозяйственной продукции». – Благовещенск, 1998. – С. 60-62.

40. Доценко, С.М. Концептуальные аспекты повышения эффективности приготовления кормовых продуктов с использованием соево-зерновых композиций / С.М. Доценко, С.В. Вараксин, Д.А. Маркин // Сб. материалов 4 международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные науки сегодня» 2014. - С. 94 – 97.

41. Доценко, С.М. Экспериментально-теоретические аспекты разработки измельчающе-экстракционного устройства / С.М. Доценко, Д.А. Маркин, С.В. Вараксин, О.В. Гончарук. // Дальневосточный аграрный вестник. Выпуск №4(40). Благовещенск октябрь – декабрь 2016. – С. 150 – 156.

42. Егоров, Б.В. Влаготепловая обработка сои / Б.В. Егоров, В.В. Шестобитов, И.К. Чайка. // Техника в сельском хозяйстве. – 1985. – №3. – С. 15-16.

43. Емельянов, А.М. Элементы математической обработки и планирования инженерного эксперимента / А.М. Емельянов, А.М. Гуров. // Методические указания. – Благовещенск, 1984. - 63 с.

44. Ерсков, Э.Р. Протеиновое питание жвачных / Э.Р. Ерсков. – М.: Агропромиздат, 1985. - 183 с.
45. Ефимов, Н.П. Эффективность использования сои при откорме молодняка крупного рогатого скота / Н.П. Ефимов, В.Н. Кнышов. // Сб. науч. ст. Нижне-Волжск. НИИСХ. 1986, т.7.-С. 93-97.
46. Заверюхин, В. И. Производство и использование сои / В. И. Заверюхин, И. Л. Левандовский. – Киев: Урожай, 1988. – 112 с.
47. Завражнов, Л.И. Технологическое проектирование ферм и комплексов / Л.И. Завражнов. – Алма-Ата: Казнар, 1982. – 282 с.
48. Завражнов, А.И. Совершенствование машин и технологических линий приготовления и раздачи кормов на молочных фермах и комплексах: дис. д-ра.техн. наук: в форме научного доклада / А.И. Завражнов. – Ленинград-Пушкин, 1991.
49. Завражнов, А.И. Механизация приготовления и хранения кормов / А.И. Завражнов, Д.И. Николаев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 335 с.
50. Зацепин, В.Г. Установка малогабаритная комбикормовая УМК-Ф-2 / В.Г. Зацепин. – М.: Информагротех, 1990. – 47 с.
51. Зафрен, С.Я. Технология приготовления кормов / С.Я. Зафрен. – М.: Колос, 1977. – 239 с.
52. Иванин, А.Г. Обоснование схемы и параметров многофункционального устройства для получения белково-витаминных инновационных продуктов /А.Г. Иванин, С.М. Доценко, О.В. Гончарук, Л.А. Ковалева, А.И. Гончарук. // Вестник КрасГАУ. №5. – 2016. – С. 111-117.
53. Иванов, С.А. Совершенствование технологии и технических средств приготовления кормов для животноводства на основе соевого зерна / С.А. Иванов. – Новосибирск, 2005. – 36 с.
54. Ионкина, А.А. Исследование эмульгирующих средств растительных белковых концентратов с целью использования их в рецептурах заменителей цельного молока / А. А. Ионкина, О. Г. Фоломеева, Е. И. Рогова, О. Г. Губанова. // Получение, свойства и применение молочно-белковых и растительных концентратов: сб. науч. тр. / ВАСХНИЛ. – М., 1991. – С. 71–79.

55. Катаев, А.С. Совершенствование процесса приготовления ЗЦМ и обоснование технологических и конструктивных параметров малогабаритного агрегата: автореф. дис. канд.техн.наук : 05.20.01 / Катаев Александр Сергеевич – СПб., 1999. – 16 с.
56. Кириленко, И. В. Соевое молоко / И. В. Кириленко // Животноводство. – 1982. – № 4. – С. 42–45.
57. Коба, В.Г. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба. – М.: Колос, 1999.
58. Кольвах, И.А. Технология переработки и приготовления кормов / И.А. Кольвах. – М.: Агропромиздат, 1982. – 211 с.
59. Комлацкий, В. И. Перспективы применения соевых продуктов в кормлении свиней / В. И. Комлацкий, Л. Ф. Величко, Н. П. Насека, Р. В. Смолкин // Труды Кубанского ГАУ. – Вып.361 (389). – Краснодар. – 1999. – С.126-132.
60. Комлацкий, В. И. Качество мяса свиней / В. И. Комлацкий, А.С. Мельник, Л. Ф. Величко, Н. Р. В. Смолкин // Матер. VI междунар. конф."Экология и здоровье" – Краснодар. – 2001. – С.48.
61. Комлацкий, В. И. Совершенствование технологии приготовления соевой суспензии / В. И. Комлацкий, Р. В. Смолкин // Актуальные проблемы научного обеспечения увеличения производства, повышения качества кормов и эффективного их использования. – Краснодар. – 2001. – С.145-147.
62. Конченко, Н.Ф. Сортирование семян сои по сферичности / Н.Ф. Конченко, С.К. Трофимов. // Сб. науч. тр. ВАСХНИЛ, Сиб. отд-ние. - Новосибирск, 1986. - С. 116-120.
63. Красников, В.В. Краткий справочник по физико-механическим свойствам сельскохозяйственных грузов / В.В. Красников. – Саратов, 1971.-81 с.
64. Краснов, В.С. Основные направления механизации кормов на фермах / В.С. Краснов, А.А. Кутлембетов. // Механизация и электрификация социалистического хозяйства. – 1972, №8. - С. 15.
65. Краюхин, Г.А. Экономическая эффективность изобретений и рационализаторских предложений / Г.А. Краюхин. – Л.: Лениздат, 1983. - 129 с.

66. Кузнецова, А.А. К вопросу о возможности ферментативной обработки соевой окары / А.А. Кузнецова, Л.В. Левочкина // Новое в пищевых технологиях, 2011. – С. 69-73.

67. Кукта, Г.М. Методика определения технологических и эксплуатационных показателей машин и оборудования для приготовления кормов / Г.М. Кукта, И.И. Губко, В.В. Коврига // В кн.: Механизация и электрификация сельского хозяйства. – Киев, 1973. – С. 43-45.

68. Кукта, Г.М. Технология переработки и приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Колос, 1978. – 240 с.

69. Кукта, Г.М. Методика определения неравномерности смешивания кормов / Г.М. Кукта // Механизация и электрификация с. х. – 1985. – № 1. – С. 44-46.

70. Кукта, Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.

71. Кулаковский, И.В. Машины и оборудование для приготовления кормов /И.В. Кулаковский, Ф.С. Кирпичников, Е.И. Резник. – М.: Росагропромиздат, 1987. – Т. 1. – 285 с.

72. Кулаковский, И.В. Машины и оборудование для приготовления кормов / И.В. Кулаковский, Ф.С. Кирпичников, Е.И. Резник. – М.: Росагропромиздат, 1988. – Т. 2. – 286 с.

73. Курков, Ю.Б. Повышение эффективности использования соевого зерна при кормлении крупного рогатого скота / Ю.Б. Курков. // Вестник КрасГАУ. №10 2006. – С. 238-241.

74. Лаврова, Г.П. Эффективность использования соевого молока и окары при выращивании телят / Г.П. Лаврова. // Вестник Алтайского государственного университета №2 2003. - С. 275-276.

75. Лавриненко, Г. Т. Повысить эффективность научных исследований по сое / Г. Т. Лавриненко // Селекция и семеноводство. – 1978. – № 1. – С. 76–77.

76. Лавриненко, Г. Т. Соя / Г. Т. Лавриненко. – Москва: Россельхозиздат, 1978. – 189 с.

77. Легкоступ, С.С. Организация производства кормов на индустриальной основе / С.С. Легкоступ, Н.А. Поспелов. – М.: Колос, 1984. - 207 с.

78. Лесниковский, А.И. Оценка машин по общему критерию качества / А.И. Лесниковский, Т.И. Сенченко. // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1974, №3. - С. 56-58.

79. Лисовский, И.В. Справочная книга по механизации кормопроизводства. / И.В. Лисовский. – Л.: Агропромиздат, 1986. 201 с.

80. Маркин, Д.А. Совершенствование технологии производства соевых высокобелковых продуктов в виде ЗЦМ / Д.А. Маркин // Сб. материалов 16 региональной научно-практической конференции «Молодежь XXI века – шаг в будущее». Благовещенск 2015. – С. 95 – 96.

81. Маркин, Д.А. Результаты экспериментальных исследований процесса приготовления соевой белковой основы / Д.А. Маркин // Сб. материалов 17 региональной научно-практической конференции «Молодежь XXI века – шаг в будущее». Благовещенск 2016. – С. 24 – 25.

82. Маркин, Д.А. Приготовление кормов на основе сои с использованием многофункциональной машины / Д.А. Маркин // Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Курск, 7-9 декабря 2016 г., ч. 1. – С. 282–284.

83. Маркин, Д.А. Обоснование пропускной способности измельчающе-экстракционного аппарата многофункциональной машины / Д.А. Маркин, С.М. Доценко, С.В. Вараксин, О.В. Гончарук. // Дальневосточный аграрный вестник. Выпуск №1 (41). Благовещенск январь – март 2017. – С. 74 – 81.

84. Маркин, Д.А. Расчет пропускной способности измельчающе-экстракционного устройства для приготовления заменителей молочных кормов / Д.А. Маркин // Сб. материалов 18 региональной научно-практической конференции «Молодежь XXI века – шаг в будущее». Благовещенск 2017. - С.

85. Маркин, Д.А. Обоснование методики и параметров оптимизации процесса приготовления заменителя цельного молока / Д.А. Маркин // "Вестник АПК Ставрополя" №1 (24), 2017. – С. 32 – 38.

86. Маркин, Д.А. Конструкция измельчающе-экстракционного устройства для приготовления заменителей молочных кормов с применением соевых бобов и корнеплодов / Д.А. Маркин // Материалы XIX региональной научно-практической конференции Молодежь XXI века – шаг в будущее. – в 3 т. – Благовещенск: Изд-во Дальневосточного гос. аграрного ун-та. – Т. 3., 2018. – С. 248 – 249.

87. Маркин, Д.А. Теоретическое обоснование процесса экстракции питательных веществ из соево-корнеплодных сырьевых композиций / Д.А. Маркин // Молодежь XXI века: шаг в будущее : материалы XX региональной научно-практической конференции (23 мая 2019 г., Благовещенск) : в 3 томах. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2019. – Т. 3. – С. 260 – 261.

88. Маркова, Е.В. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей / Е.В. Маркова, А.В. Лисенков. – М.: Наука, 1973. - 219 с.

89. Матусевич, Б.Е. Машины и оборудование ферм для откорма крупного рогатого скота / Б.Е. Матусевич – М.: Россельхозиздат, 1983. - 63 с.

90. Мартынов, В.А. Влияние соево-зернового заменителя цельного молока на развитие и физиологическое состояние телят / В.А. Мартынов, С.И. Снигирев, Д.С. Белый. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета № 1 (123), 2015. – С. 97-102.

91. Машины и оборудование для цехов и предприятий малой мощности по переработке сельского сырья / В.А. Милюткин : М-во сел. х-ва РФ, Сам. гос. с.-х. акад., Сам. регион. отдние междунар. акад. аграр. образования. - Самара : СГСХА, 2002. - 190 с.

92. Мельников, С.В. Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов / С.В. Мельников. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат, 1985. – 640 с.

93. Мельников, С.В. Поточные линии в животноводстве и кормопроизводстве: Учебное пособие для слушателей ФПК / С.В. Мельников. –Л.:СХИ, 1981. – 46 с.

94. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л.: Колос, 1980. – 320 с.
95. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С.В. Мельников. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.
96. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин. – Л., 1972. – С. 5-81.
97. Методика статистической обработки эмпирических данных: Проект / Ком. стандартов, мер и измерит. приборов при Совете Министров СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т по нормализации в машиностроении. ВНИИНМАШ. - (1-я ред.). - Москва: [б. и.], 1970. - 361 с.
98. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений / ВАСХНИЛ: - М. : Колос, 1980. - 112 с.
99. Морозов, Н.М. Экономическая эффективность комплексной механизации животноводства / Н.М. Морозов. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 224 с.
100. Наймушин, А.А. Экспериментальное исследование процесса измельчения зерна на зубчато-роликовом измельчителе / А.А. Наймушин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета № 12 (110), 2013. – С. 108-113.
101. Налимов, В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1971. - 207 с.
102. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. - 360 с.
103. Научно-технические аспекты повышения эффективности приготовления комбикормов-концентратов на основе соево-зернового экструданта: монография / В.А. Широков, С.А. Иванов, А.Н. Вишнеvский, С.М. Доценко, В.В. Петров; под общ. ред. В.А. Широкова. – Благовещенск: ДальГАУ, 2014. – 227 с.
104. Научно-технические аспекты технологии получения сухих заменителей молочных кормов и гранулятов с использованием сои: монография / С.В. Вараксин,

С.М. Доценко, С.А. Иванов, А.А. Борсук, Е.А. Неретина. – Благовещенск: ДальГАУ, 2015.-196 с.

105. Научно-технические основы получения кормовых продуктов пастообразной и жидкой физической формы с использованием сои: монография / С.М. Доценко [и др.] – Благовещенск: ДальГАУ, 2015.-196 с.

106. Новиков, Ю.Ф. Направления исследования в области механизации животноводства и кормопроизводства / Ю.Ф. Новиков // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1982. – № 9.

107. Одрин, В.М. Морфологический анализ систем / В.М. Одрин, С.С. Картавов – Киев: Наукова думка, 1977. – 148 с.

108. Патент на изобретение №2663610 Агрегат для поточного приготовления заменителя цельного молока и комбикормов / Доценко С.М., Иванин А.Г., Соболев И.В., Вараксин С.В., Гончарук А.И., Гончарук О.В., Школьников П.Н., Маркин Д.А. // Оpubл. 07.08.2018, Бюл. №22

109. Патент на изобретение №2624947 Измельчитель влажных продуктов. / Доценко С.М., Иванин А.Г., Соболев И.В., Вараксин С.В., Гончарук А.И., Гончарук О.В., Школьников П.Н., Маркин Д.А. // Оpubл. 11.07.2017, Бюл. №20

110. Патент на изобретение №2634047 Измельчитель влажных растительных продуктов. / Доценко С.М., Гончарук О.В., Вараксин С.В., Маркин Д.А., Иванин А.Г. // Оpubл. 23.10.2017, Бюл. №30

111. Патент на изобретение №2560946 Способ приготовления белково-углеводного продукта для кроликов / Доценко С.М., Вараксин С. В., Маркин Д.А. // Оpubл. 20.08.2015, Бюл. № 23

112. Патент на изобретение №2560986 Способ приготовления белково-минерального продукта для птицы / Доценко С.М., Вараксин С. В., Маркин Д.А. // Оpubл. 20.08.2015, Бюл. № 23

113. Патент на изобретение №2565277 Способ приготовления белково-витаминного продукта / Доценко С.М., Вараксин С. В., Маркин Д.А. // Оpubл. 20.10.2015, Бюл. № 29

114. Павловский, З.Д. Введение в математическую статистику / З.Д. Павловский. – М.: Статистика, 1967. - С. 247-250.
115. Пенчуков, В. М. Зерновые бобовые культуры помогут решить проблему белка / В. М. Пенчуков, Г. А. Дебелый, А. Д. Задорин // Аграрная наука. – 1993. – № 4. – С. 4–7.
116. Подобед, Л.И. Эффективность некоторых способов подготовки зерна сои к скармливанию / Л.И. Подобед // Кормление сельскохозяйственных животных. - 1985, №5.-С. 19.
117. Поспелов, В.Г. и др. Анализ эффективности средств механизации технологических линий на откормочных площадках крупного рогатого скота на 20 тыс. голов. В кн.: Пути совершенствования механизации животноводства. Сб. научн. тр. ВНИПТИМЭСХ. Зеленоград, 1981. - С. 3-12.
118. Припоров, И.Е. К вопросу эффективности приготовления и раздачи кормов на предприятиях малых форм хозяйствования / И.Е. Припоров, В.Ю. Фролов // Научный журнал КубГАУ, №122(08), 2016. – С. 1-24.
119. Проблемы комплексной механизации производства, приготовления и раздачи кормов. Сб. научных тр. / ВНИПТИМЭСХ. Зеленоград, 1984. - 169 с.
120. Протодьянова, М.М. Методика рационального планирования экспериментов / М.М. Протодьянова, Р.И. Гедер. – М.: Наука, 1970.
121. Пустыльник, Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е.И. Пустыльник. – М.: Наука, 1968.
122. Разработка и расчет поточной технологической линии приготовления и раздачи кормовых смесей крупному рогатому скоту : Метод. рекомендации / ВАСХНИЛ, Сиб. отд-ние, Дальневост. н.-и. проект.-технол. ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва; [Подгот. С. М. Доценко]. - Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1990. - 22 с.
123. Резник, Е.И. Механизация приготовления кормов на животноводческих фермах и комплексах / Е.И. Резник, Е.В. Алябьев. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1983. –60 с.
124. Резник, Е.И. Малым фермам – совершенную кормоприготовительную технику / Е.И. Резник // Тракторы и с. х. машины. – 1986. – № 8.

125. Резник, Е.И. Кормоцехи на фермах / Е.И. Резник. – М.: Россельхозиздат, 1980. – 132 с.
126. Решетник, Е.И. Технологические параметры сушки соево-молочного концентрата / Е.И. Решетник, А.А. Запорожский, О.В. Золотарев // Известия вузов. Пищевая технология, № 1, 2008. – С. 52-53.
127. Рыжов, С.В. Комплект оборудования кормоцеха Корк-15 / С.В. Рыжов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 128 с.
128. Рыжов, С.В. Техника для малых ферм / С.В. Рыжов // Механизация и электрификация с. х. – 1988. – №11.
129. Сагайдак, И. В. Состояние и перспективы производства сои / И. В. Сагайдак // Технические культуры. – 1990. – № 6. – С. 10–13.
130. Свеженцов А. И. Соевый заменитель молока для телят / А. И. Свеженцов [и др.] // Животноводство. – 1987. – № 11. – С. 50–53.
131. Система земледелия Амурской Области: производственно-практический справочник / под общ. ред. д-ра с.-х. наук, проф. П. В. Тихончука. – Благовещенск: Изд-во Дальневосточного ГАУ, 2016. – 570, [4] с., [1] л. карта.
132. Совершенствование технологий и технических средств производства в животноводстве : (Сб. науч. тр.) / ВАСХНИЛ, Всерос. отд-ние, Всерос. н.-и. и проект.-технол. ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва; [Редкол.: И. Н. Краснов (отв. ред.) и др.]. - Зерноград : ВНИПТИМЭСХ, 1988. - 220 с.
133. Способы обработки соевых бобов непосредственно в хозяйствах. // Рекомендации Северо-Кавказского НИИ животноводства, 1988. - 32 с.
134. Справочник по кормлению сельскохозяйственных животных. / А.М. Венедиктов, А.Л. Калашников. – М.: Россельхозиздат, 1983. - 303 с.
135. Справочник по кормопроизводству. / М.А. Смурыгин, В.Г. Игловников [и др.] – М.: Агропромиздат, 1985. - 413 с.
136. Стариков, Н.П. Кормление КРС в Приамурье / Н.П. Стариков. – Хабаровск, 1988.
137. Технология производства и использования экструдированных кормов в животноводстве / Н.И. Клейменов [и др.]. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 18 с.

138. Типовые нормы выработки на работы, выполняемые стационарными машинами, агрегатами и комплексами. Растениеводство: Утв. Госагропромом СССР 21.04.88. – М. : Агропромиздат, 1989. - 158,[1] с.

139. Тишанинов, Н.П. Повышение эффективности использования техники в животноводстве / Н.П. Тишанинов // Техника в с. х. – 1991. – №3.

140. Фицев, А.И. Современные тенденции в оценке и нормировании протеина для жвачных животных: Обзорная информация / А.И. Фицев, Ф.В. Воронкова // ВНИИТЭИСХ. – М., 1986. – 55 с.

141. Фурцев, С.Г. Установка для приготовления соевого молока в хозяйстве /С.Г. Фурцев, Т.А. Саяпина // Тр. ДальНИПТИМЭСХа. – Новосибирск, 1991. –С. 36-37.

142. Чабб, Л. Антипитательные факторы в кормлении животных / Л. Чабб // Новейшие достижения в исследовании питания животных. – 1985. – Вып. 4 . – С. 27-48.

143. Чайка И. Технологические способы повышения содержания белка в кормах / И. Чайка // Производство и использование растительного белка. Краснодар, 1984. - 295 с.

144. Черняев, Н.П. Технологии комбикормового производства / Н.П. Черняев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 23 с.

145. Широков, В.А. Обоснование технологии и параметров процесса приготовления белково-минеральной кормовой добавки для сельскохозяйственных животных и птицы / В.А. Широков, С.М. Доценко, П.Н. Школьников, В.А. Макаров // Вестник КрасГАУ. №9, 2014. – С. 201-206.

146. Шпагин, Н.Г. Влияние дополнительных операций после смешивания на качество приготавливаемой кормовой смеси / Н.Г. Шпагин // Научн. Труды Пензенского СХИ. – Пенза, 1985.

147. Шулаев, Г.М. Соевые продукты в рационах поросят / Г.М. Шулаев, А.М. Пучнин, Р.К. Милушев // Вестник ТГУ, т.19, вып.3, 2014. – С. 1044-1046.

148. Экспертно-аналитический центр агробизнеса «АБ-Центр» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ab-centre.ru/>

149. Ясенецкий, В.А. Машины для измельчения кормов / В.А. Ясенецкий, П.В. Гончаренко // под редакцией акад. ВАСХНИЛ Л.В. Погорелого. – К.: Техника, 1990. – 166 с.

150. Brendemuhl, J. H. Utilization of raw soybeans as a partial replacement of soybean meal in diets of growing and finishing pigs / J. H. Brendemuhl, W. R. Walker, G. E. Combs // Research reports. – Florida, 1988. – P. 40–48.

151. Costa P. M. A. Artificially rearing baby pigs with soybean extract / P. M. A. Costa, J. C. Gomes, A. S. Ferreira // Proc. – 1988. – P. 379–385.

152. Chen, X. J. Evaluation de L`influence de la cnisson par les microondes sur les proprietes physico-chimigues et nutritionnelles de la farine entiere de soja / X. J. Chen, H. M. Bau, F. Giannangeli // Sc. Aliments. – 1986. – V. 6, N 2. – P. 257–272.

153. Crenshaw, M. A. Raw soybeans for gestating swine / M. A. Crenshaw, D. M. Danielson // J. anim. Sc. – 1985. – V. 60, N 1. – P. 163–170.

154. Gardner R. W., Causes of adverse responses to soybean milk replacers in young calves / R. W. Gardner, M. G. Shupe, W. Brimhall, D. I. Weber // J. Dairy Sc. – 1990. – V. 73, N 5 – P. 1312–1317.

155. Gipp, W. F. Faba beans (Vitia Faba 1) extruded whole soybeans and extruded mixtures of these in barley diets for growing swine / W. F. Gipp, G. H. Watts, N. J. Roth et. al. // Proceedings from Annual meeting. – 1984. – P. 145–148.

156. Golhl, I. Row soybeans examined in growing–finishing swine // Feedstuffs. 1987. – V. 59, N 10. – P. 18–24.

157. Filho L. de C. L., Costa P. M. A., Coelho D. T. e.t al. Producao e enalises guimicas de leite de soJa para leitoes // Rev. Soc. Brazil. Zooteca. – 1985. – V. 14, N 1. – P. 99–105.

158. Filho L. de C. L., Costa P. M. A., Coelho D. T. et. al. Substituicao do leite de vaca pelo leite de soja na alimentacca de leitoes desmamados aos 14 dias de idade // Rev. Soc. Brazil. Zooteca. – 1985. – V. 14, N 1. – P. 130–140.

159. Hancock, I. D. Effect of processing on the nutritional value of soybean proteins / I. D. Hancock // Agr. Experiment Station. – 1988. – V. 556. – P. 1–6.

160. Herkelman, K. L. Utilization of full-fat soybeans by swine reviewed / K. L. Herkelman, G. L. Cromwell // *Feldstuffs*. – 1990. – V. 62, N 13. – P. 16–17.
161. Hurahan, T. J. The response of growing pigs to incremental levels of lysine hydrochloride or soybean meat and bone meal lysine when fed ad libitum to a restricted scale // *Abstracts*. – 1987. – N 2. – P. 1232–1233.
162. Iones, D. B. Effect of replacing milk products with a soybean protein isolate milk replacer in diets for nursery pigs / D. B. Iones, I. D. Hancock, J. L. Nelssen, D. F. Li // *Agr. Experiment Station*. – 1989. – P. 54–60.
163. Japanese Patent I 26412. Soya Technology System Ltd. "Soy milk" / 3rd Ed. September, 1984.
164. Lewis, A. J. Low-inhibitor soybeans as a feedstuff for pigs / A. J. Lewis, M. A. Giesemann, L. D. Hancock // *Nebraska Swine Rep.* – 1990. – P. 90–219.
165. Li, F. Studies on competition for nodulation between soybean rhizobia in soil. Effect of inoculation on soybean growth / F. Li, H. Chen // *Acta Pedol. Sinica*. – 1989. – V. 26, N 4. – P. 388–392.
166. Lorenzoni C. Trypsin inhibitor content in soybean germplasm and commercial cultivars / C. Lorenzoni, S. Marchetti, M. Bittolo [e. a.] // *Riv. Agron.* – 1990. – An. 24, N 2–3. – P. 228–236.
167. Manojlovic, S. Uticaj przene soje i siliranog zone Kukuruzna na neke vrednosti Krvne slike svinja u tovu / S. Manojlovic, N. Sevkovic, L. Marlicic [e. a.] // *Veterinaria (Sarajevo)*. – 1986. – G. 35, Br. 3. – S. 335–339.
168. Thomason, D.M. Whole (fullfat) soybean use in broiler diets / D.M. Thomason // *Technical Report of the American Soybean Association*. – St. Louis Mo., USA, 1986.
169. Turlington W. H., Soy protein concentrates: An alternative to milk proteins / W. H. Turlington, D. S. Pollmann, J. G. Endres, J. A. Coalson // *Feedstuffs*. – 1990. – V. 62, N 37. – P. 16–18.
170. Vandergrift, W. L. Use of soybeans in pig diets / W. L. Vandergrift // *Pig News Inform.* – 1986. – V.6, N 3. – P. 281–285.
171. Weisman D., // *American Soybean Association* / D. Weisman, T. Ganrigan *Sojaol* – Vienna, 1993. – S. 1–22.

Приложения

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2624947

Измельчитель влажных продуктов

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)**

Авторы: **Доценко Сергей Михайлович (RU), Иванин Александр
Геннадьевич (RU), Соболев Иван Владимирович (RU),
Вараксин Сергей Викторович (RU), Гончарук Алексей
Иванович (RU), Гончарук Оксана Валентиновна (RU),
Школьников Павел Николаевич (RU), Маркин Дмитрий
Александрович (RU)**

Заявка № 2016133835

Приоритет изобретения **17 августа 2016 г.**

Дата государственной регистрации в


Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **11 июля 2017 г.**

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает **17 августа 2036 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2634047

Измельчитель влажных растительных продуктов

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)**

Авторы: **Доценко Сергей Михайлович (RU), Гончарук Оксана Валентиновна (RU), Вараксин Сергей Викторович (RU), Маркин Дмитрий Александрович (RU), Иванов Александр Геннадьевич (RU)**

Заявка № 2016144030

Приоритет изобретения 08 ноября 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 23 октября 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 08 ноября 2036 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2663610

**Агрегат для поточного приготовления заменителя цельного
молока и комбикормов**

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)**

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2016148580

Приоритет изобретения 09 декабря 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 07 августа 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 09 декабря 2036 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ильяев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2565277

СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕЛКОВО-ВИТАМИННОГО
ПРОДУКТА

Патентообладатель(ли): **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (RU)**

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014120865

Приоритет изобретения **22 мая 2014 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации **16 сентября 2015 г.**

Срок действия патента истекает **22 мая 2034 г.**

Заместитель руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2560946

**СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕЛКОВО-УГЛЕВОДНОГО
ПРОДУКТА ДЛЯ КРОЛИКОВ**

Патентообладатель(ли): **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (RU)**

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014121190

Приоритет изобретения 26 мая 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 27 июля 2015 г.

Срок действия патента истекает 26 мая 2034 г.

Заместитель руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2560986

СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕЛКОВО-
МИНЕРАЛЬНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ПТИЦЫ

Патентообладатель(ли): **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (RU)**

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014120864

Приоритет изобретения **22 мая 2014 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации **27 июля 2015 г.**

Срок действия патента истекает **22 мая 2034 г.**

Заместитель руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
«Дальневосточный ГАУ»«25» 10 2017 г.
М.П.

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации

«2» 08 2017 г.
М.П.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и
технологических работМы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточного
государственного аграрного университета

и представители СПК «Искра» Тамбовского района

составили настоящий акт о том, что в период 2015-2017 г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме: «Механико-технологическое обоснование повышения эффективности процессов приготовления кормовых продуктов на основе соево-зерновых композиций», были выполнены работы по производству соевой белковой основы (ЗЦМ) для выпойки телят на ферме КРС в СПК «Искра» Тамбовского района.

в процессе внедрения были выполнены следующие работы: приготовлено 2000 литров ЗЦМ.

годовой экономический эффект от использования в кормлении телят ЗЦМ составил 56402 руб.

Предложения по дальнейшему внедрению результатов:

Рекомендовать использование установки для производства соевой белковой основы на животноводческих фермах Тамбовского района.

Представители ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ

Начальник НИЧ А.А.Муратов

Доцент каф. ОД С.В. Вараксин

Аспирант Д. А. Маркин

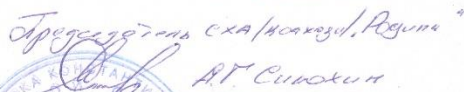
Представители предприятия

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
«Дальневосточный ГАУ» П.В. Тихончук«20» 02 2018 г.
М.П.

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации

 А.Т. Сирохин«20» 02 2018 г.
М.П.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и
технологических работМы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточного
государственного аграрного университета А.А. Муратов, С.В. Вараксин,
Ю.Р. Самарина, Д.А. Маркин

и представители СХА (колхоза) «Родина»

М.М. Сирохина, Н.Н. Богдаренко, М.Е. Пожгалов,
С.В. Устинов





составили настоящий акт о том, что в период 2016-2018 г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме: «Разработка технологии приготовления кормовых продуктов на основе соево-зерновых композиций», в сельскохозяйственной артели (колхозе) «Родина» Константиновского района Амурской области было изготовлено 6,4 тонн соевой белковой основы. В процессе внедрения были выполнены следующие работы: изготовлено 6,4 тонн соевой белковой основы (заменителя молока).

Годовой экономический эффект от введения соевой белковой основы в рацион телят составил 70400 рублей. Предложения по дальнейшему внедрению результатов:

Рекомендовать использование установки для производства соево-белковой оснорвы в составе кормоцехов по производству кормов для КРС.

Представители ФГБОУ ВО

Дальневосточный ГАУ

Начальник НИЧ Доцент каф. ОД Доцент каф. ЭиРГТМик Аспирант 

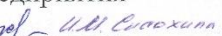
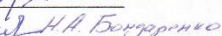
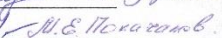
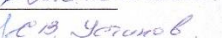
А.А. Муратов

С.В. Вараксин

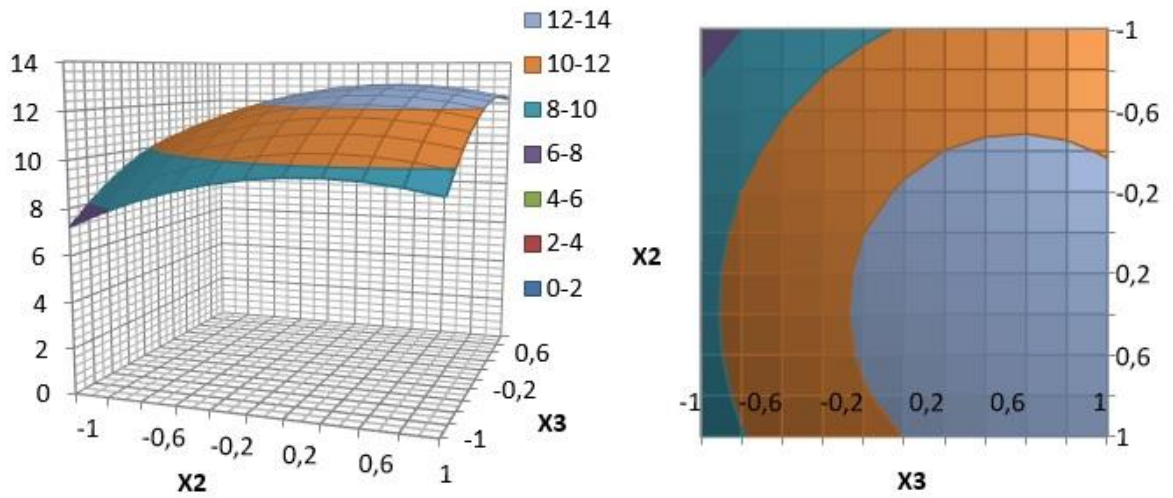
Ю.Р. Самарина

Д. А. Маркин

Представители предприятия

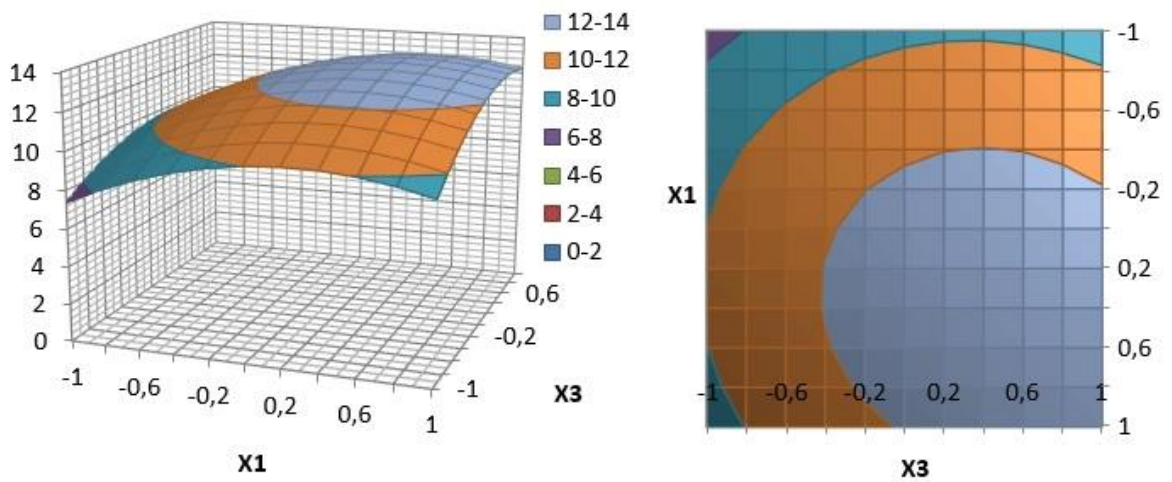
С.В. Устинов  М.М. СирохинаН.Н. Богдаренко М.Е. Пожгалов С.В. Устинов 

$$Y_1 = f(X_1 = 1,09; X_2; X_3) \rightarrow \max$$



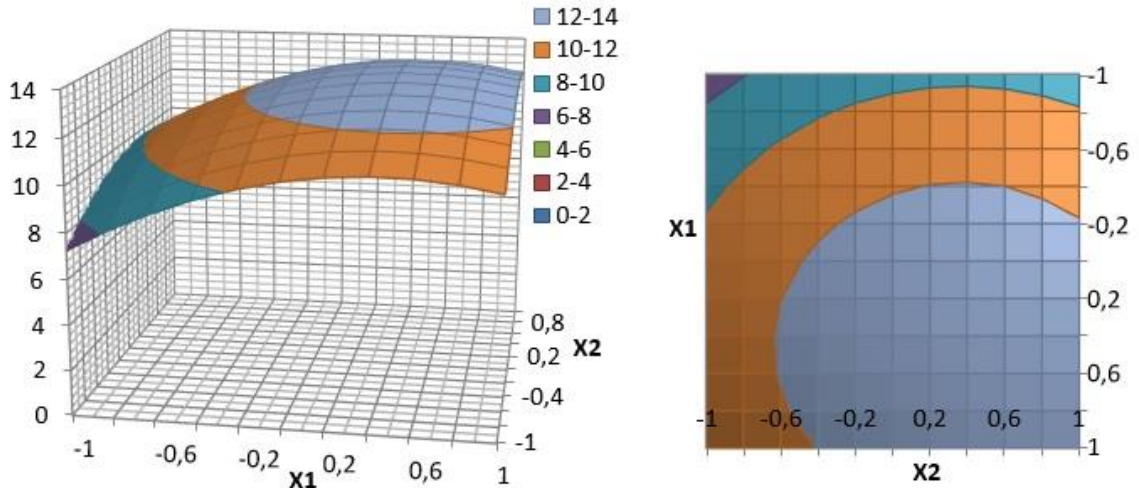
Поверхность отклика $Y_1 = f(X_1 = 1,09; X_2; X_3) \rightarrow \max$ и ее сечения

$$Y_1 = f(X_1; X_2 = 1,07; X_3) \rightarrow \max$$



Поверхность отклика $Y_1 = f(X_1; X_2 = 1,07; X_3) \rightarrow \max$ и ее сечения

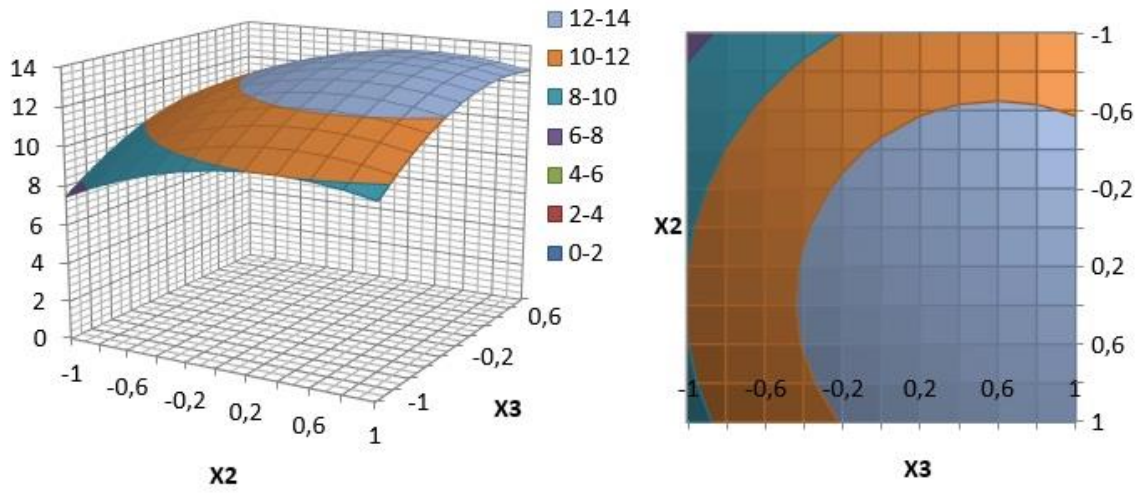
$$Y_1 = f(X_1; X_2; X_3 = 1,06) \rightarrow \max$$



Поверхность отклика $Y_1 = f(X_1; X_2; X_3 = 1,06) \rightarrow \max$ и ее сечения

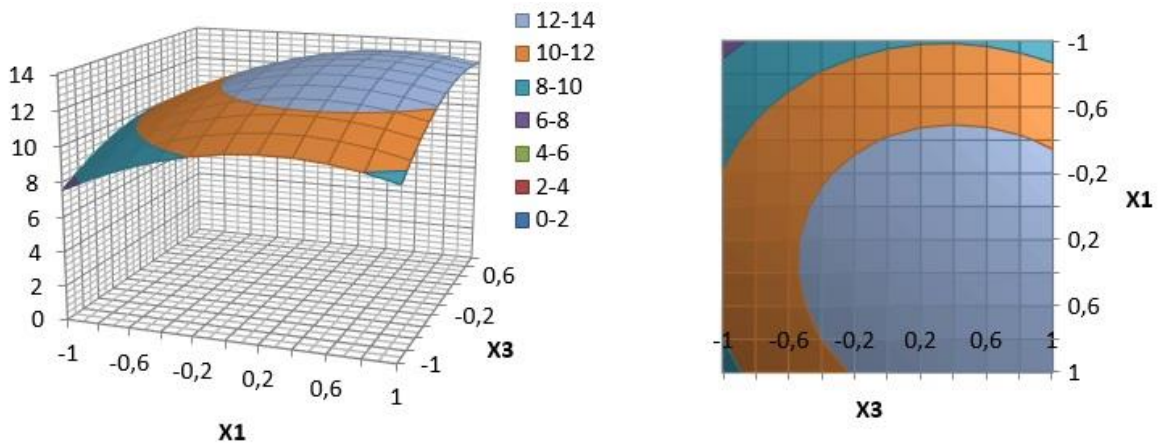
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ К

$$Y_2 = f(X_1 = 1,07; X_2; X_3) \rightarrow \max$$



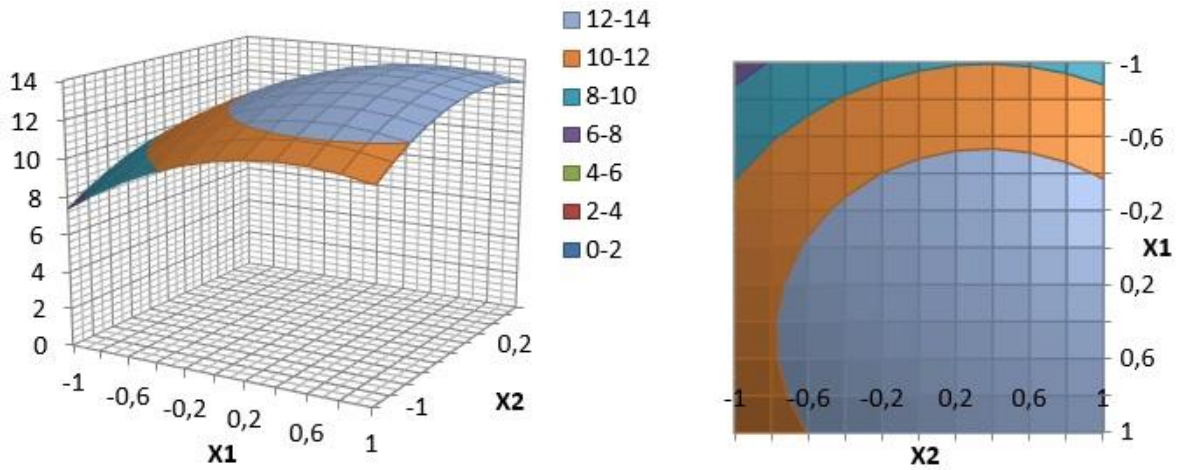
Поверхность отклика $Y_2 = f(X_1 = 1,07; X_2; X_3) \rightarrow \max$ и ее сечения

$$Y_2 = f(X_1; X_2 = 1,07; X_3) \rightarrow \max$$



Поверхность отклика $Y_2 = f(X_1; X_2 = 1,07; X_3) \rightarrow \max$ и ее сечения

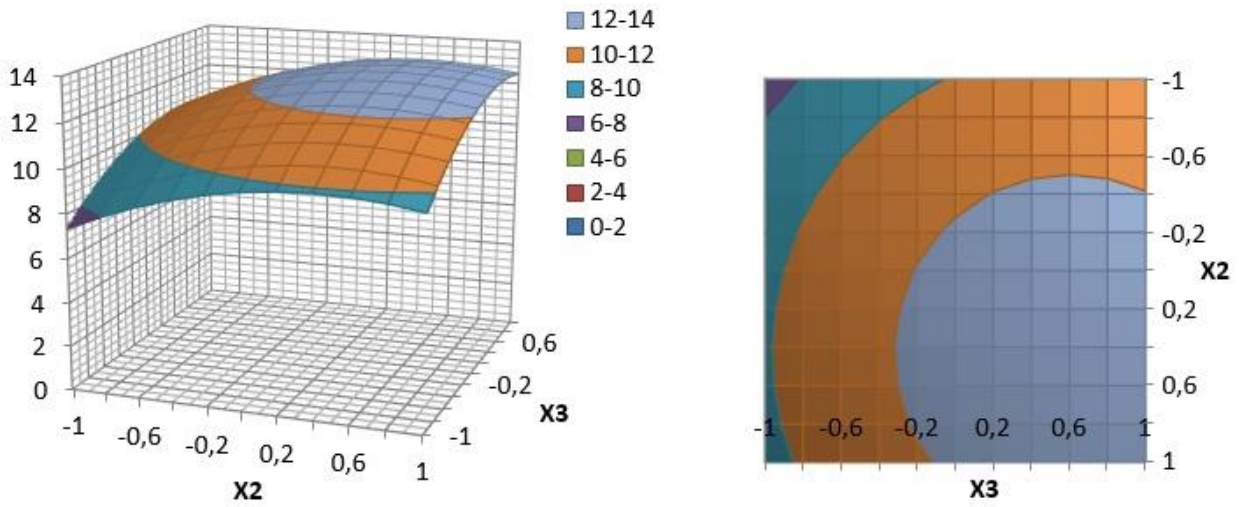
$$Y_2 = f(X_1; X_2; X_3 = 1,04) \rightarrow \max$$



Поверхность отклика $Y_2 = f(X_1; X_2; X_3 = 1,04) \rightarrow \max$ и ее сечения

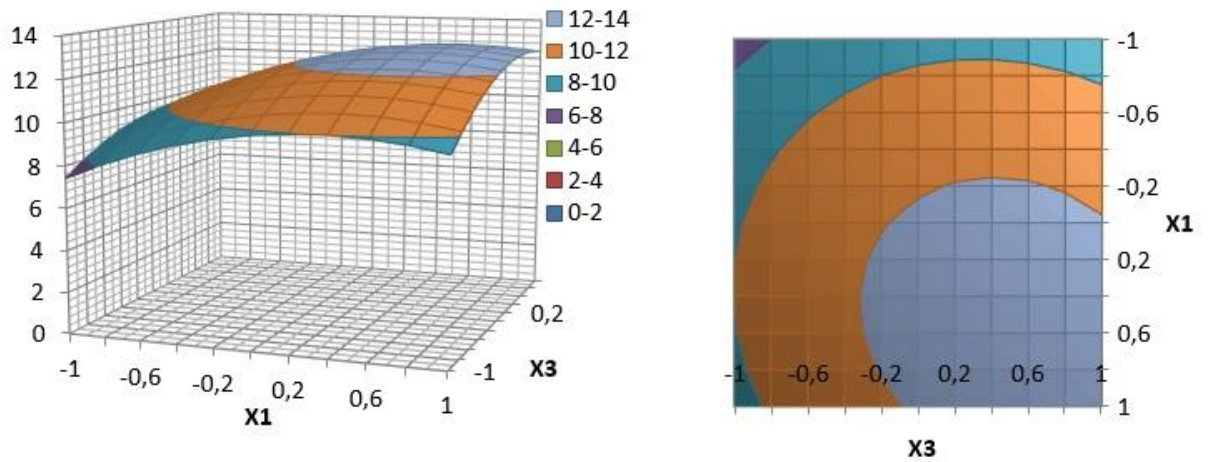
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ К

$$Y_3 = f(X_1=1,15; X_2; X_3) \rightarrow \max$$



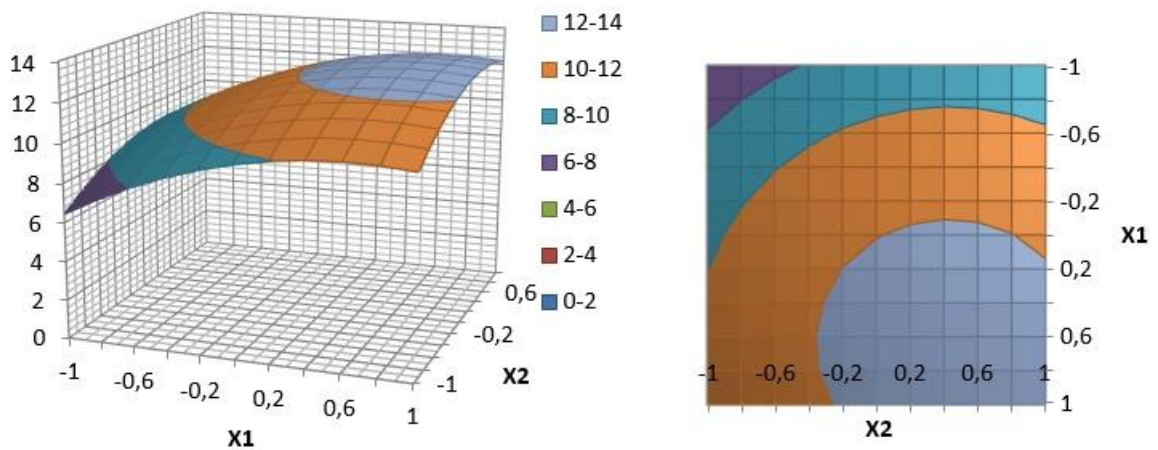
Поверхность отклика $Y_3 = f(X_1 = 1,15; X_2; X_3) \rightarrow \max$ и ее сечения

$$Y_3 = f(X_1; X_2=1,19; X_3) \rightarrow \max$$



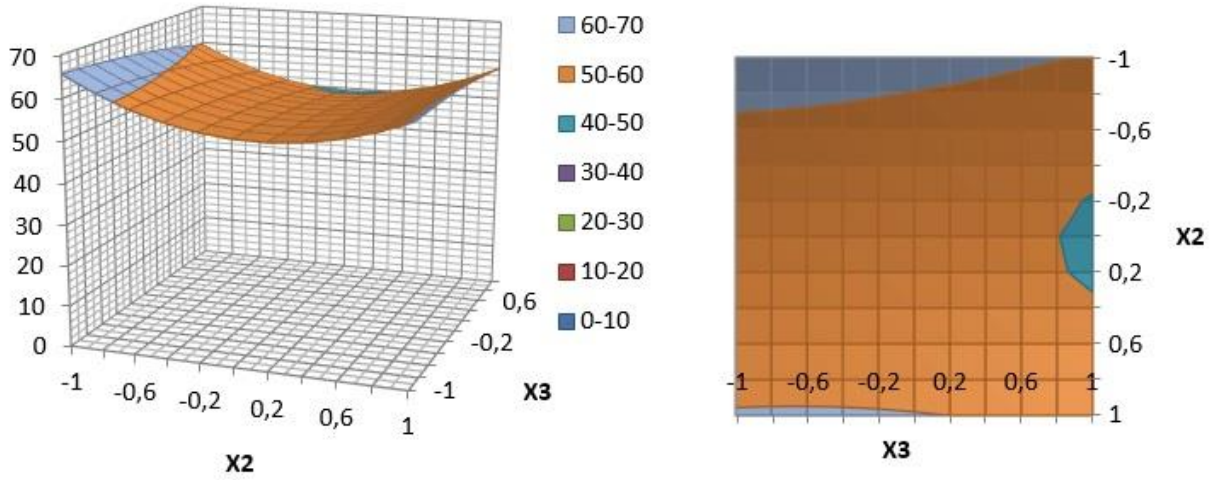
Поверхность отклика $Y_3 = f(X_1; X_2 = 1,19; X_3) \rightarrow \max$ и ее сечения

$$Y_3 = f(X_1; X_2; X_3 = 1,34) \rightarrow \max$$



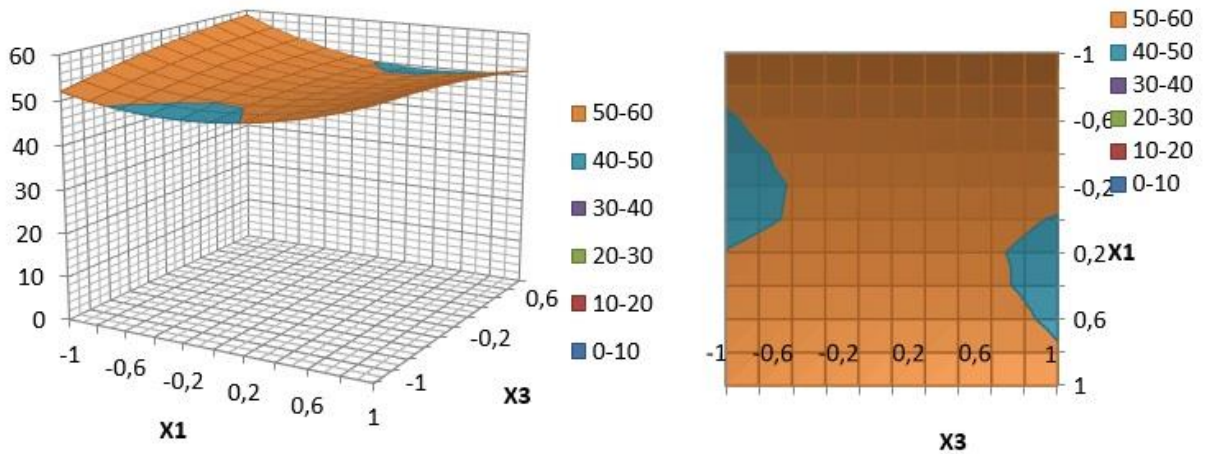
Поверхность отклика $Y_3 = f(X_1; X_2; X_3 = 1,34) \rightarrow \max$ и ее сечения

$$Y_4 = f(X_1 = 0,72; X_2; X_3) \rightarrow \min$$



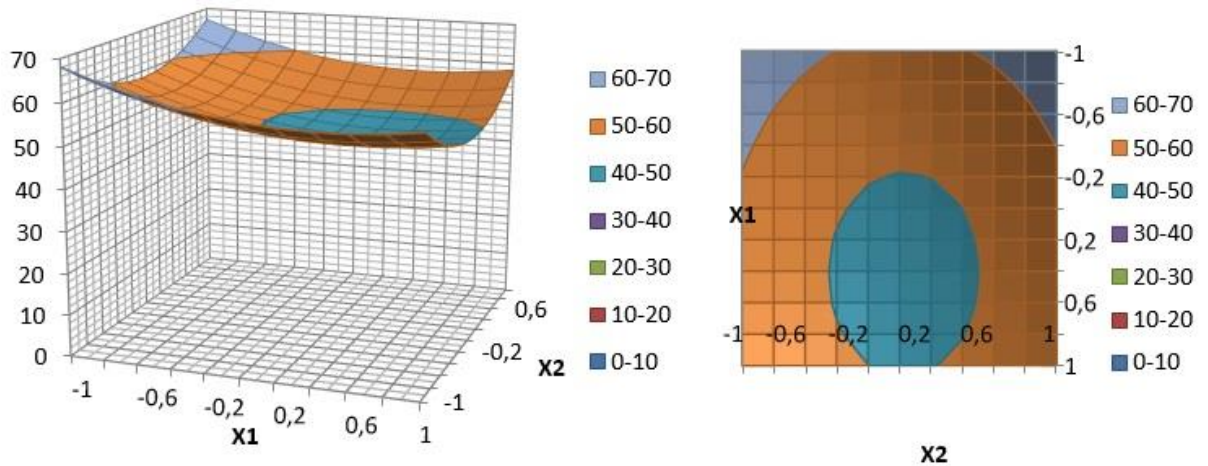
Поверхность отклика $Y_4 = f(X_1=0,72; X_2; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

$$Y_4 = f(X_1; X_2 = 0,31; X_3) \rightarrow \min$$



Поверхность отклика $Y_4 = f(X_1; X_2=0,31; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

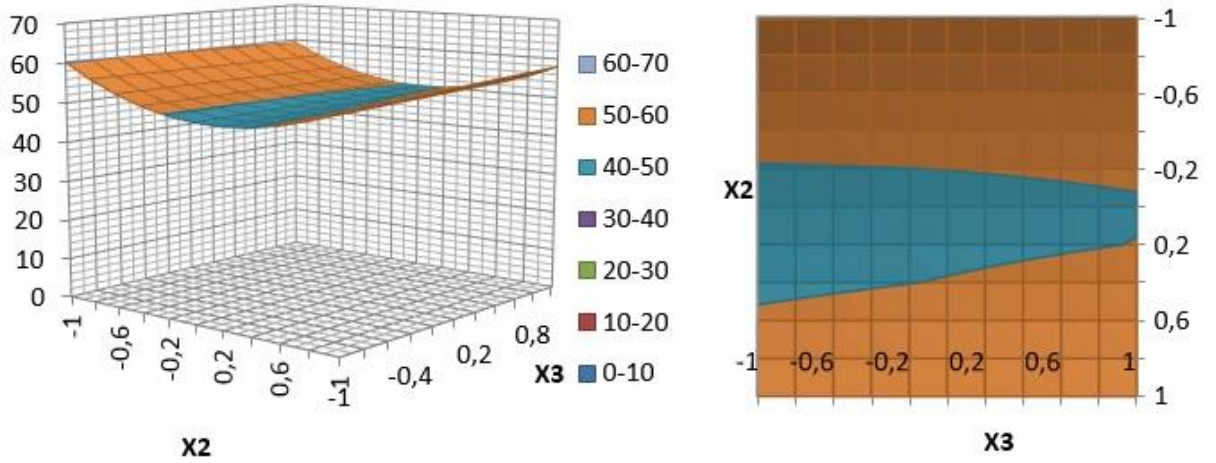
$$Y_4 = f(X_1; X_2; X_3 = 1,21) \rightarrow \min$$



Поверхность отклика $Y_4 = f(X_1; X_2; X_3=1,21) \rightarrow \min$ и ее сечения

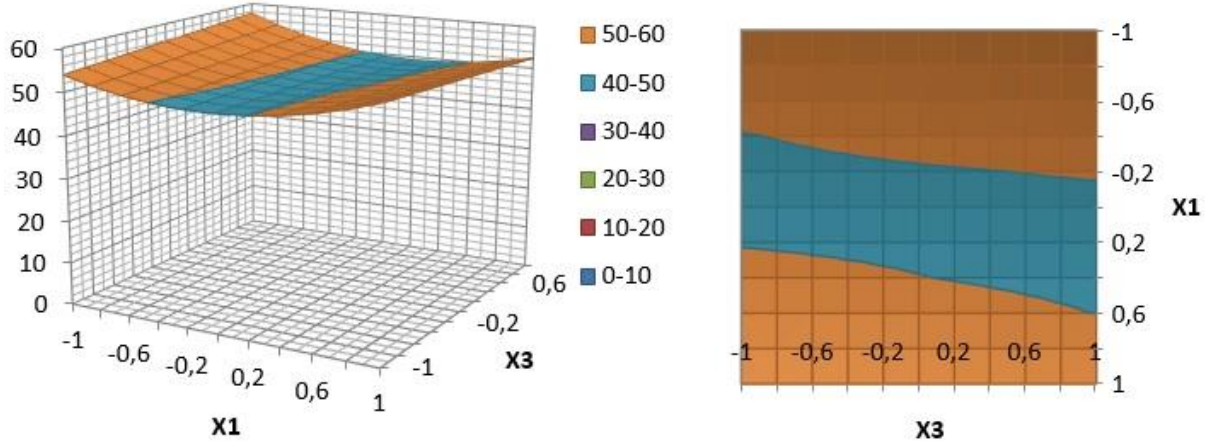
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Л

$$Y_5 = f(X_1 = 0,06; X_2; X_3) \rightarrow \min$$



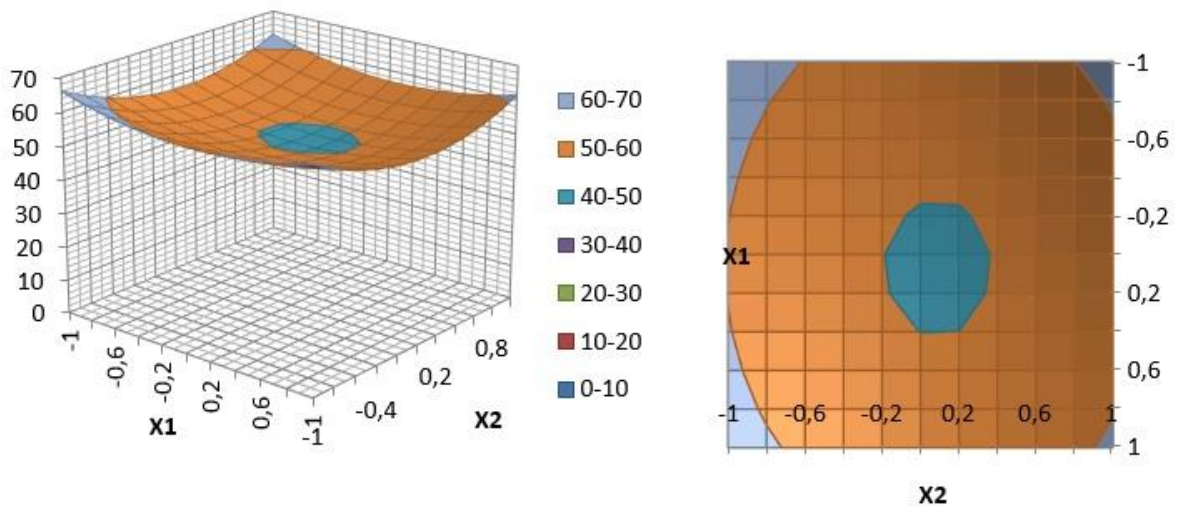
Поверхность отклика $Y_5 = f(X_1=0,06; X_2; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

$$Y_5 = f(X_1; X_2 = 0,09; X_3) \rightarrow \min$$



Поверхность отклика $Y_5 = f(X_1; X_2=0,09; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

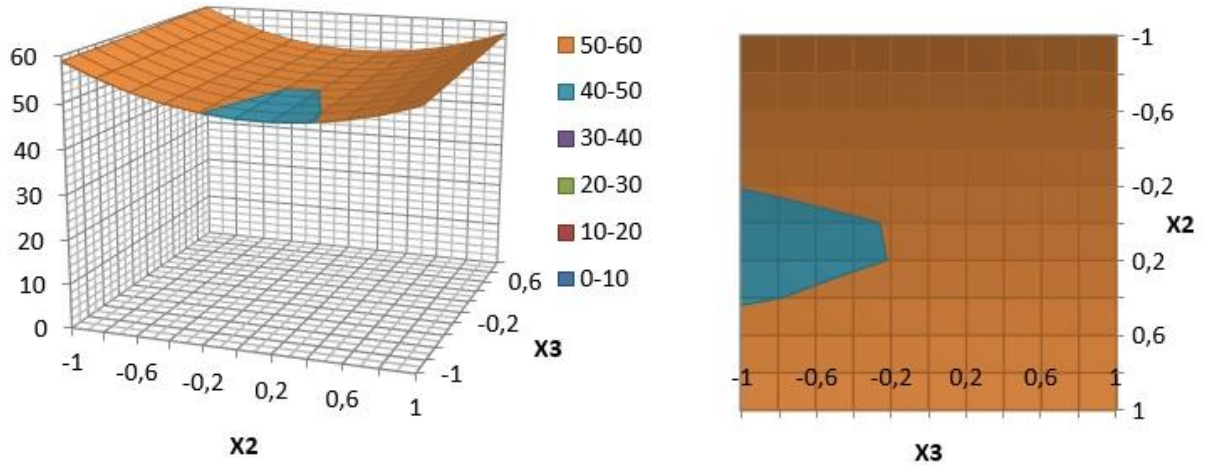
$$Y_5 = f(X_1; X_2; X_3 = 0) \rightarrow \min$$



Поверхность отклика $Y_5 = f(X_1; X_2; X_3 = 0) \rightarrow \min$ и ее сечения

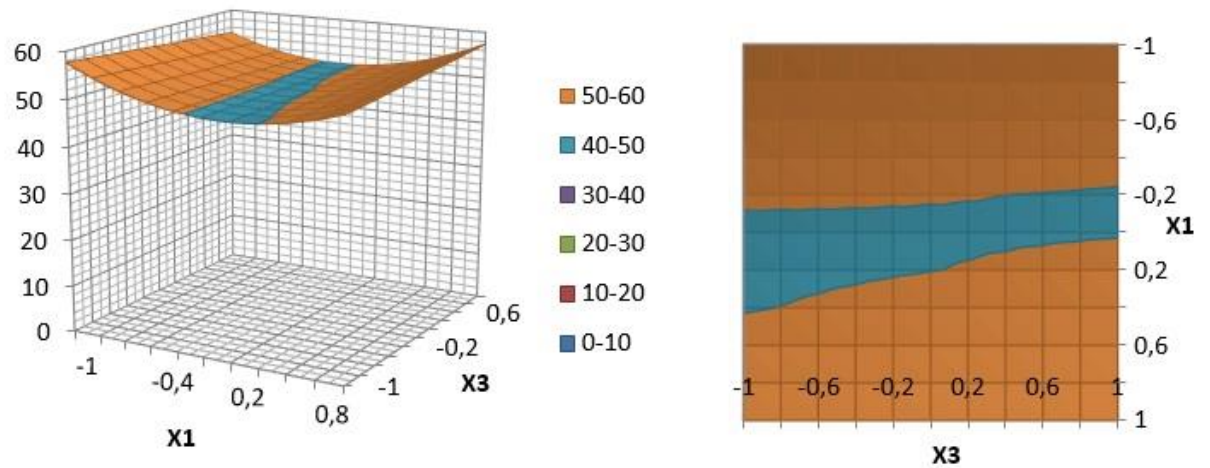
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Л

$$Y_6 = f(X_1 = 0,53; X_2; X_3) \rightarrow \min$$



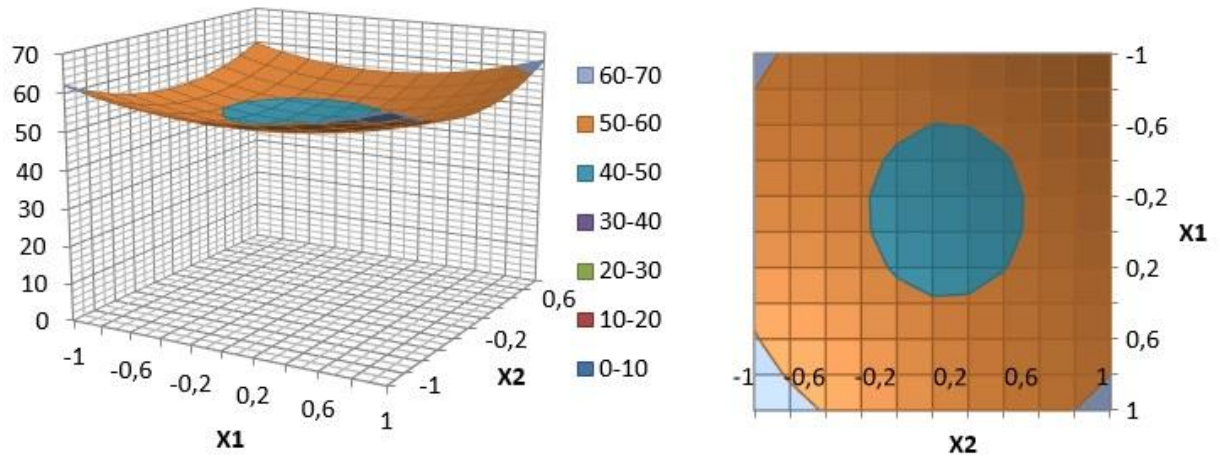
Поверхность отклика $Y_6 = f(X_1=0,53; X_2; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

$$Y_6 = f(X_1; X_2 = 0,39; X_3) \rightarrow \min$$



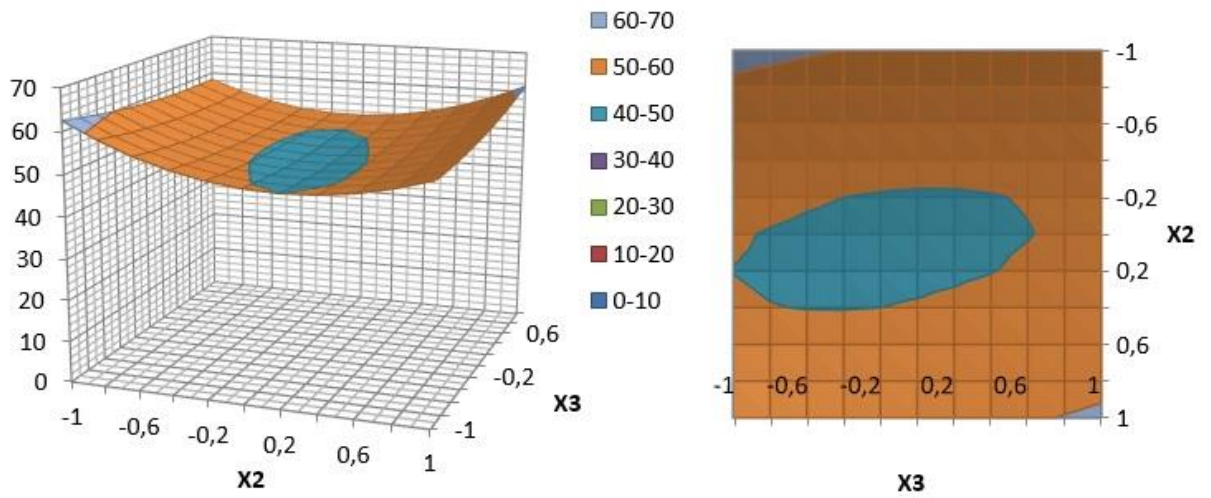
Поверхность отклика $Y_6 = f(X_1; X_2=0,39; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

$$Y_6 = f(X_1; X_2; X_3 = 1,06) \rightarrow \min$$



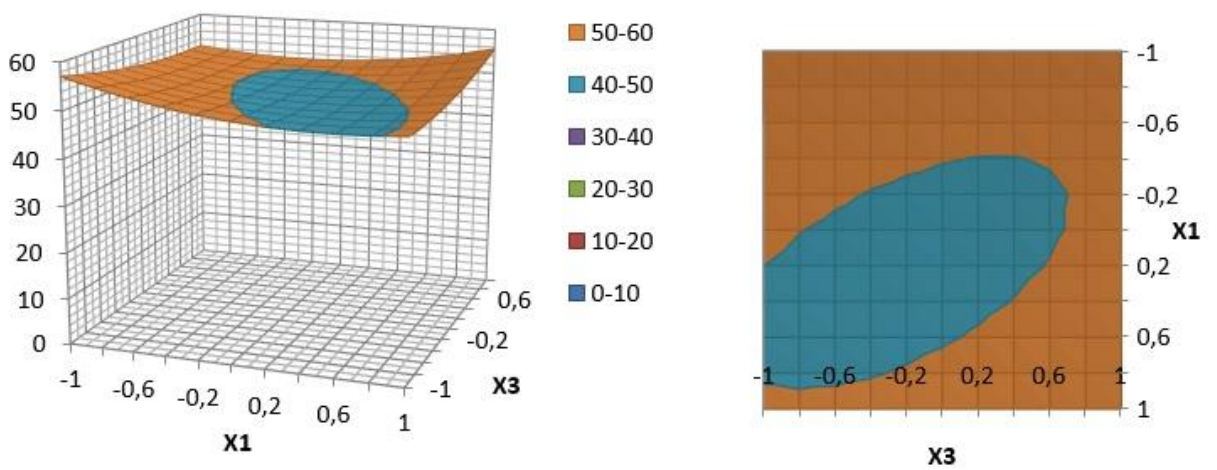
Поверхность отклика $Y_6 = f(X_1; X_2; X_3=1,06) \rightarrow \min$ и ее сечения

$$Y_7 = f(X_1 = 0,14; X_2; X_3) \rightarrow \min$$



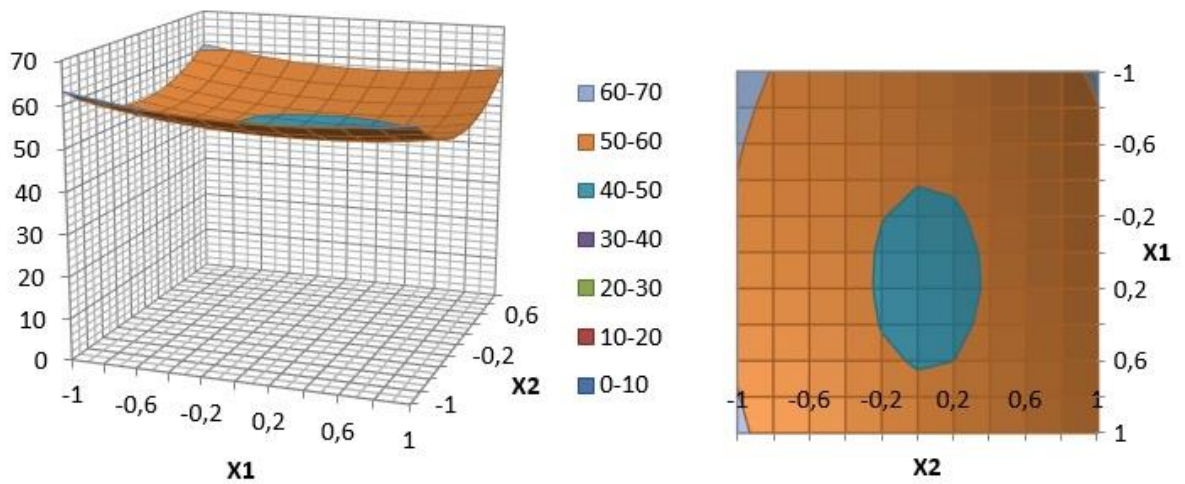
Поверхность отклика $Y_7 = f(X_1 = 0,14; X_2; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

$$Y_7 = f(X_1; X_2 = 0,05; X_3) \rightarrow \min$$



Поверхность отклика $Y_7 = f(X_1; X_2 = 0,05; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

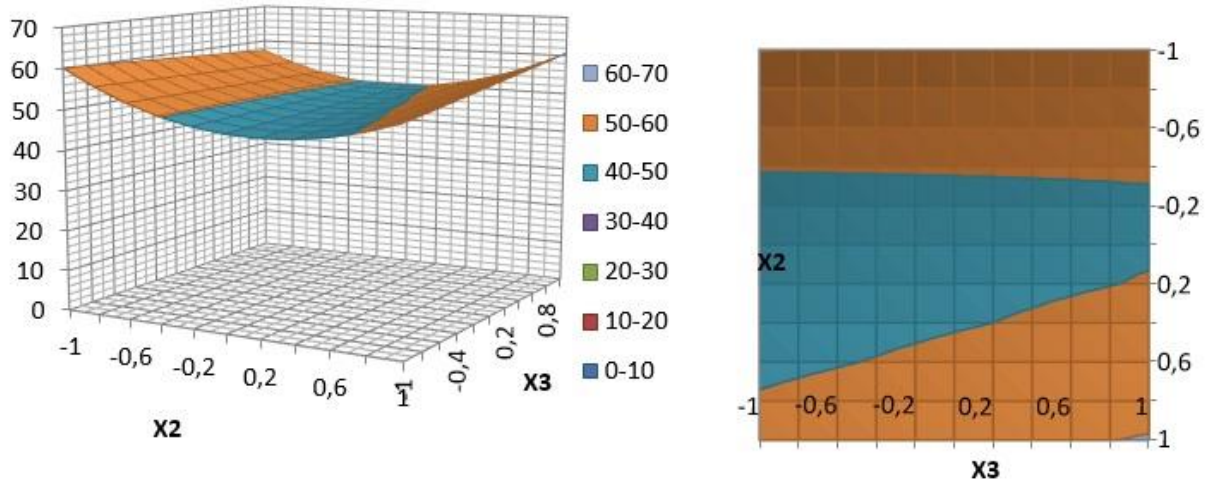
$$Y_7 = f(X_1; X_2; X_3 = 0) \rightarrow \min$$



Поверхность отклика $Y_7 = f(X_1; X_2; X_3 = 0) \rightarrow \min$ и ее сечения

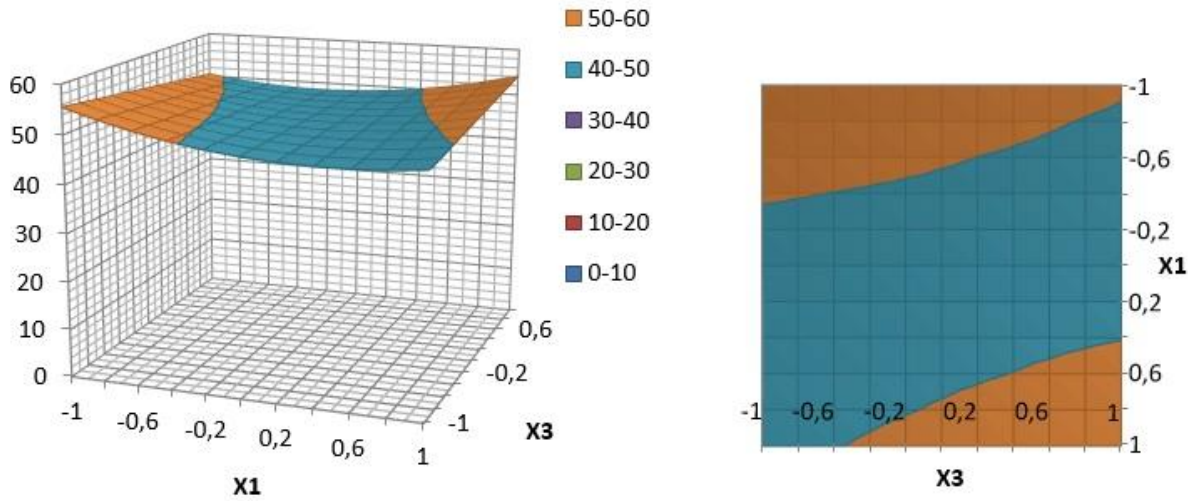
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ М

$$Y_8 = f(X_1 = 0,1; X_2; X_3) \rightarrow \min$$



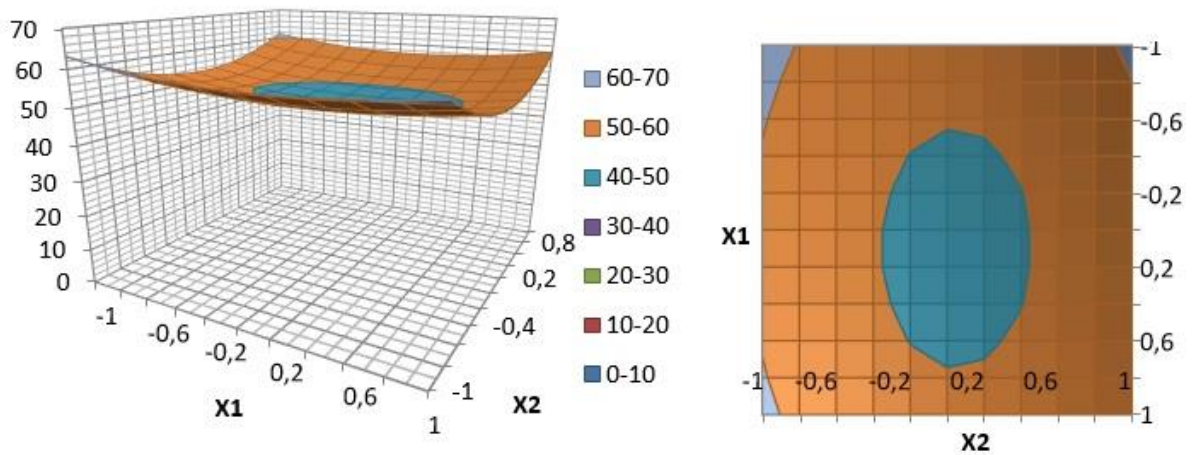
Поверхность отклика $Y_8 = f(X_1=0,1; X_2; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

$$Y_8 = f(X_1; X_2 = 0,05; X_3) \rightarrow \min$$



Поверхность отклика $Y_8 = f(X_1; X_2=0,05; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

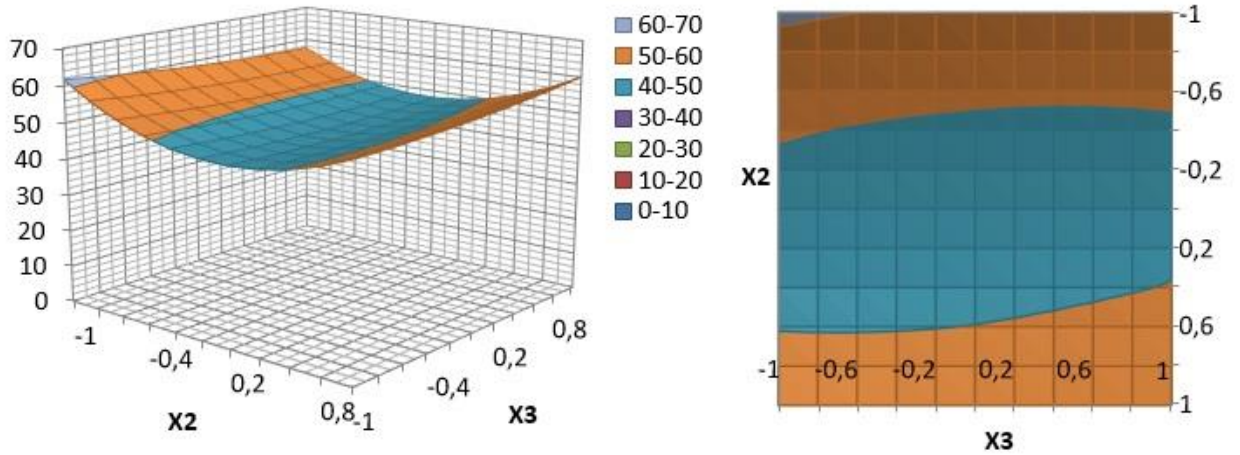
$$Y_8 = f(X_1; X_2; X_3 = 0) \rightarrow \min$$



Поверхность отклика $Y_8 = f(X_1; X_2; X_3=0) \rightarrow \min$ и ее сечения

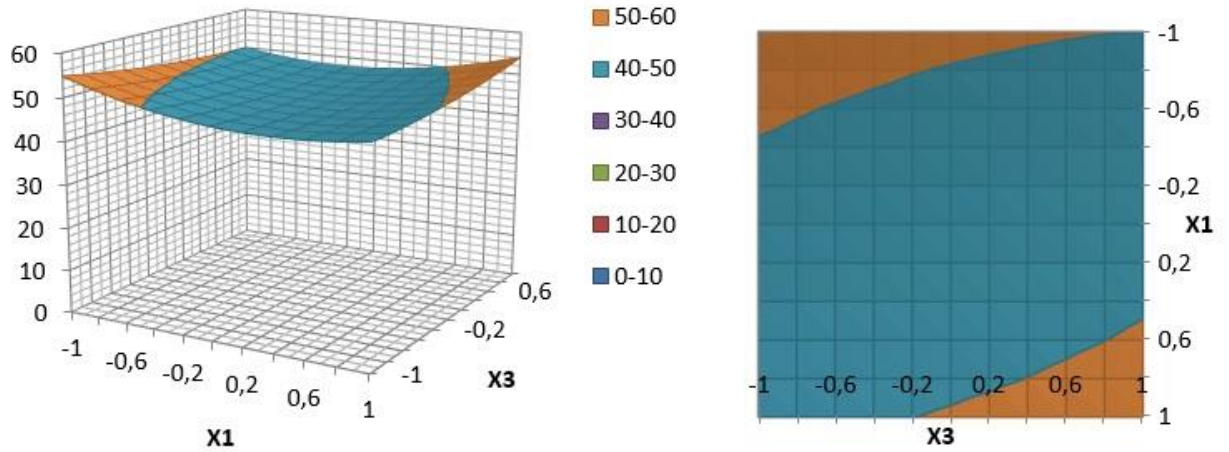
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ М

$$Y_9 = f(X_1 = 0,05; X_2; X_3) \rightarrow \min$$



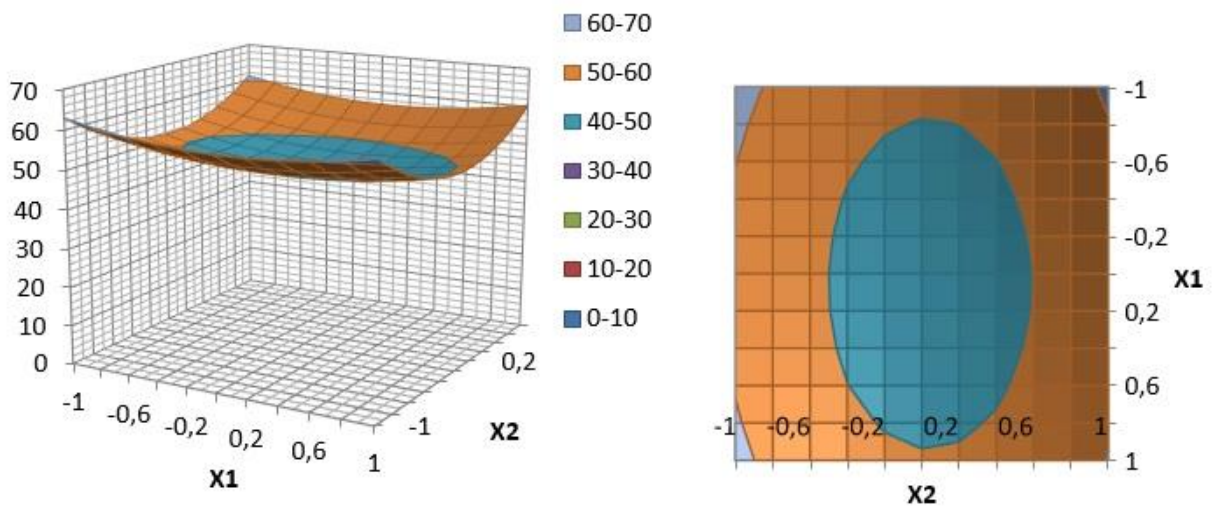
Поверхность отклика $Y_9 = f(X_1=0,05; X_2; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

$$Y_9 = f(X_1; X_2 = 0,04; X_3) \rightarrow \min$$



Поверхность отклика $Y_9 = f(X_1; X_2=0,04; X_3) \rightarrow \min$ и ее сечения

$$Y_9 = f(X_1; X_2; X_3 = 0) \rightarrow \min$$



Поверхность отклика $Y_9 = f(X_1; X_2; X_3=0) \rightarrow \min$ и ее сечения