

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

На правах рукописи

БРОШКО Доминик Василь

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВЫХ ПРЕПАРАТОВ
ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР**

Научная специальность 4.3.3. Пищевые системы

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Величко Надежда Александровна

Красноярск – 2025

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Обзор литературы.....	12
1.1 Характеристика жмыхов и шротов масличных культур	12
1.2 Жмыхи и шроты масличных культур как источник белка.....	14
1.3 Польза и вред продуктов переработки масличных культур	16
1.4 Использование продуктов из жмыхов масличных культур в кормовых смесях	20
1.5 Функционально-технологические свойства белков масличных культур.....	22
1.6 Лечебно-профилактические свойства белков масличных культур	29
1.7 Применение белков масличных культур в пищевых производствах	32
1.8 Современные методы экстракции растительных белков	35
1.9 Обоснование выбора ферментного препарата	38
2 Объекты и методы исследований	41
3 Экспериментальная часть	48
3.1 Химический состав жмыхов масличных культур.....	48
3.2 Получение белковых препаратов из жмыхов масличных культур по традиционной технологии и оценка их количественного и качественного состава	50
3.3 Технология получения белковых препаратов из жмыхов масличных культур методами биоконверсии с применением ферментных препаратов	53
3.4 Получение белковых препаратов из жмыхов масличных культур методами биоконверсии с применением ферментного препарата целлюлазного комплекса.....	55

3.5	Получение белковых препаратов из жмыхов масличных культур методами биоконверсии с применением ферментного препарата пектиназного комплекса.....	58
3.6	Получение белковых препаратов из жмыхов масличных культур методами биоконверсии с применением композиции ферментного препарата .	61
3.7	Аминокислотный состав и биологическая ценность белковых препаратов	65
3.8	Безопасность белковых препаратов из жмыхов масличных культур	68
3.9	Разработка рецептуры комбикорма для годовика форели аквакультуры с добавлением белкового препарата	69
3.10	Разработка рецептур кормовых добавок для сельскохозяйственной птицы из белковых препаратов	71
3.11	Разработка и оценка качества белковых композитных сухих смесей на основе белковых препаратов из жмыхов масличных культур.....	73
3.12	Оценка функционально-технологических свойств белкового препарата из жмыха рапса сорт «Культис»	76
3.14	Разработка рецептуры мясных полуфабрикатов с белковыми препаратами крестоцветных культур (рапс сорт «Культис» и рыжик сорт «Ужурский»).....	80
4	Технология производства белкового препарата из масличных культур.....	84
5	Математическое моделирование выхода белкового препарата из жмыхов масличных культур	87
5.1	Модель закономерности выхода белковых препаратов из масличных культур.....	87
5.2	Модель закономерности выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыха рапса сорта «Культис»	93

5.3	Модель закономерности выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыхов рыжика сорта «Ужурский»	100
5.4	Модель закономерности выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыха сои сорта «Зарница»	107
6	Расчет основных технико-экономических показателей предприятия по производству белковых препаратов из масличных культур	117
6.1	Расчет стоимости строительно-монтажных работ	117
6.2	Расчет стоимости оборудования	117
6.3	Общий расчет производственной мощности предприятия	120
6.4	План расчета материально-технического обеспечения предприятия .	123
6.5	Расчет себестоимости продукции	125
6.6	Расчет основных технико-экономических показателей проектируемого предприятия	126
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	130
	ПРИЛОЖЕНИЕ	144
	Приложение А Технические условия	145
	Приложение Б Акт внедрения в учебный процесс	146
	Приложение В Акт внедрения и производственных испытаний	147
	Приложение Д Патент «Комбикорм для скармливания годовикам форели в аквакультуре»	148

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Актуальным вопросом продовольственной безопасности Российской Федерации является обеспечение населения качественными продуктами питания. Для сбалансированного рациона необходимо наличие всех основных групп макроэлементов: белков, жиров и углеводов.

Белки являются важнейшими макроэлементами в питании человека. В связи с ростом численности населения потребность в белковых продуктах имеет тенденцию к увеличению. Создание производств белковых продуктов растительного происхождения представляет объемную задачу, связанную с выбором растительных культур, дающих стабильный урожай которые произрастают в Сибирском регионе. Значительный вклад в решение задач повышения эффективности пищевых производств вносят исследования, ориентированные на рациональное использование пищевого сырья. Все более актуальными становятся нетрадиционные виды растительного сырья, такие как соевые и крестоцветные культуры, а также продукты их переработки, для получения пищевых продуктов.

Альтернативными и перспективными объектами для получения белковых продуктов являются отходы масличного производства – жмыхи крестоцветных масличных культур, произрастающие в агроэкологических условиях Красноярского края: рапс сорта «Культис», рыжик сорта «Ужурский» и соя сорта «Зарница», содержащие в своем составе значительное количество белка. Разработка современных высокоэффективных и наукоемких технологий комплексной переработки растительного масличного сырья имеет все предпосылки для промышленного внедрения, и представляет актуальную задачу.

Актуальность исследований подтверждается их включением в тематику научно-исследовательской лаборатории «Проблем переработки масличных культур» ФГБОУ ВО Красноярского государственного аграрного университета по теме: «Глубокая переработка отходов масличных производств».

Исследования проведены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) в рамках выполнения научных исследований и разработок по проекту «Создание комплексного высокотехнологичного производства растительного масличного сырья и продуктов его переработки в условиях Сибири». При поддержке Красноярского краевого фонда науки в рамках проекта «Разработка импортозамещающих технологий для аквакультуры лососевых рыб в условиях Красноярского края». При поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках проекта «Технология получения белкового препарата методом биоконверсии из отходов масличного сырья»

Степень разработанности темы исследования. Теоретическими исследованиями и практическими аспектами технологии получения растительного белка из масличных культур занимались такие ученые как И.А. Глотова, С.К. Мустафаев, Д.В. Компанцев, В.И. Манжесов, Т.В. Рензяева, И.В. Шульвинская, Л.В. Антипова, Н.В. Аникеева, Д.В. Баурин, Н.С. Воронова. Однако вопросы, связанные с совершенствованием технологии получения белковых препаратов кормового и пищевого назначения из местных, адаптированных к условиям резко-континентального климата Сибири, изучены недостаточно.

Цель диссертационной работы – разработка технологии получения белковых препаратов кормового и пищевого назначения из отходов переработки местных, адаптированных к условиям резко-континентального климата Сибири, масличных культур – сои сорта «Зарница», рапса сорта «Культис», рыжика сорта «Ужурский».

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- анализ научно-технической литературы по проблеме получения белковых продуктов пищевого и кормового назначения из растительного сырья, обоснование выбора сырьевых источников для получения белковых продуктов пищевого и кормового назначения;
- исследование химического состава жмыхов исследуемых масличных

культур, произрастающих в агроэкологических условиях Красноярского края;

- разработка технологии получения белковых препаратов из жмыхов исследуемых масличных культур;

- определение зависимости выхода белковых препаратов из жмыхов масличных культур от различных технологических параметров, математическое моделирование процессов получения белковых препаратов из жмыхов масличных культур

- исследование аминокислотного состава полученных белковых препаратов из жмыхов масличных культур, определение их биологической ценности и безопасности;

- разработка рецептур продуктов пищевого и кормового назначения на основе белковых препаратов из жмыхов масличных культур, оценка функционально-технологических характеристик и пищевой ценности;

- расчет технико-экономических показателей предприятия по производству белковых препаратов из жмыхов масличных культур.

Научная новизна работы. Впервые научно обоснована возможность использования регионального растительного сырья: жмыха масличных культур для получения белковых препаратов. Получены новые данные о химическом составе белковых препаратов, выделенных из местных сортов рапса сорта «Культис», рыжика сорта «Ужурский», сои сорта «Зарница», селекции «Научно-исследовательского центра оригинального семеноводства» ФГБОУ ВО Красноярского ГАУ, адаптированных к условиям резко-континентального климата Восточной Сибири. Теоретически обоснован, и практически подтвержден выбор ферментных препаратов для повышения выхода белкового препарата из жмыха масличных культур. Впервые получены математические модели зависимости выхода белкового препарата из жмыха масличных культур от концентрации ферментного препарата (пектиназа и целлюлаза) и продолжительности обработки. Обоснованы технология и рецептуры продуктов пищевого и кормового назначения с использованием белковых препаратов, полученных из жмыхов

масличных культур. Новизна технических решений подтверждена патентом РФ на изобретение № RU2811926.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в том, что результаты исследований способствуют развитию основ моделирования продуктов пищевого и кормового назначения с использованием белковых препаратов, полученных из отходов переработки масличных культур местных сортов, адаптированных к агроэкологическим условиям Красноярского края. Установлены зависимости выхода белкового препарата из жмыха местных сортов рапса сорта «Культис», рыжика сорта «Ужурский», сои сорта «Зарница» от технологических параметров. Разработана технология получения белкового препарата из жмыха исследуемых масличных культур. Разработаны рецептуры кормовой добавки на основе белковых препаратов из жмыхов масличных культур для годовиков форели аквакультуры (патент RU № 2811926), кормовых смесей для сельскохозяйственной птицы, белковых композитных сухих смесей для диетического лечебного и диетического профилактического питания. Разработаны ТУ 10.89.140-001-71286885-2024 на получение белкового препарата пищевого назначения (приложение А).

Результаты проведенного исследования используются в учебном процессе для подготовки магистров по направлениям 19.04.02 Продукты питания из растительного сырья, 19.04.03 Продукты питания животного происхождения, а также специалистами в области переработки масличных культур с целью получения белковых препаратов пищевого и кормового назначения (приложение Б). Разработанная технология получения белкового препарата пищевого назначения внедрена на предприятии ООО «ОПХ Солянское» Рыбинского района Красноярского края (приложение В).

Положения, выносимые на защиту:

1. аминокислотный и жирнокислотный состав жмыхов масличных культур (рапса сорта «Культис», рыжика сорта «Ужурский», сои сорта «Зарница») произрастающих в агроэкологических условиях Красноярского края,

аминокислотный состав полученных белковых препаратов, обуславливающий возможность их применения в качестве пищевого белка и кормовой добавки;

2. математические зависимости влияния ферментов и технологических параметров на выход белковых препаратов из жмыхов масличных культур;

3. технология получения пищевого белкового препарата из жмыхов масличных культур;

4. рецептуры белковых композитных сухих смесей для диетического лечебного и диетического профилактического питания, кормовой добавки из белковых препаратов жмыхов масличных культур для годовиков форели аквакультуры, кормовых смесей для сельскохозяйственной птицы.

Методология и методы исследования. Методология исследования основана на анализе научно-технической литературы. В диссертационной работе применены стандартные методики, принятые в пищевой химии и биотехнологии, а также нормативные документы: ГОСТы, СанПиНы и Технические регламенты Таможенного Союза. Экспериментальные исследования проводились на базе научно-исследовательской лаборатории «Проблем переработки масличных культур» и научно-исследовательского испытательного центра ФГБОУ ВО Красноярского государственного аграрного университета. Для статистической обработки данных и проведения математического моделирования использовали программные пакеты DataFit и Statistics системы Maple.

Апробация работы. Материалы диссертации обсуждались на конференциях различного уровня: на XIII международной научно-практической конференции молодых ученых «Инновационные тенденции развития российской науки» (Красноярск, 2020); XV Всероссийской студенческой научной конференции «Студенческая наука – взгляд в будущее» (Красноярск, 2020); международной научно-практической конференции «Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития» (Красноярск, 2021); X международной научно-практической конференции «Климат, экология, сельское хозяйство Евразии» (Молодежный, 2021); XV международной научно-практической конференции молодых ученых «Инновационные тенденции развития российской науки»

(Красноярск, 2022); XVI международной научно-практической конференции молодых ученых «Инновационные тенденции развития российской науки» (Красноярск, 2023); V Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием «АПК России: образование, наука, производство» (Пенза, 2023); VI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Инновации в пищевой промышленности: образование, наука, производство» (Благовещенск, 2024).

Результаты научного исследования были представлены на III и II этапах Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства России (Сибирский Федеральный округ) (Красноярск, 2024).

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов исследования и сделанных выводов обеспечивается обширным массивом экспериментальных исследований, которые подтверждаются статистической обработкой и применением современных методов химического анализа растительного сырья.

Личный вклад соискателя. Диссертационное исследование является обобщением научных трудов проводимых в течение 2020-2024 гг. при личном участии автора. Автором лично разработан весь комплекс экспериментальных исследований; проведен сбор первичной информации, анализ литературных источников, патентный поиск, подготовка проб к анализу, разработка технологических параметров извлечения белковых препаратов из жмыхов сои и крестоцветных культур, определение химического состава, разработка рецептур кормовых смесей и пищевых продуктов.

В соавторстве с Жигальцовой Д.А. проведены исследования по определению функционально-технологических свойств белковых препаратов, установлен жирнокислотный состав жмыхов крестоцветных культур в соавторстве с Лушниковым М.С. выполнено исследование выхода белковых препаратов в зависимости от содержания остаточного масла в жмыхе крестоцветных культур, в соавторстве с Величко Н.А. получены результаты по

разработке рецептуры мясных полуфабрикатов с использованием белковых препаратов из жмыхов крестоцветных культур и сои, также проведены исследования по разработке рецептур кормовых смесей с использованием белковых препаратов. В соавторстве со Смольниковой Я.В., Стутко О.В., Коломейцевым А.В., Бопп В.Л., Ханиповой В.А. получены результаты по оценке функционально-технологических свойств белковых препаратов из крестоцветных культур.

Разработана рецептура комбикорма для годовиков форели в аквакультуре в соавторстве с Коломейцевым А.В., Харебиным Д.Д., Гореловым М.В., Коленчуковой О.А., Бирюковой Е.А.

Публикации. Основные положения диссертационного исследования изложены в 15 научных публикациях автора, в том числе 2 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Получен патент на изобретение «Комбикорм для скармливания годовикам форели в аквакультуре» (№ RU2811926).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 127 источников, в том числе 84 на иностранном языке и 4 приложения. Работа изложена на 148 страницах машинописного текста, содержит 23 рисунка и 59 таблиц.

1 Обзор литературы

1.1 Характеристика жмыхов и шротов масличных культур

За последние 20 лет в Сибири посевные площади масличных культур с 2005 года увеличились в 4 раза. Наибольшее увеличение площадей произошло за счет введения в севооборот рапса ярового и рыжика ярового. Однако ранние сорта рапса и рыжика обладали небольшой урожайностью по сравнению с импортными сортами. В среднем урожайность отечественных культур была 1,2-1,6 т/га, так как для импортных культур в странах Европы 3,0-3,5 т/га. В 2017 году отмечен средний рост урожайности, который составил 1,56 т/га [1]. В настоящий момент площади под посевы крестоцветных культур (рапс, рыжик) постоянно увеличиваются [2].

Жмыхи получают из масличных культур в процессе выделения масла путем действия на семена масличной культуры кинетической энергией. Прессы для масличных культур подразделяются на два вида: шнековые и гидравлические. Шрот масличных культур получают методом экстрагирования: на жмыхи или семена масличных культур воздействуют органическим растворителем в дистилляторах и испарителях до полного экстрагирования остаточного масла. По своей сути жмыхи и шроты масличных культур являются отходами пищевых производств. Данные отходы богаты протеином, а так же микро- и макроэлементами.

К наиболее часто встречающимся жмыхам и шротам можно отнести подсолнечные, рапсовые, рыжиковые, льняные. Мировое производство шротов распределяется следующим образом: 68 % приходится на соевый шрот, 13,6 % – на рапсовый шрот, 5,8 % – на хлопковый, 5 % – на подсолнечный шрот [3]. К крупнейшим производителям подсолнечного жмыха и шрота относится Россия. В России лидирующее место занимает подсолнечный шрот и жмых.

В 2018-2023 гг. в стране быстро растет производство рапсового масла, которое экспортируется в основном в Китай. Ценность рапсовых жмыхов объясняется высоким содержанием протеина, также большим содержанием

клетчатки. К новым культурам, которые начинают перерабатывать в нашей стране, можно отнести конопляные. Содержание в конопляных жмыхах протеина составляет до 25 % [4].

Объемы производства масложирового комплекса нашей страны с каждым годом увеличивается. Соответственно, растет производство жмыхов и шротов, объем производства жмыхов и шротов составляет до 4,5 млн. тонн ежегодно [5]. И хотя в данный момент жмыхи и шроты практически не перерабатываются, но они представляют собой ценный продукт.

К главному приоритету пищевой промышленности относятся технологии, перерабатывающие отходы масличного производства в продукты и компоненты с высокой добавленной стоимостью, в частности использование растительных белков в пищевой промышленности. Для этого необходимо разработать эффективную технологию переработки вторичного возобновляемого сырья, отвечающую современным требованиям к пищевым производствам.

Белок является жизненно важным макроэлементом, который помогает выживанию человека. Двумя ключевыми источниками белка в рационе являются животные и растительные белки. Потребление растительных белков имеет ряд преимуществ для здоровья, в то время как большее потребление животного белка может быть связано с рядом заболеваний. Кроме того, животный белок является одной из основных причин выбросов парниковых газов и, следовательно, источником углеродного следа.

Белки масличных культур могут использоваться для повышения питательной ценности и функциональных качеств пищевым продуктам. Переработка растительных белков включает физико-химическую и термическую обработку, которая влияет как на питательную ценность, так и на функциональные свойства конечного продукта. С появлением «зеленой химии» исследования все больше сосредотачиваются на нетермических и экологически чистых методах повышения эффективности экстракции и минимизации протеолиза во время переработки.

1.2 Жмыхи и шроты масличных культур как источник белка

В настоящее время самой большой проблемой человечества является обеспечение достаточного количества питания для всех. Белки, полученные из возобновляемых и устойчивых источников, пользуются большим спросом, поскольку ожидается, что к 2050 году население мира достигнет 10 миллиардов человек, в то время как мировые ресурсы ограничены [6,7]. Растительные белки, полученные из пищевых отходов, являются отличной альтернативой животным белкам, поскольку они оказывают меньшее воздействие на окружающую среду и климат.

После отжима или экстракции масла побочными продуктами производства являются жмыхи и шроты из семян масличных культур, которые недооцениваются как источники пищевого белка [8]. Эти побочные продукты обычно попадают в отходы или используются повторно в качестве корма для животных или удобрения, несмотря на высокую концентрацию белка (от 15 % до 50 %). Белки, полученные из семян масличных культур, таких как семена подсолнечника, рапса (или канолы), льна, кунжута, тыквы, горчицы, винограда, хлопчатника и арахиса, были предметом многочисленных исследований в качестве потенциальных источников белка для питания человека и замены животного белка [10].

Кроме того, жмыхи и шроты масличных культур имеют значительные перспективы в качестве источника жирных кислот и биологически активных соединений. Каротиноиды, фенольные соединения, токоферолы и фитостеролы были обнаружены в высоких концентрациях в семенах тыквы; линоленовая и линолевая кислоты и лигнаны в избытке содержатся в семенах льна; полиненасыщенные жирные кислоты и токоферолы содержатся в семенах чиа; фитостеролы, полиненасыщенные жирные кислоты, токоферолы и лигнаны [10].

В таблице 1 представлен химический состав жмыхов крестоцветных, произрастающих на территории Красноярского края [11].

Таблица 1– Химический состав жмыхов крестоцветных

Наименование показателя, %	Рапс (<i>Brassic napus</i>)	Горчица (<i>Brassica juncea</i>)	Сурепица (<i>Brassicacampestris</i>)	Рыжик (<i>Camelinasativa</i>)
Масличность	15,0-25,0	15,0-20,0	12,0-30,0	15,0-24,0
Белок	18,5-34,5	20,6-32,0	20,0-28,5	17,6-30,1
Клетчатка	5,8-15,0	7,2-10,0	8,0-16,0	7,4-11,1
Зола	3,3-7,7	4,2-5,7	3,6-7,8	3,7-6,6

Как следует из данных таблицы 1, жмыхи масличных богаты белком и клетчаткой, что делает их перспективным источником для дальнейшей переработки и получению из них растительных белков. Жмыхи крестоцветных содержат значительное количество клетчатки (пищевых волокон) – от 5,8 до 16 граммов на 100 граммов. Продукт считается источником пищевых волокон, если в нем содержится более 6 граммов на 100 граммов. Следовательно, все жмыхи крестоцветных являются потенциальными источниками пищевых волокон.

Жирнокислотный состав жмыхов крестоцветных и сои, произрастающих на территории Красноярского края, представлен в таблице 2 [11].

Таблица 2 – Жирнокислотный состав жмыхов крестоцветных и сои, % от суммы жирных кислот

Наименование кислоты	Рапс (<i>Brassic napus</i>)	Горчица (<i>Brassica juncea</i>)	Сурепица (<i>Brassicacampestris</i>)	Соя (<i>Glycinema</i>)	Рыжик (<i>Camelinasativa</i>)
Пальмитиновая (16:0)	0,4–6,2	3,0–3,3	0,01–9,1	0,02-1,2	4,2–17,7
Олеиновая (18:1)	6,0–79,8	16,4–66,7	9,3–64,9	17,0-30,0	10,7–19,4
Линолевая (18:2)	0,9–49,0	13,8–36,1	5,9–34,5	48,0-59,0	1,5–24,0
Линоленовая (18:3)	1,2–40,5	9,9–13,5	5,2–20,8	4,5-11,0	1,5–45,1
Эйкозеновая (20:1)	0,01–14,5	0,7–12,0	1,0–13,7	0,02-0,5	1,7–32,8
Эруковая (22:1)	0,004–1,5	0,7–32,0	0,07–59,9	-	0,6–1,0

Из данных, приведенных в таблице 2, видно, что жмыхи масличных культур содержат значительное количество полиненасыщенных жирных кислот. Обращает внимание высокое содержание линолевой кислоты в жмыхе сои – 48,0-

59,0 % от суммы жирных кислот. Таким образом, жмыхи крестоцветных культур и сои могут быть ценными компонентами для использования в кормовых смесях.

Шрот или жмых, приготовленный из семян масличных культур, представляет собой богатое белком сырье, которое является хорошим источником питательных веществ и биологически активных соединений. В последние годы масличные культуры привлекают все большее внимание в пищевой и в нутрицевтической промышленности, как жизнеспособные альтернативы источника белка.

Чтобы удовлетворить потребности потребителей, у которых имеются проблемы со здоровьем, такие как пищевая аллергия, кишечные заболевания, метаболический синдром, рак и нейродегенеративные заболевания, производители полуфабрикатов (мясных, хлебобулочных и молочных продуктов) могут добавлять в свои продукты шрот из семян масличных культур или гидролизаты белка из семян масличных культур. Белки из семян масличных культур являются ценным функциональным компонентом или альтернативным источником белка, особенно для хлебопекарной и мясной промышленности, благодаря высокому содержанию биологически активных белков и пептидов, обладающих антиоксидантными, антигипертензивными и нейропротекторными свойствами, а также относительно хорошо сбалансированному профилю экзогенных аминокислот с серосодержащими аминокислотами [11].

1.3 Польза и вред продуктов переработки масличных культур

Соя (*Glycinetax* (L.) Merr.) является коммерчески выращиваемой культурой более чем в 35 странах, в первую очередь для получения масла и использования в составе различных пищевых продуктах [13,14]. Семена сои богаты высококачественным белком, обладающим аминокислотным составом, сходным с животным белком, что представляет собой реальную альтернативу мясному белку [14]. Семяздоли, которые составляют примерно 90 % семян, содержат белки и жиры, основные компоненты семян, а также углеводы и факторы,

препятствующие питанию. Различные продукты из сои, используемые в кормах для людей и животных, получают путем разделения или экстрагирования этих компонентов [15]. Соевый шрот широко известен как лучший источник растительного белка, как по качеству, так и по количеству. Среди бобовых культур семена сои содержат наибольшее количество сырого белка, и обладают ценным аминокислотным составом. Соевый шрот на 40-49 % состоит из сырого протеина, и богат лизином (6,2г/16 г). Однако качество белка в нем ограничено содержанием метионина и цистина (2,9г/16 г). Соевые продукты содержат значительное количество лизина, изолейцина, триптофана, валина и треонина, но имеют более низкий уровень сернистых аминокислот по сравнению с продуктами из семян рапса. Соевый белок обладает превосходной усвояемостью, особенно в отношении метионина и лизина. Аминокислотный состав, содержащийся в соевом белке, хорошо подходит для увеличения количества зерновых белковых добавок и удовлетворения потребностей животных в питании [16].

Хотя соевые бобы являются хорошим источником белка, их пищевая ценность может быть ограничена из-за нескольких факторов, таких как лектины, ингибиторы протеаз, фитоэстрогены, стахиоза, раффиноза, пектин, фитаты, микротоксины и олигосахариды. Ингибиторы протеазы, такие как ингибиторы Кунитца и Боумана-Бирка, препятствуют перевариванию белка, что приводит к снижению роста животных [17]. Лектины связываются с углеводами, которые могут подавлять рост и повышать смертность животных. Однако, эти негативные эффекты можно уменьшить с помощью автоклавирования.

Соевые бобы также содержат изофлавоны, в том числе дайдзеин, генистеин и глицитеин, которые обладают эстрогенными, гипохолестеринемическими и антиэстрогенными свойствами [18]. Раффиноза и стахиоза представляют собой низкомолекулярные углеводные соединения, содержащиеся в соевом шроте и семенах. Кроме того, фитиновая кислота в соевых бобах хелатирует такие минералы, как К, Са, Fe, Mg и Zn, делая их недоступными для нежвачных животных. Это также может вызывать подавление экспрессии ферментов, доступности белков, крахмала, аминокислот и энергии [19].

Соевые белки, в частности фракция глобулина, также могут вызывать аллергические эффекты, при этом глицинин и бета-конглицинин являются наиболее важными аллергенами [20,21].

Микотоксины, такие как охратоксины и зеараленон, обнаруженные в продуктах из сои, проявляют эстрогенную активность, которая может вызывать нарушения репродуктивной функции [15].

Олигосахариды могут вызывать метеоризм, снижать усвояемость питательных веществ и приводить к гипертрофии кишечника, а также влиять на количество микроорганизмов в кишечнике. Реакция животных на эти антипитательные соединения, содержащиеся в соевых бобах, зависит от вида и возраста, при этом взрослые жвачные животные менее чувствительны, чем куры, свиньи, телята и крысы, у которых наблюдается снижение роста при приеме сырых соевых бобов [21,22].

В целом, питательная ценность сои ограничена различными факторами, но содержание белка и потенциальная польза для здоровья делают ее важной культурой в животноводстве.

Канола, новый сорт рапса, был выведен с помощью методов селекции растений для снижения содержания в нем токсичных глюкозинолатов. Жмых из семян канола богат белком со сбалансированным набором незаменимых аминокислот, а также жизненно важными витаминами и минералами, такими как фолиевая кислота, холин, ниацин, биотин, тиамин и рибофлавин [17]. Однако жмых из канола менее широко используется в рационах птиц, поскольку в нем более низкое содержание белка и больше пищевых волокон по сравнению с соевым шротом [23]. Выведение сортов канола с пониженным содержанием эруковой кислоты и глюкозинолатов привело к увеличению использования рапсовой муки в составах кормов для домашней птицы [24]. Хотя рапсовая мука обычно используется в качестве источника белка в рационах животных, в ней более низкое содержание белка (36 %) и доступной энергии (2000 ккал/кг массы тела), но более высокое содержание клетчатки (12 %) по сравнению с соевым шротом (7 %). Несмотря на это, рапсовый жмых и шрот

являются ценными источниками серосодержащих аминокислот, и обладают благоприятным аминокислотным профилем, хотя содержание лизина и аргинина в нем ниже, чем в соевом шроте. Кроме того, он содержит различные другие незаменимые аминокислоты, такие как треонин, аргинин, триптофан, изолейцин, валин, лейцин, гистидин и фенилаланин [25].

Из-за присутствия антипитательных факторов в рапсовом жмыхе его нельзя использовать в качестве комплексной белковой добавки, поскольку он препятствует росту животных, нарушая всасывание питательных веществ в их пищеварительной системе [24]. Фенольные соединения являются одним из таких веществ, нежелательных в рационе животных, а синапин, наиболее распространенный фенол в рапсе, может вызывать порчу яиц у кур с «рыбным» или «крабовым» привкусом [26].

Фитат – соединение инозитола и фосфора, является еще одним антипитательным фактором, содержащимся в шроте из рапса и других крестоцветных. Нежвачным животным и рыбе нелегко использовать его в качестве источника фосфора, поскольку у них отсутствует необходимый фермент для расщепления фитата фосфора. Когда нежвачных животных кормят фитатом, это может привести к увеличению щитовидной железы и, следовательно, препятствовать их росту [20]. Ферментативные методы могут гидролизовать фитиновую кислоту, и предыдущие исследования показали, что добавление фитазы может гидролизовать около 72-73 % фитата в шроте и улучшить соотношение корма и прироста [27].

Жмыхи и шроты крестоцветных содержат значительное количество глюкозинолатов, которые могут разлагаться на различные соединения (такие как тиоцианат, оксазолидинтион, изотиоцианат и нитрилы), оказывая неблагоприятное воздействие на показатели роста животных. Содержание глюкозинолатов в семенах рапса обычно колеблется в пределах 3,6-9,2 мкмоль/г и должно быть ограничено 1-1,5 мкмоль/г в кормах, при этом еще более низкие концентрации рекомендуются для молодых животных, питающихся

моногастрием. Однако несушки могут переносить содержание до 4 мкмоль/г, в то время как для бройлеров рекомендуется концентрация 1,5 мкмоль/г [24,26].

Обычно глюкозинолаты представляют собой группу органических соединений (глюкоза и производные аминокислоты), которые содержат серу и азот. Глюкозинолаты, подобно другим биологически активным веществам, таким как фенольные соединения, сохраняются в остатках семян масличных культур в значительных количествах, и при использовании остатков масла в рационах домашней птицы следует учитывать содержание глюкозинолатов.

Такер и Видьяратне [28] сообщили, что в жмыхе рыжика были обнаружены три глюкозинолата, включая 9-метилсульфинилнонил (глюкоарабин), 10-метилсульфинилдецил (глюкокамелинин) и 11-метилсульфинилундецилглюкозинолаты. Преобладающими глюкозинолатами были 10-метилсульфинилдецил (21,6 мкмоль/г), на долю которых приходилось 62,7 % от общего количества глюкозинолатов. Другими глюкозинолатами были алкенил и индол, которые в низких концентрациях содержатся в семенах рыжика. Более того, несмотря на принадлежность к одному семейству, основные глюкозинолаты в рыжике и рапсе разные. По той же причине общий уровень глюкозинолатов в рапсовой муке ниже по сравнению с рыжиковой, а в соевой муке этот показатель незначителен (0,21 мкмоль/г по сравнению с 8,78 и 34,43 мкмоль/г в рапсовой муке и рыжиковой соответственно).

На концентрацию глюкозинолатов могут оказывать влияние виды рыжика, поскольку их содержание в зимних сортах незначительно выше, чем в летних (20 против 15 мкмоль/г) [29].

1.4 Использование продуктов из жмыхов масличных культур в кормовых смесях

Химический состав жмыхов и шротов крестоцветных культур и сои представлен хорошо перевариваемым протеином, содержащим большое количество незаменимых аминокислот. При введении кормовой добавки в виде

жмыха следует исключить добавление растительных масел, так как остаточная масличность жмыха составляет до 10 %. Чаще всего жмыхи в качестве кормовой добавки применяют в комбикормовой промышленности. При этом установлены ограничения на включение в рацион питания кормовой добавки на основе жмыха, так как они оказывают отрицательное влияние на качество конечных продуктов крупного рогатого скота.

Жмыхи крестоцветных культур содержат в своем составе вредные вещества. Ранние сорта крестоцветных культур содержали эруковую кислоту, поэтому важно предварительно проводить влаготепловую обработку. В настоящее время выведены сорта с низким содержанием эруковой кислоты. При обработке содержание вредных веществ снижается до безопасных показателей.

Для определения наличия вредных веществ небольшое количество измельченного жмыха необходимо смочить теплой водой и поставить в теплое место на 30 минут. Жмыхи с высоким содержанием опасных веществ выделяют едкий горчичный запах.

Жмых рапсовый часто включается в рацион КРС и сельскохозяйственной птицы. Рапсовый жмых используют в качестве кормовой добавки, для чего его нужно предварительно измельчить до размера частиц 2-3 мм. Крупному рогатому скоту дают до 1-1,5 кг, сельскохозяйственной птице – до 0,1-0,2 кг [30].

Жмых рыжиковый, как и рапсовый включается в рацион крупному рогатому скоту и сельскохозяйственной птице. По сравнению с рапсовым жмыхом кормовая ценность его более низкая. Это связано с меньшим содержанием протеинов и жирных кислот. К недостаткам можно отнести резкий, неприятный запах и специфичный вкус, который влияет на конечный продукт как мяса, так и молочных продуктов.

На некоторых производствах растительных масел получают жмых со сниженным содержанием эруковой кислоты. Данный жмых дают сельскохозяйственным животным без влаготепловой обработки, но это не приводит к снижению качества.

Таким образом, жмых крестоцветных культур может быть скормлен крупному рогатому скоту, овцам и свиньям, начиная с небольших доз при постоянном контроле за состоянием животных.

Переваримость жмыхов крестоцветных культур составляет 67 %, протеина – 81,0 %, жира – 83,0 %, клетчатки – 21 %, БЭВ – 73 % [30].

Соевый жмых содержит протеин до 42 %, в состав которого входят незаменимые аминокислоты: лизин–5,2 %, метионин – 1,1 %, цистин – 1,7 %, триптофан – 1,2 % [30].

Преобладающим использованием соевого жмыха является производство растительных белков, а также он используется в производстве комбикормов.

1.5 Функционально-технологические свойства белков масличных культур

В настоящее время многие виды белков растительного происхождения широко используются в качестве функциональных компонентов пищевых продуктов. Различные белки масличных культур представляют интерес для их использования в пищевой и кормовой промышленности.

Белки можно классифицировать по-разному в зависимости от их источника, формы, структуры, биологических функций (например, ферментов, транспорта, регуляции), а также химических и физических свойств. Белки масличных культур богаты запасными белками, которые составляют около 50 % от общего количества белка. По растворимости их можно разделить на четыре категории: альбумины, глобулины, проламины и глютелины [30].

Основными белками сои являются запасные белки, в которых глобулины составляют 90 %, а остальные в основном представляют собой альбумины [32]. Соевый белок можно разделить на четыре основные группы в зависимости от фракций осаждения: фракции 2S (S обозначает единицу Сведберга), 7S, 11S и 15S. Двумя основными компонентами соевого белка являются глицинин (11S, 36-53 %) и β -конглицинин (7S, 30-46 %) глобулины [33].

Рапс содержит от 17 до 26 % белка, который делится на четыре основные группы, включая водорастворимые альбумины, солерастворимые глобулины, растворимые в этаноле проламины и глютелины. Двумя основными типами запасных белков семян рапса являются крециферин (12S глобулин) и напин (2S альбумин), на долю которых приходится 60% и 20% от общего содержания белка в семенах рапса [34,35].

Гидрофильность или гидрофобность белка определяется аминокислотным составом, особенно аминокислотами на поверхности белка. Обычно неполярные и гидрофобные группы расположены в сердцевине белка, в то время как гидрофильные группы находятся на поверхности. Растворимость белка тесно связана с взаимодействиями между гидрофильными группами белка и растворителем. Экранирование сил электростатического отталкивания между молекулами белка приводит к агрегации и снижению растворимости белка [36].

Растворимость белка относится к концентрации белка в растворителе в системе, когда взаимодействия белок-белок и белок-растворитель достигают термодинамического баланса. Растворимость белка является одним из важнейших физико-химических свойств, влияющих на другие функциональные возможности, включая водоудерживающую способность, эмульгирующие и пенообразующие свойства. Как правило, растворимость белка масличных культур низкая, например, изолят соевого белка и изолят подсолнечного белка показали плохую растворимость в воде – около 26,06 % (pH 7) [37] и 20-30 % (pH 4,0-6,5) соответственно [38].

Чтобы улучшить растворимость белка масличных культур, исследователи изучили ряд методов, включая термическую обработку, ультразвук, определение pH, ионной силы и обработку высоким давлением и их комбинации. Пуппо и др. [39] показали, что растворимость белкового препарата соевого белка улучшалась после обработки под высоким давлением как в щелочных, так и в кислых растворах. Ли и др. исследовали влияние температуры и концентрации ионов белка на растворимость соевого белка и обнаружили, что с повышением

температуры или концентрации ионов растворимость соевого белка также повышается [40].

Применение гомогенизационной обработки под высоким давлением (11-50 Мпа) повысило растворимость соевого белка [41].

Стоит отметить, что в последние годы быстро развиваются физические области в сочетании с техникой изменения pH. Ван и др. [42] обнаружили, что растворимость белкового препарата соевого белка была значительно улучшена с 26,06 % до 70,34 % за счет комбинированной обработки импульсным электрическим полем и изменения pH.

Комбинированная обработка физическими полями и изменением pH является высокоэффективной и позволяет достичь синергетического эффекта в повышении растворимости белков масличных культур. Совместное применение вышеуказанных методов может привести к новому подходу к увеличению содержания растворимого белка и расширению использования белков масличных культур в качестве ингредиентов в пищевых продуктах.

Эмульгирование относится к процессу, при котором две или более несмешивающихся жидкостей (таких как масло и вода) смешиваются вместе и одна из них диспергируется в виде мелких капель внутри другой с образованием гомогенной эмульсии.

Эмульгирующие свойства белков в основном зависят от их амфифильной природы. Эмульгирующая способность и эмульгирующая стабильность обычно используются для определения эмульгирующих свойств белка. Эмульгирующая способность относится к объему масла, которое может быть эмульгировано на грамм белка до того, как эмульсия осуществит фазовый переход. Это обычно выражается как изменение объема раствора после эмульгирования, когда эмульсию оставляют при определенной температуре на определенный интервал времени.

Большинство нативных белков не обладают желаемыми функциональными свойствами, которые необходимы для переработки пищевых продуктов и требуют модификации для улучшения их функциональных свойств. Эмульгирующие

свойства белков масличных культур могут быть улучшены путем расширения или денатурации белков с помощью тепла, ферментов или химических методов (например, концентрации белка, pH, ионной силы, условий нагревания или сдвига эмульсии) для расширения или денатурации белков.

Соевый белок может служить эмульгатором в молочных продуктах, мороженом и других пищевых продуктах благодаря своим амфифильным свойствам. Изменения методов обработки во внешней среде и условий, таких как значение pH, ионная сила, также влияют на эмульгирование соевого белка. Исследователи обнаружили, что эмульгирующие свойства белкового препарата соевого белка, белков подсолнечного шрота, кунжутного белка и рапсового белка можно улучшить, регулируя значение pH эмульсии [43]. Например, при pH7 эмульгирующая активность кунжутного белка выше, чем соевого. При pH5 эмульгирующая активность белка кунжута выше, чем при pH2 и pH7, что указывает на то, что в определенном диапазоне pH эмульгирующая активность белка кунжута усиливается с повышением pH [44].

Что касается белков рапса, Чунг и др. [45] исследовали эмульгирующие свойства белковых препаратов крециферина и напина. Было определено влияние значения pH на изолят протеина рапса. Исследователи пришли к выводу, что изолят белка рапса подходит для добавления в продукты питания и напитки, особенно в те продукты питания и напитки, для которых требуется кислый уровень pH и липидные компоненты. Ван и др. [46] продемонстрировали, что импульсные электрические поля также могут применяться для улучшения эмульгирующих свойств соевого белка.

Исследования Yu et al. (2007) показали [47], что термообработка повышала гидрофобность поверхности белкового препарата соевого белка, и приводила к образованию растворимых агрегатов разного размера, которые проявляли повышенную эмульгирующую активность и стабильность.

Изменение pH в сочетании с термической обработкой может улучшить эмульгирующие свойства белков масличных культур. В исследовании [48] было обнаружено, что термическая обработка соевого белка со сдвигом pH улучшает

эмульгирование за счет постепенного разворачивания молекул белка и превращения их в рыхлую структуру [49].

В настоящее время многие белки масличных культур используются в качестве пищевых эмульгаторов. Однако до сих пор не были обнаружены белки масличных культур, обладающие эмульгирующими свойствами, сравнимыми с молочными белками [50].

Пена обычно представляет собой дисперсионную систему, в которой пузырьки диспергированы в виде сплошной жидкой фазы или полутвердой фазы. Она широко используется в пищевой промышленности, и многие обработанные пищевые продукты представляют собой продукты на основе пены, такие как кремы, торты, хлебобулочные изделия, мороженое и т.д.

Белки представляют собой поверхностно-активные молекулы, состоящие из гидрофильных и гидрофобных фрагментов. При механических операциях, таких как перемешивание, белки разворачиваются на границе раздела газ/жидкость, и переориентируются за счет полярной миграции.

Протеины образуют защитную пленку вокруг пузырьков за счет электростатических, гидрофобных взаимодействий и образования водородных связей и способствуют образованию пены [51]. Протеины часто используются в качестве пенообразователей из-за их поверхностной активности и пленкообразующих свойств, они могут способствовать образованию и стабилизации структуры пены. Кроме того, способность белков к пенообразованию играет важную роль в текстуре и реологии, а также в сенсорных качествах пищевых продуктов. Пенообразующие свойства белков можно оценить, измерив их пенообразующую способность и стабильность пенообразования.

В нескольких исследованиях изучалось влияние ферментативного гидролиза на пенообразующую способность соевого белка и было подтверждено, что ферментативный гидролиз соевого белка приводил к увеличению значений пенообразующей способности и стабильности пенообразования по сравнению с натуральными белками [52,53,54].

Частичный протеолиз способствовал выделению гидрофобных и гидрофильных групп, что приводило к более гибкой молекулярной структуре, улучшенным амфифильным свойствам, более быстрой диффузии и усиленной межфазной адсорбции и, таким образом, способствовало пенообразованию белка [55,56].

Значение pH является важным фактором, влияющим на эффективность вспенивания белкового раствора.

Физические методы, такие как термическая, ультразвуковая обработка и воздействие высоким давлением, также играют важную роль в улучшении пенообразующих свойств протеина масличных культур. Шао и др. [57] продемонстрировали, что термическая обработка влияет на пенообразующие свойства соевого белка и что оптимально термически обработанные соевые белки показали улучшенную стабильность пены, но более высокая степень термической обработки может привести к меньшей конформационной гибкости, что, в свою очередь, снижает стабильность пены.

Следует отметить, что комбинированное применение pH-сдвига и различных физических обработок в полевых условиях является многообещающим средством для улучшения пенообразования протеинов масличных культур. Янг и др. [58] обнаружили, что ультразвук (20 кГц, 400 Вт, 20 мин) при обработке со сдвигом pH (pH10 и 12) эффективно улучшал пенообразующие свойства белков семян *Perilla*, что можно объяснить разрушением нековалентных взаимодействий в агрегированном белке.

Ранее сообщалось о хороших пенообразующих свойствах многих белков масличных культур, таких как соя, подсолнечник и льняное семя [59].

Хотя большинство белков из семян масличных культур способны образовывать довольно устойчивую пену, все еще существует определенный пробел по сравнению с реальными требованиями промышленного производства таких пищевых продуктов, как кофе, сливки, торты и другие хлебобулочные изделия. В результате необходимо приложить усилия для улучшения

пенообразующих свойств белков масличных культур путем модификации химическими, ферментативными и физическими средствами.

Гелеобразование является важным функциональным свойством белка для многих полутвердых пищевых продуктов, таких как джемы, гели, желе и йогурты. Помимо пищевой промышленности, белковые гели также широко используются в фармацевтической и косметической промышленности из-за их биоразлагаемости, биосовместимости и съедобных характеристик [60]. Гели можно определить как явление агрегации белковых молекул, при котором в результате межмолекулярных взаимодействий получается функциональная трехмерная сеть белка. Образование гелей в основном является результатом слабых межмолекулярных взаимодействий белок-белок, таких как водородные связи, ионные связи, силы Ван-дер-Ваальса и электростатические взаимодействия, а некоторые дисульфидные связи также помогают стабилизировать структуру геля. Прочность и стабильность этой трехмерной сети, в свою очередь, определяет функциональные свойства белка [61].

Из-за различий в типе белка, аминокислотном составе и внешних факторах, таких как pH и ионная сила, гели обычно делятся на два типа: прозрачные и коагулирующие. Коагуляционные гели обычно образуются из белков, содержащих неполярные остатки, в то время как белки, содержащие гидрофильные аминокислоты, с большей вероятностью образуют прозрачные гели.

Наиболее распространенным продуктом, приготовленным с использованием гелеобразующих свойств сои является тофу. Таким образом, гелеобразующие свойства сои вызывают широкий интерес и во многих исследованиях сообщалось о факторах, влияющих на гелеобразное качество соевого белка, таких как сорта сои [62].

Свойство протеина масличных семян к гелеобразованию можно улучшить, регулируя значения pH и температуры нагрева. Чен и др. [63] изучили гелеобразование соевого белка при различных концентрациях белка, значениях pH и температурах нагревания и обнаружили, что скорость гелеобразования

увеличивалась с повышением концентрации белка и снижением значения рН, в то время как жесткость геля была связана только с концентрацией белка. Жесткость геля повышалась с увеличением концентрации белка. Аналогичным образом, Янг и др. [64] установили, что белковые гели из семян рапса, приготовленные при высокой температуре нагрева и значении рН, имеют макропористую структуру с плотными стенками и улучшенную механическую прочность, что открывает возможности для применения рапсового белка в качестве нового желирующего реагента для пищевых целей.

Свойства желирования белков масличных культур были улучшены с помощью различных процессов, что открывает возможности для использования белков масличных культур в качестве нового желирующего агента для пищевых продуктов человека.

1.6 Лечебно-профилактические свойства белков масличных культур

Качество некоторых белков масличных культур, таких как чиа, рапс и подсолнечник, сравнимо с качеством соевого белка. Последние разработки в области использования белков масличных культур в основном сосредоточены на их пользе для здоровья, чтобы удовлетворить растущий мировой спрос на белки и биоактивные компоненты.

В настоящее время ожирение является одной из основных проблем со здоровьем в современном обществе. Ожирению способствуют следующие факторы: обмен веществ, диета и физические упражнения. Ожирение вызвано избытком энергии из-за более высокого потребления энергии, чем ее потребление, которая в конечном итоге откладывается в организме в виде жира. Ожирение оказывает негативное влияние на большинство физиологических функций почти во всех органах. Серьезным фактором риска является гипертония, которая увеличивает бремя сердечнососудистых заболеваний и смертность от них. Было предложено множество решений для борьбы с ожирением, например, с помощью физических упражнений или диетического вмешательства. Контроль потребления

энергии с пищей является ключевым элементом диетического вмешательства. В последние годы растет интерес к роли диетического потребления белка в лечении ожирения.

Семена масличных культур являются хорошим источником белка, во многих отчетах показано, что белок масличных культур оказывает благотворное влияние на снижение ожирения у людей или животных. Ли и др. [65] изучили влияние β -конглицинина в составе соевого глобулина на ожирение у мышей, вызванное диетой с высоким содержанием жиров и продемонстрировали, что он эффективен в борьбе с ожирением через 5 недель кормления.

Спикер и др. [66] обнаружили, что белковые продукты на основе сои могут быть эффективно включены в рацион с ограниченным потреблением энергии и высоким содержанием белка для улучшения состава тела и кардиометаболического состояния.

Результаты вышеуказанных исследований показали, что потребление белков из семян масличных культур, особенно соевого белка, может снизить уровень жира в организме, что привлекает внимание потребителей к диетическому потреблению белков из семян масличных культур. Следует прилагать больше усилий для разработки белков масличных культур и их гидролизатора в качестве нутрицевтиков и функциональных пищевых продуктов для профилактики и лечения избыточного веса и ожирения.

Диабет, метаболическое заболевание, характеризующееся высоким уровнем глюкозы в крови, является одной из наиболее распространенных проблем со здоровьем во всем мире, и в настоящее время вызывает серьезную озабоченность медицинского сообщества. Длительное присутствие высокого уровня глюкозы в крови может привести к повреждению и дисфункции различных органов. Диабет делится на сахарный диабет 1-го и сахарный диабет 2-го типа. Данное заболевание вызывает ожирение, старение и хронические воспаления. Таким образом, поскольку заболевание является сложным, поиск подходящего лечения сталкивается со многими проблемами. Подводя итог, можно сказать, что несколько исследований уже дали многообещающие результаты относительно

потенциала белков масличных культур для борьбы с сахарным диабетом 2-го типа. Следовательно, разработка продуктов питания, богатых белками масличных культур, станет жизнеспособной стратегией управления в ближайшие годы. Результаты этих исследований внесут значительный вклад в разработку профилактических и терапевтических мер, направленных на обращение вспять глобальной эпидемии сахарного диабета 2-го типа.

В последние годы было обнаружено, что белки растительного происхождения эффективны в облегчении гипергликемии и связанных с ней осложнений.

В частности, Конья и др. [67] обнаружили, что соевый белок положительно влияет на гипергликемию, значительно снижая уровень гликированного гемоглобина, массу тела и индекс массы тела. Как источник биоактивных пептидов белок является одним из важнейших питательных веществ в пище, обладающим свойствами, способствующими укреплению здоровья. Исследования показали, что биоактивные пептиды оказывают благотворное влияние на здоровье человека. Биоактивные пептиды представляют собой пептидные последовательности, зашифрованные в исходном белке, которые становятся активными при расщеплении в неповрежденном виде и могут проявлять полезные для здоровья свойства. Биоактивные пептиды высвобождаются в основном в результате ферментативной обработки, микробиологической ферментации или переработки пищевых продуктов. Многие белки и пептиды, содержащиеся в масличных культурах, биологически активны, в частности, обладают гипотензивной, антиоксидантной, противоопухолевой, противовоспалительной, иммуномодулирующей и снижающей уровень холестерина активностью и рассматриваются в качестве потенциальных терапевтических агентов для здоровья человека [68].

Семена масличных культур и шрот из них являются отличным источником питательных веществ, особенно белков. Многие из этих белков и пептидов биологически активны и считаются потенциальными терапевтическими средствами для улучшения здоровья человека. В настоящее время проводится

множество исследований биоактивных пептидов из масличных культур. Хан и др. [69] выявили, что биоактивные пептиды из масличных культур, таких как рапс, подсолнечник, кунжут и соя, обладают антиоксидантной, гипотензивной и противодиабетической активностью.

Ферментативный гидролиз и ферментация обычно используются для высвобождения биоактивных пептидов, зашифрованных в пищевых белках. Исследования показали, что лучшего и эффективного гидролиза белка можно добиться с помощью множества методов, таких как импульсное электрическое поле, ультразвук, инфракрасное, микроволновое облучение, суб- и сверхкритический гидролиз воды, а также термическая обработка и воздействие высокого давления [70,71,72].

В настоящее время многие исследования сосредоточены на изучении биоактивных пептидов из масличных культур, оказывающих благотворное воздействие на нервную, сердечно-сосудистую, иммунную и желудочно-кишечную системы организма. Таким образом, биоактивные пептиды, полученные из семян масличных культур, жмыхов и шрота, обладают хорошим потенциалом для использования в качестве натуральных пищевых ингредиентов во многих областях [30].

1.7 Применение белков масличных культур в пищевых производствах

По мере роста населения спрос на продукты с высоким содержанием белка, такие как мясо, постепенно увеличивается во всем мире. Однако чрезмерное потребление мяса не только вызвало проблемы с окружающей средой и устойчивым развитием, но также имеет последствия для благополучия животных и здоровья человека. Для решения этих проблем был разработан растительный аналог мяса, который также предлагает новый вариант для вегетарианцев [73]. В настоящее время аналог мяса обычно разрабатывается с использованием обычных бобовых, таких как соя, горох, чечевица, люпин и нут. Соевые ингредиенты, например, концентрат соевого белка и изолят соевого белка, широко

используются в мясных аналогах благодаря их уникальным функциональным свойствам (желирование, водоудерживание, эмульгирование и т.д.) и способности создавать анизотропную структуру волокон.

Соевый белок обеспечивает все необходимые организму аминокислоты, а также полезен для здоровья, например, снижает уровень холестерина, и сводит к минимуму риск сердечнососудистых и гиперлипидемических заболеваний. Однако, пищевая ценность соевого белка ограничена относительным дефицитом в нем серосодержащих аминокислот, содержание которых можно повысить путем введения экзогенных белков, богатых метионином, или увеличением экспрессии эндогенных белков, богатых метионином [74].

Помимо сои, некоторые другие белки из семян масличных культур также можно добавлять в мясные продукты для замены некоторых белков. Например, смеси напина из рапса и казеина могут заменить чистый казеин в тесте для колбасных изделий или соусах [75]. Добавление белка из семян рапса в сосиски улучшило их текстуру, аромат и вкус [76].

Молоко является одной из наиболее широко потребляемых белковых добавок. Однако, потребление молочных продуктов вызывает споры и может быть связано с риском ожирения, сердечных заболеваний и рака.

С ростом осведомленности о пользе белков масличных культур для здоровья во всем мире постепенно увеличивается использование белков масличных культур в качестве альтернативы молоку [77].

Семена масличных культур богаты белком и считаются хорошей альтернативой молоку. Соя обладает высокой питательной ценностью благодаря высокому содержанию белка (около 33-56 %) и жирных кислот и используется в качестве ингредиента многих напитков. Соевое молоко является наиболее распространенной и популярной альтернативой животному молоку на растительной основе.

Исследования [78] выявили потенциальную пользу для здоровья от соевого молока, такую как снижение риска рака, сердечно-сосудистых заболеваний и старения.

Семена масличных культур тщательно анализируются на возможность их потенциального использования в напитках. Эти разработки свидетельствуют о продолжающихся усилиях пищевой промышленности по расширению использования белков масличных культур при одновременном повышении ценности существующих пищевых продуктов.

Хлебобулочные изделия являются основными продуктами питания, потребляемыми людьми во всем мире. Они относятся к разнообразным продуктам на основе муки, выпекаемым в духовке, включая хлеб, печенье, торты.

Белки пшеничного глютена играют важную роль в формировании необходимой вязкоупругой сетки для удержания углекислого газа во время ферментации хлеба. Таким образом, перед пищевой промышленностью встала серьезная задача улучшить рецептуры муки и разработать продукты без глютена. Многие семена масличных культур используются при приготовлении продуктов без глютена.

Поскольку семена чиа являются новым альтернативным источником белка без глютена, было проведено множество исследований по разработке рецептов безглютенового хлеба, содержащего семена чиа. Несколько исследователей разработали хлеб без глютена, добавляя различное количество муки из семян чиа, обнаружили, что добавление семян чиа повышает питательную ценность продукта. Более того, компоненты семян чиа могут быть соединены с другими компонентами для повышения вязкоупругости теста за счет имитации структуры клейковины и формирования большего объема хлеба [79]. В дополнение к семенам чиа, семена рапса также можно использовать при производстве продуктов без глютена. Салах и др. [80] обнаружили, что добавление белка из семян рапса в безглютеновый хлеб, приготовленный из белой рисовой муки, улучшило функциональность теста, а также пищевую ценность и физико-химические характеристики готового хлеба. Кроме того, включение рапсового белка в рецепты хлеба без глютена значительно увеличило содержание белка, и эффективно замедлило старение хлеба при хранении, что позволяет

предположить, что рапсовый белок можно использовать в качестве ценного ингредиента в хлебе без глютена[81].

1.8 Современные методы экстракции растительных белков

Традиционные методы (солевая и щелочная экстракция) приводят к низкому выходу белка при низкой скорости экстракции и высоком расходе растворителей. Внедрение новых технологий в процессы экстракции белков может увеличить выход белков и улучшить их технологические, функциональные и питательные характеристики.

За последние десять лет появилось несколько новых методов экстракции белков из природных источников.

Щелочная экстракция белков изоэлектрическим осаждением является фундаментальным методом, имеющим решающее значение для очистки и выделения белков из сложных биологических смесей. Этот метод использует явление растворимости белков в их изоэлектрической точке (pI), pH, при котором белок не несет суммарного заряда, что приводит к его осаждению из раствора. Процесс начинается с выбора подходящей буферной системы для поддержания стабильного уровня pH среды с последующим добавлением соли или кислоты для регулирования pH раствора до желаемого уровня [82]. Присутствие щелочи повышает выход белков при экстракции за счет разрушения окружающей их матрицы, что в конечном итоге приводит к повышению растворимости белков. Растворимость белков наиболее высока в щелочном диапазоне pH, но минимальна в изоэлектрической точке. Включение таких веществ, как хлорид натрия (NaCl) и оксид кальция (CaO), может улучшить процесс экстракции белка [82].

Последние достижения в этой области были сосредоточены на оптимизации различных параметров, таких как состав буфера, pH, температура, присутствие соли в экстракционной среде, время для повышения эффективности и выхода экстракции белка.

Кислотное осаждение белкового препарата соевого белка при pH 5,5 привело к более низкому соотношению 7 C/11 °C и более высокой растворимости белка при нейтральном pH, чем при производстве при pH 4,5 и 3,5. Полученный изолят соевого белка содержал значительное количество агрегированных белковых структур [84]. Изоэлектрическое осаждение улучшает концентрацию белка и аминокислот, особенно фенилаланина, изолейцина и метионина.

По мере увеличения значений pH экстрагируемость рапсового белка повышалась с 33,58 % до 61,25 %, что позволяет предположить, что повышение концентрации щелочной среды может улучшить экстрагируемость белка. Растворы с высоким уровнем pH полезны для растворения и экстрагирования белков, но при очень высоких уровнях pH может происходить щелочной гидролиз пептидных связей, который приводит к неконтролируемому расщеплению белковых молекул [85].

Альтернативным способом увеличения выхода растительного белка из масличных культур является ферментативная экстракция.

Ферменты представляют собой глобулярные белки, которые существуют у людей, растений, животных и микроорганизмов. Они широко используются при производстве молочных продуктов, хлеба, переработке крахмалов, придании мясу мягкости и т.д. Пищевые ферменты, такие как липаза, протеазы и амилаза, теперь легко доступны на рынке. Большинство карбогидраз, таких как целлюлазы и пектиназы, функционируют для разрушения внешней клеточной стенки, тогда как протеолитические ферменты гидролизуют белок внутри цитоплазмы.

Метод экстракции с использованием ферментов – это щадящий и экологически чистый метод экстракции, при котором используются ферменты вместо вредных химических или физических сред. Кроме того, это позволяет успешно извлекать аминокислоты, такие как глютамин и аспарагин, которые обычно быстро разлагаются из-за кислотного и щелочного гидролиза [86].

Температура и pH, зависящие от ферментов, соотношение субстрата и ферментов, а также продолжительность экстракции – все это влияет на применение экстракции с использованием ферментов. Следует отметить, что

независимо от типа используемого фермента было обнаружено увеличение выхода сырого протеина.

Ферменты, одиночные или комплексные, помогают извлекать белки более высокого качества с хорошими эмульгирующими свойствами путем растворения клеточных стенок под действием целлюлаз и алкалаз. В результате выделенные белки обладают низкой вязкостью, высокой термостабильностью и низкой устойчивостью к окислительному разложению.

Белковые продукты с улучшенными биологическими и функциональными свойствами, такими как пенообразование, растворимость, эмульгирующая активность и стабильность, получают путем модификации экстракции с помощью ферментов.

Для получения более высокого выхода и более качественного белкового экстракта при ферментативной обработке можно использовать механическую обработку, включая обработку ультразвуком и микроволновым излучением.

Ферментативная обработка обеспечивает высокий выход белка при минимальном воздействии на окружающую среду, несмотря на ряд недостатков, в том числе медленность, дороговизну, сложность масштабирования экстракции, неравномерный выход и энергоемкий процесс. В результате этого процесса получают продукты высочайшего качества, пригодные для употребления человеком. Повторное использование иммобилизованных ферментов также может значительно снизить стоимость ферментативную обработку белка.

Однако исследований по качественным показателям белка и ферментативной обработки недостаточно. Необходимы дальнейшие усовершенствованные методологии для научных исследований, концентрирующихся на использование индивидуальных ферментов. Потенциальной и сравнительно новой темой является количественное и качественное промышленное использование ферментативной обработки растительного сырья.

1.9 Обоснование выбора ферментного препарата

Традиционно белковые концентраты и изоляты получают путем экстракции последующего выделения белка из раствора с использованием соответствующих методов, таких как осаждение или термическая коагуляция. Для получения белковых концентратов из масляных культур жмых после отжима масла подвергают предварительному обезжириванию органическими растворителями, такими как гексан, диэтиловый эфир и др. Применение этих растворителей не только вредно и токсично, но и приводит к загрязнению воздуха [108].

Несмотря на то, что гексан разрешен к применению в пищевой промышленности Европейской комиссией и Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (Food and Drug Administration), он по-прежнему классифицируется как опасный растворитель, и не разрешен к использованию некоторыми международными организациями [109]. Альтернативным методом извлечения остаточного масла, содержащегося в жмыхах, является ферментативный гидролиз. В данном методе для разрушения клеточных стенок маслосодержащего сырья используются ферменты различной природы (целлюлазы, гемицеллюлазы, пектиназы, протеазы), обеспечивая перенос клеточного содержимого в экстракт. В процессе гидрофильная часть диффундирует в воду, а гидрофобная образует эмульсию. Использование ферментов позволяет отделять выбранные компоненты без изменения их свойств. Это положительно влияет на сенсорные характеристики конечного продукта с точки зрения вкуса и запаха. Полученные соединения больше соответствуют требованиям для пищевых продуктов, чем продукты, полученные другими методами экстракции. Применение ферментов считается наиболее экологически чистым процессом, поскольку снижает химическую нагрузку, создаваемую органическими растворителями. К распространенным побочным продуктам переработки маслосодержащего сырья с высокой добавленной стоимостью относятся белки и пищевые волокна [110,111].

Пищевая физиология, токсикология и экономическая обоснованность являются решающими факторами, определяющими безопасность использования ферментов в пищевой промышленности для получения белковых препаратов из жмыхов масличных культур.

Среди других реакций ферментативной модификации применяется гликозилирование, фосфорилирование, дезамидирование и сшивание пептидных связей белка, осуществляемое соответствующими ферментами (Таблица 3) [112].

Таблица 3 – Методы ферментативной модификации белков

Реакция	Фермент	Реагирующие функциональные группы	Структурные эффекты
Протеолиз	Протеиназы	Специфическое расщепление пептидных связей	Уменьшение молекулярной массы, гидрофилизация
Пластеиновая реакция	Протеиназы	Пептидные связи, -NH ₂ , -COOH	Транспептидация после ферментативного расщепления
Гликозилирование	Трансглютаминаза	-Gul-CO, -NH ₂	Гидрофилизация
Фосфорилирование	Протеинкиназы	-OH	Гидрофилизация
Дезамидирование	Пептидоглютаминазы, трансглютаминазы	-Gul-CO, -NH ₂	Гидрофилизация
Сшивание	Трансглютаминазы, пероксидаза, полифенолоксидаза	-Gul-CO, -NH ₂ Tyr- Tyr-	Стабилизация структуры
Дезтерификация	Пектиназа	Пептидные связи, -NH ₂ , -COOH	Трансэлиминирования
Эндоцеллюлазы	Целлюлаза	Разложение целлюлозы	Расщепление клеточной стенки

Использование пектиназы и целлюлазы позволяет эффективно расщеплять клеточные стенки растений, освобождая белки и улучшая их доступность для дальнейшего метаболизма. В результате этого процесса значительно увеличивается выход белковых препаратов [126].

Поэтому использование ферментов пектиназы и целлюлазы будет способствовать увеличению выхода белкового препарата из жмыхов масличных культур.

В связи с увеличением численности населения спрос на продукты с высоким

содержанием белка постепенно увеличивается во всем мире. Крестоцветные культуры и соя, а также продукты их переработки могут быть альтернативными источником получения белка, биоактивных компонентов и имеют большой потенциал для создания функциональных продуктов питания, кормовых, медицинских препаратов и других.

2 Объекты и методы исследований

Проведение экспериментальных исследований осуществлялось в научно–исследовательской лаборатории «Проблем переработки масличных культур» при ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, где была проведена отработка технологии получения белковых препаратов из жмыхов масличных культур при различных технологических параметрах и применении ферментов. Экспериментальные данные по химическому составу исследуемых образцов были получены в научно-исследовательском испытательном центре ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Показатели пищевой безопасности мясных рубленых полуфабрикатов с добавлением пищевого белкового препарата определялись в испытательной лаборатории ФГБУ «Красноярский референтный центр Россельхознадзора» по Красноярскому краю.

Объектами исследования являлись необезжиренные жмыхи рапса сорта «Культис», рыжика сорта «Ужурский» и сои сорта «Зарница», полученные из масличных культур, произрастающих на территории учебного научно-производственного комплекса «Борский» ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ», а также их шроты. Жмыхи получали методом шнекового прессования на маслопрессе Akita-2000. Прессование осуществлялось при зазоре шнека и внутренней части маслодавящей втулки 1 миллиметр, при температуре рабочей части 80-90 °С. По показателям качества и безопасности жмыхи соответствуют ГОСТ 11048-95 Жмых рапсовый. Технические условия [87].

Этапы работы и организацию исследования проводили по схеме, представленной на рисунке 1.



Рисунок 1– Структурная схема проведения исследования

Рыжика ярового сорта «Ужурский» (*Camelina sativa* (L.) Crantz) является скороспелым, продолжительность вегетативного периода составляет 110 дней.

Имеет высокую урожайность до 4,5 т/га. Среднее содержание липидов в зерне составляет до 35 %, белка – до 36 % [88].

Рапс яровой сорта «Культис», гибрид рапса ярового (*Brassica napus* var. *napus*). Гибрид 00-типа (безэруковый, низкоглюкозинолатный). Сорт устойчив к полеганию и растрескиванию стручков. Среднее содержание белка 21,5 %, жира 48,0 % [89].

Соя сорта «Зарница» (*Glycine max* (L.) Merr) скороспелый сорт, вегетативный период составляет 102 дня. Выведен «Научно-исследовательским центром оригинального семеноводства» ФГБОУ ВО Красноярского ГАУ, адаптирован к произрастанию на территории Сибири. Среднее содержание липидов в зерне составляет 19,1 %, белка – 36% [88].

Выбор масличных культур сои сорта «Зарница» и рапса сорта «Культис», рыжика сорта «Ужурский» обусловлен большим содержанием белка в семенах культур: для сои до 45 %, рапса до 38 % и рыжика до 41 %, что делает использование данных культур перспективными для получения белковых препаратов [90].

В ходе поставленных задач в диссертационном исследовании были использованы: физико-химические, биохимические, органолептические, микробиологические методы исследования сырья и готового продукта.

Массовую долю жира определяли на аппарате Сосклета, в качестве растворителя использовали диэтиловый эфир ЧДА (ГОСТ 13496.15-2016) [91].

Жирнокислотный состав определяли на газовом хроматографе фирмы Perkin Elmer (США) в соответствии с ГОСТ 30418-96 Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава. [92].

Общий белок определяли согласно методике Кьельдаля, который состоит в том, что связанный азот при нагревании органического вещества с концентрированной серной кислотой в присутствии небольшого количества катализатора CuSO_4 или других переходит в сульфат аммония (ГОСТ 30648.2-99) [93].

Исследование аминокислотного состава белка проводили по методике капиллярного электрофореза на приборе КАПЕЛЬ-103РТ/104Т/105/105М (ГОСТ Р 55569-2013) [94].

Токсичные элементы, устанавливали по методикам: ГОСТ Р 26927-86, ГОСТ Р 26930-86, ГОСТ 26932-86, ГОСТ 26933-86 [95,96,97].

Определение микробиологических показателей проводили по методикам: ГОСТ 10444.12-2013, ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ 10444.8-2013, ГОСТ Р 54005-2010, ГОСТ 10444.12-88, ГОСТ 26668-85 [98,99,100,101,102,103].

Для получения математических зависимостей влияния технологических параметров на выход белковых препаратов из сои сорта «Зарница» и крестоцветных культур рапса сорта «Культис», рыжика сорта «Ужурский» использовали программные пакеты DataFit и Statistics системы Maple.

Для проведения энзиматической биоконверсии применяли следующие ферментные препараты: пектиназа, целлюлаза. Использование пектиназы и целлюлазы позволяет эффективно расщеплять клеточные стенки растений, освобождая белки и улучшая их доступность для дальнейшего метаболизма. В результате этого процесса значительно увеличивается выход белковых препаратов [126].

Пектиназа содержит комплекс пектолитических ферментов (эндо- α 1,4-полигалактуроназу, экзо- α 1,4-полигалактуроназу). Фермент катализирует гидролиз внутренних 1-4-связанных α -D-галактуронозидных связей в основной цепи полигалактуронатов и пектиновых субстратов с низкой степенью метиловой этерификации. Биохимические параметры: активность 35 единиц/грамм, рН оптимум 3,7-4,3, температура оптимум 35-50 °C [104].

Целлюлаза, систематическое название 4- β -D-глюкан-4-глюканогидролаза. Фермент катализирует эндогидролиз (1 $\rightarrow$ 4)- β -D-глюкозидных связей в целлюлозе, лигнине и β -D-глюкане злаков. Биохимические параметры: активность 4000 единиц/миллилитр, рН оптимум 3,5-4,5, температура оптимум 50-60 °C [104].

Получение сухих порошков белковых препаратов осуществляли методом лиофильной сушки в сублиматоре для научных целей Bio-Rus-4SFD. Емкость конденсора 4 л.

Для определения биологической ценности белковых препаратов применялись расчетные методики, предложенные академиками РАСХН И.А. Роговым и Н.Н. Липатовым: коэффициент различий аминокислотного сора (КРАС) и биологическая ценности (БЦ),.

Коэффициент различий аминокислотного сора (КРАС) определяли по формуле (1):

$$\text{КРАС} = \frac{\sum \Delta \text{РАС}}{n}, \quad (1)$$

где $\Delta \text{РАС}$ – различие аминокислотного сора аминокислоты:

$$\Delta \text{РАС} = C_i - C_{\min}, \quad (2)$$

где C_i – скор i -й незаменимой аминокислоты,

$C_{\min}$ – минимальный из скоров незаменимых аминокислот,

n – количество незаменимых аминокислот.

Биологическую ценность пищевого белка определяли по формуле (3):

$$\text{БЦ} = 100 - \text{КРАС} \quad (3)$$

Коэффициент КРАС показывает среднюю величину избытка аминокислотного сора незаменимых аминокислот по сравнению с наименьшим уровнем сора какой-либо незаменимой аминокислоты (избыточное количество незаменимых аминокислот, неиспользуемых на пластические нужды) [116].

Для определения перевариваемости полученных кормовых добавок использовали методику, основанную на способности хлорфенольного раствора растворять органические вещества корма в такой же степени, в какой он переваривается в желудке животного [105].

В колбу вместимостью 250 мл отбирают пробу массой 2 г (с точностью до 0,0002 г), затем в колбу приливают 100 мл хлорфенольной смеси, содержимое колбы доводят до кипения, и оставляют кипятиться на 15 минут после равномерного увлажнения сырья реагентом. Содержимое колбы фильтруют в

колбу Бунзена с помощью предварительно высушенного и взвешенного стеклянного фильтра, фильтруют через 40 мл дистиллированной воды, затем фильтруют через бумажный фильтр. После выхода остаток материала переносят на фильтр, промывают водой до образования прозрачного фильтра, а затем сушат до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре 105 °С.

Обработка результатов. Перевариваемость в процентах на абсолютно сухое сырьё вычисляют по формуле(4):

$$X=((M \cdot (100-W)) - a \cdot 100) / M \cdot (100-W) \cdot 100, \quad (4)$$

где M – исходная навеска кормовой добавки, г,

a – масса осадка на фильтре после высушивания, г,

W – влажность исходной навески, %.

Влагоудерживающую и жирудерживающую способность белковых препаратов определяли по методике Н. К. Журавской, эмульгирующую способность – с помощью центрифугирования. Белковый препарат гомогенизировали в гомогенизаторе при добавлении воды с последующим внесением подсолнечного масла и дальнейшей эмульгацией, центрифугированием [125].

Функциональные свойства белка – это комплекс физико-химических характеристик белоксодержащей системы, моделирующей по составу реальную перерабатываемую систему и исследованный в условиях, соответствующих реальным условиям её переработки в готовые изделия [121].

К наиболее значимым функциональным свойствам относятся водоудерживающая, влагосвязывающая, жирудерживающая, жируэмульгирующая способности, стабильность эмульсии [121].

Водоудерживающая способность (ВУС) – это свойство белковых препаратов абсорбировать, и удерживать воду за счет присутствия гидрофильных групп. ВУС характеризует способность связывать воду в процессе технологической обработки. С помощью ВУС можно рассчитать необходимое количество белкового продукта в рецептуре для обеспечения необходимых

свойств продукта. ВУС зависит от химического состава, строения молекул, присутствия сахаров, липидов, углеводов и т.д. [120].

В соответствии с ГОСТ 33933-2016 Продукты диетического лечебного и диетического профилактического питания. Смеси белковые композитные сухие. Общие технические условия белковые композитные сухие смеси (СБКС) представляют собой специализированные пищевые продукты с содержанием белка от 40 % до 75 %, состоящие из белков молока (казеина и/или белков сыворотки молока), или белкового препарата соевого белка, или смеси белков молока (казеина и/или белков сыворотки молока) и белкового препарата соевого белка, с добавлением одного или нескольких нижеперечисленных ингредиентов: мальтодекстрина, лецитина, полиненасыщенных жирных кислот, среднецепочечных триглицеридов, пищевых волокон, витаминов, минеральных веществ, ароматизаторов, пробиотиков и пребиотиков и представляющие собой порошкообразные смеси, состоящие из единичных и/или агломерированных частиц [116].

3 Экспериментальная часть

3.1 Химический состав жмыхов масличных культур

В результате исследования химического состава жмыхов, полученных после отжима масла из семян масличных культур было установлено, что содержание остаточного масла в них составляет до 15,30 % для рапса, 12,50 % для сои до 13,60 % для рыжика в пересчете на абсолютное сухое вещество (а.с.м.). При первичном отжиге масла из масличных культур остается липидов 34,00 % для рапса, 40,30 % для сои, 47,70 % для рыжика от общего количества содержания липидов в исходном сырье, что оказывает влияние на выход белкового препарата.

Данные по жирнокислотному составу жмыхов масличных культур представлены в таблице 4 [106].

Таблица 4 – Жирнокислотный состав жмыхов масличных культур

Наименование жирной кислоты	Содержание, в % от общей суммы жирных кислот		
	Жмых рапса сорта «Культис»	Жмых рыжика сорта «Ужурский»	Жмых сои сорта «Зарница»
каприловая C8:0	0,0043	0,0045	0,0031
каприновая C10:0	0,0182	0,0154	0,0160
лауриновая C12:0	0,0080	0,0028	0,0081
миристиновая C14:0	0,0506	0,0561	0,0544
миристолеиновая C14:1	0,0037	0,0217	0,0053
пентадекановая C15:0	0,0240	5,7847	0,0253
пальмитиновая C16:0	4,6576	0,0045	4,7763
пальмитолеиновая C16:1	0,3709	0,1009	0,3899
маргариновая C17:0	0,0428	0,0409	0,0363
стеариновая C18:0	1,9006	0,0178	1,8606
олеиновая C18:1	59,8004	2,1921	58,8815
линолевая C18:2	20,4968	13,7082	20,9445
линоленовая C18:3	9,7857	18,2018	9,7257
арахиновая C20:0	0,6812	38,3106	0,5936
гондоиновая C20:1	1,2182	1,1927	1,2905
эйкозациеновая C20:2	0,0671	12,6969	0,0668
арахидоновая C20:4	0,0082	2,0006	0,0084
генэйкозациеновая C21:0	0,0189	1,6161	0,0158
бегеновая C22:0	0,3375	0,2571	0,3449

Продолжение таблицы 4

Наименование жирной кислоты	Содержание, в % от общей суммы жирных кислот		
	Жмых рапса сорта «Культис»	Жмых рыжика сорта «Ужурский»	Жмых сои сорта «Зарница»
эруковая C22:1	0,0866	2,8302	0,5230
докозодиеновая C22:2	0,1234	0,1561	0,0053
трикозановая C23:0	0,0255	0,0213	0,0225
лигноцериновая C24:0	0,1978	0,1736	0,2060
нервоновая C24:1	0,1638	0,5978	0,1956
Σ насыщенных жирных кислот	7,95	9,77	7,95
Σ ненасыщенных жирных кислот	92,05	90,24	92,03
Коэффициент ненасыщенности	11,52	9,24	11,58

Из данных таблицы 4 следует, что в составе жирных кислот жмыхов присутствуют эссенциальные жирные кислоты, причем содержание линолевой кислоты составляет от 13,70 % в жмыхе рыжика, в жмыхе сои и рапса до 21,00 %, линоленовой от 9,70 % в жмыхе рапса и сои до 18,20 % в жмыхе рыжика. На долю ненасыщенных жирных кислот приходится 92,00 %. Аминокислотный состав исследуемых жмыхов масличных культур представлен в таблице 5.

Таблица 5– Аминокислотный состав жмыхов масличных культур

Наименование аминокислоты	Содержание, г/100 г продукта		
	рапсовый жмых сорта «Культис»	рыжиковый жмых сорта «Ужурский»	соевый жмых сорта «Зарница»
Аргинин	1,433	3,435	2,963
Лизин	1,704	2,021	1,333
Тирозин	0,598	0,955	0,842
Фенилаланин	1,512	1,464	1,134
Гистидин	0,785	0,635	0,754
Лейцин + изолейцин	1,877	1,463	1,964
Метионин	0,632	0,352	0,366
Валин	1,567	1,612	1,635
Пролин	1,836	1,632	1,960
Треонин	1,753	1,532	1,643
Серин	1,645	1,352	1,853
Аланин	1,757	1,632	1,357
Глицин	1,244	1,146	1,745
Глутаминовая кислота + глутамин	7,034	5,734	6,536
Аспаргиновая кислота + аспаргин	4,533	2,534	2,636

Продолжение таблицы 5

Наименование аминокислоты	Содержание, г/100 г продукта		
	рапсовый жмых сорта «Кульtis»	рыжиковый жмых сорта «Ужурский»	соевый жмых сорта «Зарница»
Цистин	1,976	1,43	0,95
Триптофан	0,674	1,535	0,468

Согласно представленным результатам (таблица 5) аминокислотный состав жмыхов исследуемых масличных культур представлен всеми незаменимыми аминокислотами, что свидетельствует об их высокой биологической ценности.

Таким образом, исходя из химического состава жмыхи масличных культур рапса, рыжика, сои являются перспективными для дальнейшего получения из них белковых препаратов.

3.2 Получение белковых препаратов из жмыхов масличных культур по традиционной технологии и оценка их количественного и качественного состава

Белки семян масличных культур неоднородны по составу. Различные части гетерогенной смеси могут содержать различные фракции этих белков, различающиеся по растворимости и аминокислотному составу. Белки масличных культур содержат альбумины, глобулины, глютелины и почти не содержат проламины [107].

Фракционный состав белков масличных культур современных сортов, районированных на территории Сибири, в литературных источниках не представлен. Но принадлежность рапса, рыжика и сои к одному ботаническому семейству позволяет сделать вывод об идентичности их фракционного состава белков.

Фракционный состав белков жмыхов масличных культур представлен в основном глобулинами, альбуминами и глютелинами. Эти фракции белков одновременно извлекаются из обезжиренного сырья водными растворами хлорида натрия в щелочной среде [108].

Соевый белок характеризуется высокой фракцией (до 50 %) водорастворимых альбуминов и солерастворимых глобулинов, которые во фракционном составе легче усваиваются организмом человека. В литературе установлено, что в 100 г белка семян сои содержится в среднем 6,5 г лизина, по 1,3 г метионина и цистина, 4,6 г треонина, 8,5 г лейцина, 5,2 г изолейцина, 5,2 г фенилаланина и тирозина, 5,6 г валина и 0,8 г триптофана по литературным данным [109].

Соевые белковые препараты по своему аминокислотному составу практически не уступают белкам животного происхождения. Лимитирующими аминокислотами в составе соевого белкового препарата являются метионин, цистин и лизин.

Традиционная технология получения белкового препарата из растительного сырья включает 5 этапов. Этапы получения белковых препаратов из жмыха масличных культур представлены на рисунке 2.

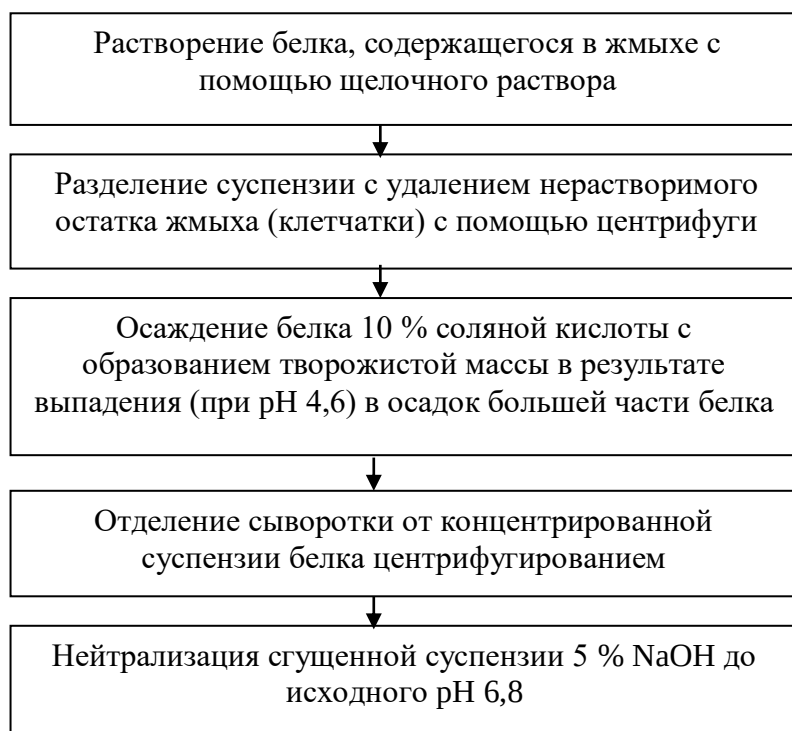


Рисунок 2 – Этапы получения белковых препаратов из жмыхов масличных культур

В ходе анализа литературных источников по проблеме эффективности извлечения растительных белков из жмыхов масличных культур была выбрана соле-щелочная экстракции как наиболее эффективная [107].

Обезжиривание жмыхов масличных культур осуществляли в автоматическом экстракторе VelpSer 148/6 по методу Сокслета, в качестве растворителя использовали петролейный эфир ЧДА [91].

Применение органических растворителей для обезжиривания жмыхов подразумевает дополнительные расходы на оборудование и реактивы, а белковый комплекс жмыха подвергается воздействиям, ускоряющим денатурацию молекул, снижение их пищевой ценности. В обезжиренных шротах могут содержаться остатки растворителя, а сам процесс экстракции является технологически небезопасным (пожароопасным и загрязняющим окружающую среду).

Остаточное содержание липидов при отжиге растительного масла из семян масличных культур, образует устойчивую эмульсию с белками. Из этого следует вывод об эффективности применения экстракции жмыха.

Для оценки эффективности применения данной технологии была проведена экстракция масла из исследуемых жмыхов масличных культур. На производствах промышленного белкового препарата можно использовать шрот масличных культур, так как после получения из них растительного масла методом экстракции его содержание в шроте составляет 1-2 %.

Выделение белкового препарата из масличных культур осуществляли при гидромодуле 1:20 и температуре 50 °С в течение 30 минут. Осаждали полученную белковую суспензию 1Н раствором соляной кислоты до изоэлектрической точки белка (рН-4,6). Полученную белковую суспензию отделяли на центрифуге Thermo Scientific SL16/16R при перегрузке 4G и оборотах 4500 об/мин в течение 15 минут. Полученную белковую пасту сушили в лиофильной сушилке в течение 24 часов [107].

Содержание воды в полученных белковых препаратах составляет: из рапса сорта «Культис» 4,17 %, из рыжика сорта «Ужурский» 5,09 %, из сои сорта «Зарница» 3,98 %, что свидетельствует о качественной лиофильной сушке.

Выход белковых препаратов из жмыхов масличных культур, составляет: для рапса сорта «Культис» 4,45 %, для рыжика сорта «Ужурский» 5,98 %, для сои сорта «Зарница» 7,74 %.

Содержание белка в полученных белковых препаратах представлено на рисунке 3.

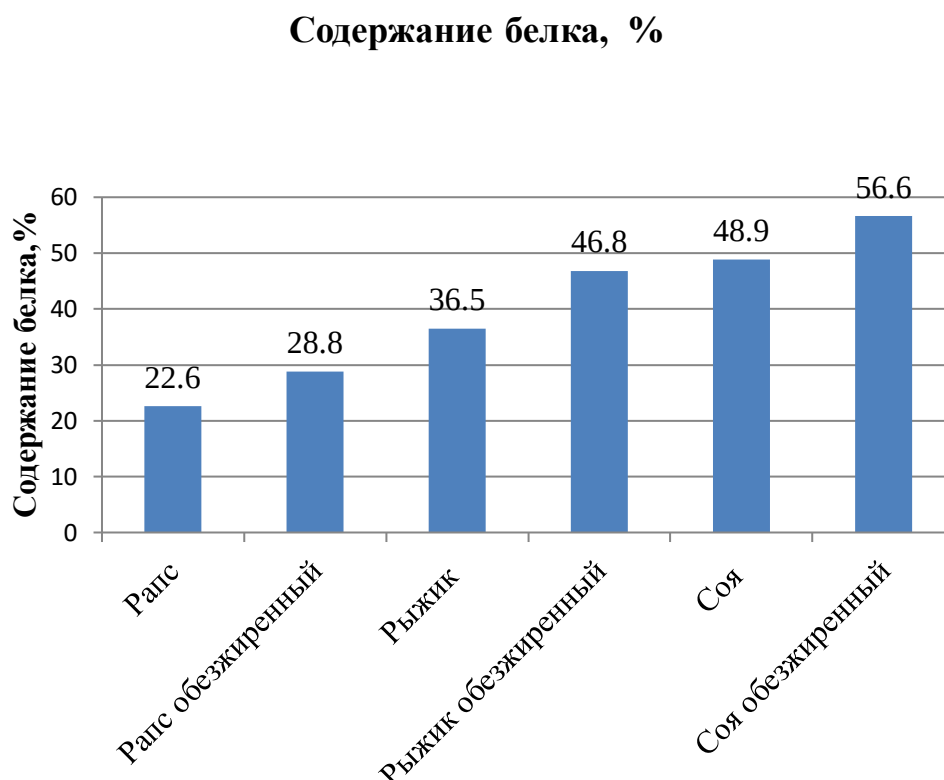


Рисунок 3 – Содержание белка в полученных белковых препаратах

Как видно из результатов, представленных на рисунке 3, повышение содержания белка в обезжиренном жмыхе исследуемых культур по сравнению с необезжиренным составило: для рапса 27,4 %, для рыжика 28,2 %, для сои 15,7 %. Из полученных данных следует, что при получении белковых препаратов из жмыхов масличных культур, необходимо проводить предварительное обезжиривание жмыхов.

Таким образом, для повышения эффективности производства белковых препаратов из масличных культур, необходимо разработать альтернативные методы удаления остаточного масла из жмыхов.

3.3 Технология получения белковых препаратов из жмыхов масличных культур методами биоконверсии с применением ферментных препаратов

Технология получения белкового препарата из жмыхов масличных культур включает шесть этапов, которые представлены на рисунке 4.

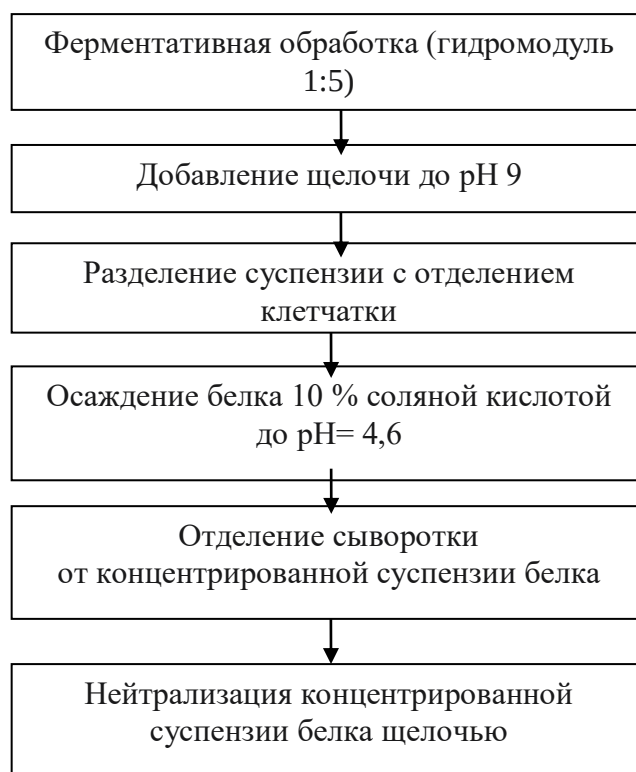


Рисунок 4 – Этапы получения белкового препарата из жмыхов масличных культур

Каждый из этих этапов играет важную роль в обеспечении высокой чистоты и качества конечного продукта – белкового препарата.

1. Ферментативная обработка: на этом этапе жмых, полученный после отжима масла, обрабатывается ферментным препаратом, который способствует расщеплению клеточных стенок и высвобождению белков. Оптимальные условия, такие как температура и продолжительность процесса, тщательно контролируются для достижения максимального выхода белка.

2. Разделение суспензии: после ферментативной обработки полученная суспензия проходит фильтрацию или отстаивание для удаления нерастворимых частиц и ненужных компонентов, что позволяет получить более чистый белковый раствор.

3. Осаждение белка: на этом этапе добавляется кислотный реагент для снижения pH до 4,6. При достижении изометрической точки белка он начинает

осаждаться, что позволяет отделить его от остальных компонентов суспензии.

4. Центрифугирование: полученный осадок белка отделяется от жидкой фазы с помощью центрифуги. Этот процесс способствует дальнейшему очищению белка и концентрации его в полученной пасте.

5. Нейтрализация: после центрифугирования белковая паста нейтрализуется до нейтрального pH, что делает продукт более стабильным и безопасным для употребления.

6. Лиофильное высушивание: завершающий этап включает лиофилизацию, при которой вода удаляется из белковой пасты при низких температурах и вакууме. Это позволяет сохранить структуру и функциональные свойства белка, а также увеличить срок хранения конечного продукта.

Эта многоступенчатая технология позволяет получить высококачественный белковый препарат, который может быть использован в пищевой промышленности, спортивном питании и других областях, где требуется добавление растительного белка.

3.4 Получение белковых препаратов из жмыхов масличных культур методами биоконверсии с применением ферментного препарата целлюлазного комплекса

Одним из основных компонентов в жмыхах масличных культур кроме белка является клетчатка, содержание которой составляет 10-13 %. Компонент клеточных стенок целлюлозы и гемицеллюлозы препятствует выходу как липидным (при отжиге масел), так и белковым компонентам клетки. В связи с чем, ферментом для повышения выхода растительного белка из жмыхов масличных культур был выбран фермент целлюлаза.

Для определения рациональных параметров проведения ферментативного гидролиза на основании предварительно проведенных экспериментальных исследований были выбраны концентрации ферментного препарата 0,004 %, 0,006 % и 0,008 %, продолжительность процесса гидролиза составляла 30 минут.

В таблице 6 представлены результаты по выходу белковых препаратов из обезжиренного и необезжиренного жмыхов масличных культур в зависимости от концентрации фермента целлюлазы.

Таблица 6 – Выход белковых препаратов из жмыха масличных культур в зависимости от концентрации фермента целлюлазы

Концентрация ферментного препарата, %	Выход белкового препарата, %					
	Рапс		Рыжик		Соя	
	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный
0,004	4,22	5,07	5,36	6,21	7,84	8,21
0,006	5,05	5,90	6,65	7,25	8,43	9,43
0,008	6,10	6,41	7,02	8,01	9,25	9,92

Из приведенных результатов (таблица 6) следует, что наибольший выход белкового препарата составил из обезжиренных жмыхов 5,07 % – 6,41 % у рапса, 6,21 % – 8,01 % у рыжика, 8,21 % – 9,92 % у сои), для необезжиренных 4,22 % – 6,10 % у рапса, 5,36 % – 7,02 % у рыжика, 7,84 % – 9,25 % у сои при различных концентрациях фермента.

Таблица 7 – Содержание белка в белковых препаратах из жмыхов масличных культур в зависимости от концентрации ферментного препарата целлюлазы

Концентрация ферментного препарата, %	Содержание белка, %					
	Рапс		Рыжик		Соя	
	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный
0,004	40,43	42,23	50,03	60,45	55,20	68,54
0,006	43,23	46,52	52,43	62,94	57,76	70,05
0,008	44,65	47,39	52,94	63,83	58,32	70,34

В таблице 7 приведено содержание белка в белковых препаратах из жмыхов масличных культур в зависимости от концентрации ферментного препарата целлюлазы.

Полученные результаты, приведенные в таблице 10, показали, что рациональной концентрацией фермента целлюлазы является 0,006 %. Выход

белка составил от 32 % до 40 %. При дальнейшем увеличении концентрации ферментного препарата до 0,008 % происходит незначительное увеличение содержания белка.

Для установления рациональной продолжительности процесса были выбраны вариации по продолжительности 30 минут, 60 минут и 90 минут, концентрация ферментного препарата составила 0,006 % [113].

Эксперимент проводили при гидромодуле 1:20, температуре 50 °С, так как эти параметры являются наиболее эффективными для проявления наибольшей активности данного фермента. Полученные результаты по выходу белкового препарата из жмыхов масличных культур в зависимости от продолжительности ферментативной обработки представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Выход белкового препарата из жмыхов масличных культур в зависимости от продолжительности обработки

Продолжительность, мин	Выход белкового препарата, %					
	Рапс		Рыжик		Соя	
	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный
30	5,05	5,90	6,65	7,25	8,43	9,43
60	6,15	6,34	7,32	8,43	9,67	10,09
90	6,56	7,11	7,78	8,93	10,15	10,85

Из полученных результатов (таблица 8) следует, что наибольший выход белкового препарата составил для обезжиренных жмыхов (5,90 % – 7,11 % у рапса, 7,25 % – 8,93 % у рыжика, 9,43 % – 10,85 % у сои), для необезжиренных (5,05 % – 6,56 % у рапса, 6,65 % – 7,78 % у рыжика, 8,43 % – 10,15 % у сои) при различной продолжительности ферментативной обработки.

Полученные данные по содержанию белка в белковых препаратах из жмыхов масличных культур в зависимости от продолжительности обработки представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Содержание белка в белковых препаратах из жмыхов масличных культур в зависимости от продолжительности обработки

Продолжительность, мин	Содержание белка, %					
	Рапс		Рыжик		Соя	
	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный
30	43,23	46,52	52,43	62,94	57,76	70,05
60	46,21	60,08	59,96	62,96	58,88	73,87
90	47,20	61,36	60,31	64,71	59,46	74,38

Результаты воздействия ферментного препарата и продолжительности обработки на содержание белка отличаются незначительно для рапса, рыжика и сои, но для обезжиренных жмыхов содержание белка значительно выше – около 30 % по сравнению с необезжиренным жмыхом. Наименьший выход белковых соединений наблюдается при продолжительности обработки 30 минут. При увеличении продолжительности обработки до 90 минут выход белков растет, но количественные отличия между продолжительностью 60 и 90 минут незначительны, поэтому для дальнейшей ферментативной обработки предлагается использовать продолжительность 60 минут [113].

По результатам исследования можно сделать вывод об эффективности применения ферментного препарата целлюлазы для извлечения белковых компонентов.

3.5 Получение белковых препаратов из жмыхов масличных культур методами биоконверсии с применением ферментного препарата пектиназного комплекса

В связи с тем, что жмыхи содержат пектиновые вещества, для их деструкции может использоваться фермент пектиназа, содержащая комплекс пектолитических ферментов и способствующая снижению остаточной масличности при экстракции белковых компонентов из жмыхов и соответственно приводящая к увеличению выхода белкового препарата при их получении.

Для определения рациональных параметров проведения ферментативного гидролиза на основании предварительно проведенных экспериментальных исследований были выбраны концентрации фермента 0,004 %, 0,006 % и 0,008 %, продолжительность процесса гидролиза составляла 30 минут. Выход белкового препарата из жмыхов масличных культур в зависимости от концентрации фермента пектиназы представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Выход белкового препарата из жмыхов масличных культур в зависимости от концентрации фермента пектиназы

Концентрация ферментного препарата, %	Выход белкового препарата, %					
	Рапс		Рыжик		Соя	
	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный
0,004	5,84	6,88	6,10	7,13	8,82	9,43
0,006	6,76	7,89	7,52	8,28	9,57	10,21
0,008	7,81	8,45	7,92	8,71	9,89	10,51

Результаты, приведенные в таблице 10, показали, что наибольший выход белкового препарата составил из обезжиренных жмыхов (6,88 % – 8,45 % у рапса, 7,13 % – 8,71 % у рыжика, 9,43 % – 10,51 % у сои), для необезжиренных (5,84 % – 7,81 % у рапса, 6,10 % – 7,92 % у рыжика, 8,82 % – 9,89 % у сои) при различных концентрациях фермента.

Таблица 11–Содержание белка в белковых препаратах из жмыхов масличных культур в зависимости от концентрации фермента пектиназы

Концентрация ферментного препарата, %	Содержание белка, %					
	Рапс		Рыжик		Соя	
	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный
0,004	39,34	51,93	38,43	51,54	54,21	59,43
0,006	42,51	53,55	39,98	53,24	55,46	60,88
0,008	42,98	54,09	41,51	54,19	57,01	61,32

Как следует из результатов таблицы 11, рациональной концентрацией фермента является 0,006 %. При дальнейшем увеличении концентрации фермента до 0,008 % происходит незначительное увеличение содержания белка. Наблюдается увеличение содержания белка у обезжиренных жмыхов по сравнению с необезжиренными жмыхами исследуемых культур: для рапса 16 %, для рыжика 20 %, для сои 20 %.

Для установления рациональной продолжительности процесса были выбраны вариации по продолжительности 30 минут, 60 минут и 90 минут, концентрация фермента составила 0,006 %.

Эксперимент проводили при гидромодуле 1:20, температуре 50 °С, так как эти параметры являются наиболее эффективными для проявления наибольшей активности данного фермента. Данные по выходу белкового препарата из жмыхов масличных культур от продолжительности обработки представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Выход белкового препарата из жмыхов масличных культур в зависимости от продолжительности ферментативной обработки

Продолжительность, мин	Выход белкового препарата, %					
	Рапс		Рыжик		Соя	
	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный
30	8,76	9,89	9,52	10,28	11,57	12,21
60	9,76	10,99	10,65	12,28	12,13	14,28
90	9,98	11,45	11,12	12,45	12,83	15,19

Из полученных результатов (таблица 12) следует, что выход белкового препарата составил: из обезжиренных жмыхов (9,89 % – 11,45 % у рапса, 10,28 % – 12,45 % у рыжика, 12,21 % – 15,19 % у сои), для необезжиренных (8,76 % – 9,98 % у рапса, 9,52 % – 11,12 % у рыжика, 11,57 % – 12,83 % у сои) при различной продолжительности ферментативной обработки.

Полученные данные по содержанию белка в белковых препаратах из жмыхов масличных культур представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Содержание белка в белковых препаратах из жмыхов масличных культур в зависимости от продолжительности ферментативной обработки

Продолжительность, мин	Содержание белка, %					
	Рапс		Рыжик		Соя	
	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный
30	42,51	53,55	39,98	53,24	55,46	60,88
60	46,20	60,07	39,96	51,96	58,88	63,87
90	47,20	61,36	41,31	53,71	59,46	64,38

Полученные результаты воздействия фермента пектиназы и продолжительности обработки имеют небольшие различия для рапса, рыжика и сои. Наименьший выход белковых соединений наблюдается при продолжительности обработки 30 минут. При увеличении продолжительности обработки до 90 минут выход белков возрастает, но отличия между продолжительностью 60 и 90 минут несущественны, поэтому для дальнейшей ферментативной обработки предлагается использовать продолжительность 60 минут. Содержание белка у обезжиренных жмыхов значительно выше для всех исследуемых культур [113].

По результатам исследования можно сделать вывод об эффективности применения фермента пектиназы для извлечения белковых компонентов.

3.6 Получение белковых препаратов из жмыхов масличных культур методами биоконверсии с применением композиции ферментного препарата

Для более эффективного воздействия ферментов имеет значение использование композиции ферментов одновременно, поэтому при проведении дальнейших исследований применяли композицию, состоящую из двух ферментов – целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1.

Эксперимент проводили при гидромодуле 1:20, температуре 50 °С, так как эти параметры являются наиболее эффективными для проявления наибольшей активности данных ферментов.

Для определения рациональных параметров проведения ферментативного гидролиза на основании предварительно проведенных экспериментальных исследований были выбраны концентрации ферментного комплекса 0,004 %, 0,006 % и 0,008 %, продолжительность процесса составляла 30 минут.

Данные по выходу белковых препаратов из жмыхов масличных культур в зависимости от концентрации ферментного препарата представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Выход белкового препарата из жмыхов масличных культур в зависимости от концентрации ферментного препарата

Концентрация ферментного препарата, %	Выход белка, %					
	Рапс		Рыжик		Соя	
	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный
0,004	5,32	7,76	7,20	9,76	9,89	12,56
0,006	5,43	8,60	7,40	9,90	10,82	13,43
0,008	6,43	9,90	8,10	10,13	11,87	14,67

Результаты, приведенные в таблице 14, показали, что наибольший выход белкового препарата составил из обезжиренных жмыхов (7,76 % – 9,90 % у рапса, 9,76 % – 10,13 % у рыжика, 12,56 % – 14,67 % у сои), для необезжиренных (5,32 % – 6,43 % у рапса, 7,20 % – 8,10 % у рыжика, 9,89 % – 11,87 % у сои) при различных концентрациях фермента.

Таблица 15 – Содержание белка в белковых препаратах из жмыхов масличных культур в зависимости от концентрации ферментного препарата

Концентрация ферментного препарата, %	Содержание белка, %					
	Рапс		Рыжик		Соя	
	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный
0,004	61,34	70,93	67,43	71,54	64,21	78,43
0,006	66,50	73,89	69,91	74,28	69,89	79,36
0,008	66,98	74,09	71,51	75,19	71,01	81,32

Данные по содержанию белка в белковых препаратах из жмыхов масличных культур в зависимости от концентрации ферментного препарата представлены в таблице 15.

Как видно из данных таблицы 15, рациональной концентрацией применения ферментного препарата для повышения содержания белка является 0,006 %. При дальнейшем увеличении концентрации ферментного препарата до 0,008 % происходит незначительное повышение общего содержания белка.

Для установления рациональной продолжительности процесса были выбраны вариации по продолжительности 30 минут, 60 минут и 90 минут, концентрация ферментного препарата составила 0,006 %

Эксперимент проводили при гидромодуле 1:20, температуре 50 °С, так как эти параметры являются наиболее эффективными для проявления наибольшей активности данного фермента. Выход белкового препарата из жмыхов масличных культур от продолжительности ферментативной обработки приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Выход белкового препарата из жмыхов масличных культур в зависимости от продолжительности ферментативной обработки

Продолжительность, мин	Выход белкового препарата, %					
	Рапс		Рыжик		Соя	
	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный
30	5,43	8,60	7,40	9,90	10,82	13,43
60	9,76	10,99	10,65	12,28	12,13	14,28
90	9,98	11,45	11,12	12,45	12,83	15,19

Из результатов таблицы 16 следует, что больший выход белкового препарата составил из обезжиренных жмыхов (8,60 % – 11,50 % у рапса, 9,90 % – 12,11 % у рыжика, 13,43 % – 15,31 % у сои), для необезжиренных (5,43 % – 7,90 % у рапса, 7,40 % – 9,92 % у рыжика, 10,82 % – 12,89 % у сои) при различной продолжительности процесса.

Полученные результаты по содержанию белка в белковых препаратах из жмыхов масличных культур при использовании композиции ферментов от продолжительности обработки представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Содержание белка в белковых препаратах из жмыхов масличных культур в зависимости от продолжительности обработки

Продолжительность, мин	Содержание белка, %					
	Рапс		Рыжик		Соя	
	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный	необезжиренный	обезжиренный
30	66,50	73,89	69,91	74,28	69,89	79,36
60	76,21	80,71	74,96	79,54	73,88	83,87
90	77,15	81,17	75,32	79,19	74,48	84,39

Полученные результаты воздействия ферментного препарата и продолжительности обработки имеют небольшие различия для рапса, рыжика и сои. Наименьший выход белковых соединений наблюдается при продолжительности обработки 30 минут. При увеличении продолжительности обработки до 90 минут выход белков возрастает, но отличия между продолжительностью 60 и 90 минут несущественны. Поэтому для дальнейшей ферментативной обработки предлагается использовать продолжительность 60 минут.

Таким образом, применение композиции ферментов целлюлазной и пектиназной (1:1) активности для извлечения белковых компонентов способствует большему их выходу. При использовании композиции ферментов выход белковых препаратов крестоцветных культур (рапс и рыжик) и сои увеличился на 30 % по сравнению с использованием фермента целлюлазы и на 28 % по сравнению с пектиназой.

3.7 Аминокислотный состав и биологическая ценность белковых препаратов

Для оценки качественного состава полученных белковых препаратов из жмыхов масличных культур: рапс сорта «Культис», рыжик сорта «Ужурский», сои сорта «Зарница» был определен их аминокислотный состав (таблица 18).

Таблица 18 – Аминокислотный состав белковых препаратах из жмыхов масличных культур

Наименование аминокислоты	Массовая доля аминокислот в белковых препаратах, %					
	Белковый препарат из необезжиренного жмыха рапса	Белковый препарат из обезжиренного жмыха рапса	Белковый препарат из необезжиренного жмыха рыжика	Белковый препарат из обезжиренного жмыха рыжика	Белковый препарат из необезжиренного жмыха сои	Белковый препарат из обезжиренного жмыха сои
Аргинин	6,53	6,95	2,76	4,63	5,63	4,35
Лизин	3,64	3,75	3,36	3,53	3,36	4,74
Тирозин	2,46	2,44	1,74	2,63	2,63	3,74
Фенилаланин	0,632	1,17	0,36	0,63	2,36	3,54
Гистидин	1,64	1,474	0,66	1,63	1,73	2,34
Лейцин+изолейцин	8,74	9,4	12,74	11,87	3,36	3,47
Метионин	1,35	1,54	2,74	2,74	0,74	1,22
Валин	3,64	3,74	2,36	2,74	2,32	2,74
Пролин	2,64	3,76	2,64	2,47	3,41	3,36
Треонин	2,64	1,74	3,34	3,74	2,15	2,74
Серин	2,75	5,46	3,74	4,54	3,76	4,47
Аланин	2,37	4,75	4,36	3,74	2,43	2,7
Глицин	2,74	4,75	1,85	1,88	2,73	3,74
Глутаминовая кислота+глутамин	9,46	4,535	10,84	6,25	11,73	12,74
Аспарагиновая кислота+аспаргин	5,74	2,351	5,37	4,43	8,47	8,74
Цистин	0,74	0,63	0,74	0,74	0,77	0,74
Триптофан	0,46	0,85	0,74	0,44	0,17	0,74

На основании данных в таблице 18 можно сделать вывод, что в аминокислотном составе белковых препаратов, полученных из жмыхов масличных культур, присутствуют все незаменимые аминокислоты.

Расчет показателей биологической ценности белка из жмыхов масличных культур проводился относительно состава идеального белка по шкале ФАО/ВОЗ (таблица 19) [115].

Таблица 19 – Аминокислотный состав эталонного белка

Наименование аминокислоты	Массовая доля аминокислоты, г/100 г эталонного белка
Валин	5,0
Изолейцин	4,0
Лейцин	7,0
Лизин	5,5
Метионин+цистин	3,5
Треонин	4,0
Фенилаланин+тирозин	6,0
Триптофан	1,0

Показателем биологической ценности белка является аминокислотный скор – отношение количества незаменимой аминокислоты в продукте к количеству такой же аминокислоты в идеальном белке.

Данные по аминокислотному скору белковых препаратов из жмыхов масличных культур представлена в таблице 20.

Таблица 20 – Аминокислотный скор белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Наименование аминокислоты	Белковый препарат из жмыха					
	рапсового		рыжикового		соевого	
	необезжиренного	обезжиренного	необезжиренного	обезжиренного	необезжиренного	обезжиренного
Валин	0,31	0,64	0,50	0,53	0,47	0,53
Изолейцин+лейцин	0,80	0,85	1,14	1,09	0,30	0,34
Лизин	0,56	0,57	0,55	0,56	0,72	0,80
Метионин+цистин	0,48	0,72	0,89	0,79	0,53	0,51

Продолжение таблицы 20

Наименование аминокислоты	Белковый препарат из жмыха					
	рапсового		рыжикового		соевого	
	необезжиренного	обезжиренного	необезжиренного	обезжиренного	необезжиренного	обезжиренного
Треонин	0,56	0,59	0,84	0,87	0,64	0,65
Фенилаланин + тирозин	0,47	0,63	0,33	0,36	0,96	1,10
Триптофан	0,43	0,42	0,41	0,42	0,18	0,13

Основные показатели биологической ценности белковых препаратов из жмыхов масличных культур из необезжиренного и обезжиренного жмыха с применением ферментного препарата приведены на рисунках 5-6.

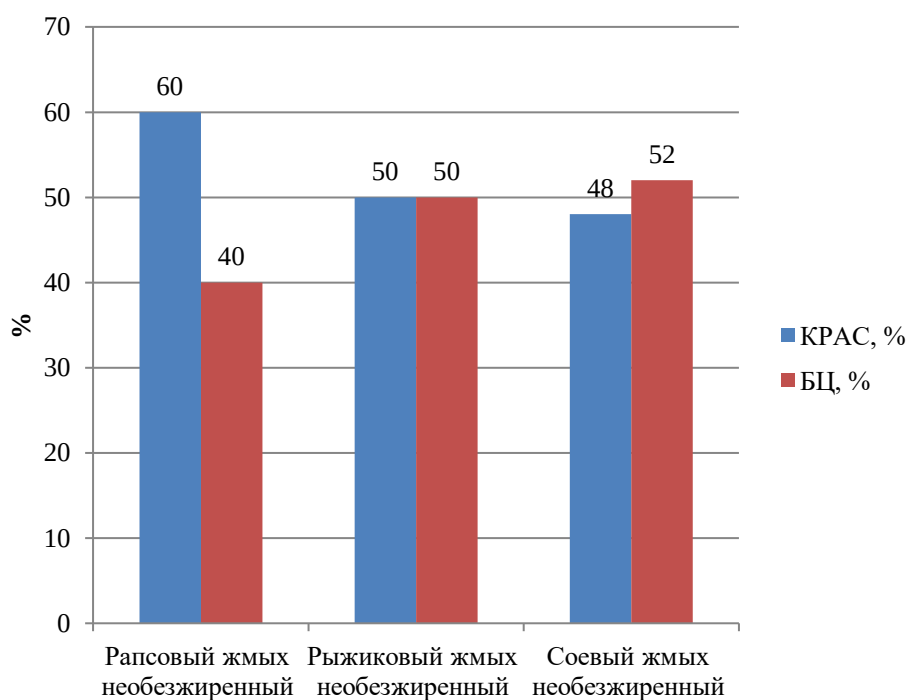


Рисунок 5 – Показатели биологической ценности белковых препаратах из необезжиренных жмыхов масличных культур

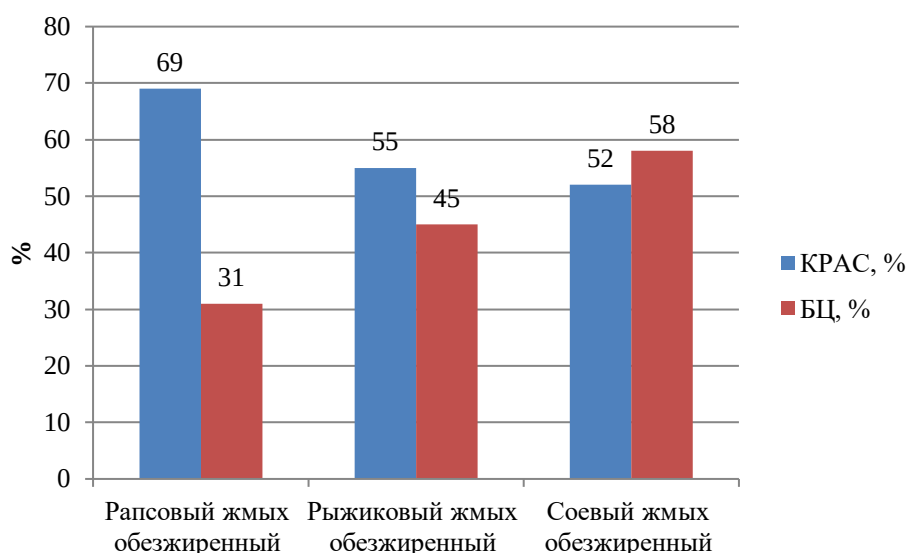


Рисунок 6 – Биологическая ценность белковых препаратов из обезжиренных жмыхов масличных культур

Оценка расчетных показателей биологической ценности белковых препаратов из жмыхов масличных культур, представленная на рисунках 5-6, показывает ее увеличение после ферментативной обработки, что свидетельствует о возможности и перспективности их для дальнейшего использования в качестве компонентов или как самостоятельного ингредиента в составе сухих белковых композитных смесей [117].

3.8 Безопасность белковых препаратов из жмыхов масличных культур

При производстве белковых препаратов из жмыхов масличных культур применяют особые требования к показателям безопасности [106].

Показатели безопасности устанавливаются в соответствии с действующим ТРТС 021/2011, с учетом отраслевой принадлежности белковых препаратов и концентратов – в части Приложения 1 и Приложения 2 (п.1.8 «концентраты растительных белков (пищевые)»), по гигиеническим требованиям безопасности – в части Приложения 3 ТРТС 021/2011 (п.9 «пищевой шрот и мук из семян бобовых, масличных и нетрадиционных культур») [118].

Показатели безопасности полученных белковых препаратов из жмыхов масличных культур приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Показатели безопасности белковых препаратов жмыхов масличных культур

Показатели	Допустимые уровни мг/кг, не более	Содержание, мг/кг		
		Белковый препарат рыжика	Белковый препарат рапса	Белковый препарат сои
Токсичны элементы				
Свинец	1,0	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01
Мышьяк	1,0	менее 0,025	менее 0,025	менее 0,025
Кадмий	0,2	менее 0,01	менее 0,01	менее 0,01
Ртуть	0,03	менее 0,0025	менее 0,0025	менее 0,0025
Микотоксины				
Афлатоксин В1	0,005	менее 0,001	менее 0,001	менее 0,001
Пестициды				
Гексахлорциклогексан (α,β,γ-изомеры)	0,4	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
ДДТ и его метаболиты	0,1	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено

Установлено, что по показателям безопасности белковые препараты из жмыхов масличных культур, соответствуют требованиям нормативной документации и могут быть использованы в качестве сырья в пищевой промышленности.

3.9 Разработка рецептуры комбикорма для годовика форели аквакультуры с добавлением белкового препарата

У аквакультуры была доказана постоянная взаимосвязь между потребностями в незаменимых аминокислотах и потреблением белка вплоть до уровня, необходимого для максимального роста. Для нескольких незаменимых аминокислот (триптофан, метионина) потребление и увеличение веса линейно связаны, и предполагалось, что эта взаимосвязь сохраняется для всех незаменимых аминокислот [127].

Рецептура комбикорма, разработанная для годовиков форели в аквакультуре, представляет собой сбалансированную смесь высококачественных ингредиентов, оптимизированную для обеспечения максимального роста и здоровья рыб. Белковая основа комбикорма состоит из экструдата пшеницы, рыжикового и рапсового масел и жмыхов, соевой и рыбной муки, а также белковых препаратов сои и рыжика. Этот комплекс обеспечивает полный спектр незаменимых аминокислот, необходимых для активного роста и развития.

Для обогащения питательными веществами и поддержания оптимального метаболизма в комбикорм добавлен премикс, включающий витаминную смесь, минеральную смесь, моновитамин (NaH₂PO₄), лизин, метионин и холина хлорид. Данный состав способствует укреплению иммунитета, улучшению усвояемости питательных веществ и общему поддержанию здоровья форели, а также обеспечивает повышение продукционных свойств кормов для аквакультуры, увеличение абсолютного, среднесуточного и месячного прироста годовика форели.

Рецептура комбикорма для годовиков форели аквакультуры представлена в таблице 22.

Таблица 22 – Рецепт комбикорма для годовиков форели

Наименования ингредиента	Масса, г
Экструдат пшеницы	17,6
Соевая мука	8,6
Рыбная мука	8,6
Рыжиковый жмых	15
Рапсовый жмых	12
Соевый жмых	8
Белковый препарат соевый	2
Белковый препарат рыжиковый	2,3
Рыбий жир	9
Рыжиковое масло	5
Рапсовое масло	4,4
Витаминная смесь	2,96
Минеральная смесь	0,68
Холина хлорид	0,5
Соевый лецитин	2,5

Продолжение таблицы 22

Наименования ингредиента	Масса, г
NaH ₂ PO ₄	0,49
Лизин	0,17
Метионин	0,2
Итого:	100

Как видно из таблицы 22, полученный комбикорм для годовиков форели аквакультуры содержит все необходимые компоненты для её интенсивного роста. Это, прежде всего, оптимальное соотношение белков, жиров и углеводов, а также комплекс витаминов и минералов, необходимых для поддержания здоровья и активного метаболизма рыб. Анализ аминокислотного состава белковых препаратов в составе рецептуры комбикорма подтверждает его высокую биологическую ценность и соответствие потребностям растущего организма форели [119].

Технология производства комбикорма предполагает тщательное смешивание всех компонентов с последующим гранулированием. Это обеспечивает однородность состава каждой гранулы, что, в свою очередь, гарантирует равномерное потребление питательных веществ каждой рыбой (Приложение Г).

3.10 Разработка рецептур кормовых добавок для сельскохозяйственной птицы из белковых препаратов

В настоящее время существует проблема в производстве качественного корма для сельскохозяйственной птицы из отходов масличного производства. Основным лимитирующим компонентом в рационе сельскохозяйственной птицы является белок.

Таким образом, разработка кормовой добавки с использованием растительного белка является актуальной задачей для эффективного использования вторичных ресурсов пищевой промышленности.

Были разработаны рецептуры кормовых добавок с использованием белкового препарата из жмыхов масличных культур, представленные в таблице 23. В качестве добавляемого ингредиента для кормовой добавки был выбран жмых масличных культур, после получения из них белковых препаратов, в котором содержится клетчатка, растительное масло (остаточная масличность до 16 %), макро-и микроэлементы, необходимые для сельскохозяйственной птицы.

Как видно из таблицы 23, полученные кормовые добавки содержат до 68 % белка, что является наиболее рациональным количеством в составе рациона для сельскохозяйственной птицы.

Таблица 23 – Рецептуры кормовых добавок с использованием белкового препарата из жмыхов масличных культур

Наименование ингредиента	Содержание в кормовой добавке, г/100г	Массовая доля белка, %	Массовая доля жира, %	Массовая доля клетчатки, %
Рецептура 1				
Рапсовый белковый препарат	92	74,35	1,23	2,37
Рапсовый жмых	8			
Рецептура 2				
Рыжиковый белковый препарат	92	63,64	1,08	1,97
Рыжиковый жмых	8			
Рецептура 3				
Соевый белковый препарат	92	67,09	1,01	2,16
Соевый жмых	8			

Для определения перевариваемости полученных кормов использовали методику, основанную на способности хлорфенольного раствора растворять органические вещества корма в такой же степени, в какой он переваривается в желудке животного [120].

Полученные значения перевариваемости кормовых добавок приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Перевариваемость кормовых добавок на основе белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Наименование рецептуры	Перевариваемость, % на а.с.м.
Рецептура 1	68,30
Рецептура 2	66,50
Рецептура 3	69,30
Сено	61,00

Как видно из таблицы 24, перевариваемость кормовых добавок выше перевариваемости сена для рецептуры 1 на 11,90 %, для рецептуры 2 на 9,01 %, для рецептуры 3 на 13,60 %, что подтверждает эффективность использования данных кормовых добавок в составе рациона для сельскохозяйственных животных.

3.11 Разработка и оценка качества белковых композитных сухих смесей на основе белковых препаратов из жмыхов масличных культур

В качестве добавляемого ингредиента для разработки СКБС был выбран рапсовый, рыжиковый и соевый лецитин.

На основании МР 2.3.1.0253-21 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации суточная норма потребления лецитина (холина) для взрослого населения составляет от 0,5 до 1 г.

Исходя из требований ГОСТ 33933-2016, предлагается рецептура СКБС (таблица 25).

У разработанных СКБС проводили оценку качественных характеристик в соответствии с ГОСТ 33933-2016 Продукты диетического лечебного и диетического профилактического питания. Смеси белковые композитные сухие. Общие технические условия [116].

Таблица 25 – Рецептуры белковых композитных сухих смесей на основе белковых препаратах

Наименование ингредиента	Содержание в СКБС, г/100г	Массовая доля белка, %	Массовая доля фосфолипидов, %	Рекомендуемая суточная норма потребления
Рецептура 1				
Рапсовый белковый препарат	92	73,60	8	7 г
Рапсовый лецитин	8			
Рецептура 2				
Рыжиковый белковый препарат	92	73,60	8	7 г
Рыжиковый лецитин	8			
Рецептура 3				
Соевый белковый препарат	92	73,60	8	7 г
Соевый лецитин	8			
Примечание: массовая доля белка определена исходя из усредненной концентрации белка в белковых препаратах – 80 %				

Результаты оценки качества полученных СКБС представлены в таблицах 27-26.

Таблица 26 – Химический состав белковых композитных сухих смесей на основе белковых препаратах

Наименование показателя	Значение показателя			
	Смеси белковые композитные сухие на основе белков молока и растительных белковых препаратах	Смеси белковые композитные сухие на основе белкового препарата рапса	Смеси белковые композитные сухие на основе белкового препарата рыжика	Смеси белковые композитные сухие на основе белкового препарата сои
Массовая доля белка, %*	от 40,0 до 75,0	72,25		
Массовая доля жира, %, в том числе	от 0 до 20,0	0		
ненасыщенных жирных кислот	от 0 до 10,0	0		
полиненасыщенных жирных кислот:				
линолевая кислота	от 0 до 1,6	0		
стеариновая кислота	от 0 до 10,0	0		

Продолжение таблицы 26

Наименование показателя	Значение показателя			
	Смеси белковые композитные сухие на основе белков молока и растительных белковых препаратах	Смеси белковые композитные сухие на основе белкового препарата рапса	Смеси белковые композитные сухие на основе белкового препарата рыжика	Смеси белковые композитные сухие на основе белкового препарата сои
Массовая доля фосфолипидов, %	от 0 до 8,0	8,0		
Массовая доля среднецепочечных жирных кислот, %	от 0 до 6,5	0		
Массовая доля влаги, %, не более	8,0	5,0		
Чистота восстановленного продукта, группа не ниже	1	1		
Содержание витаминов и минеральных веществ в суточной порции продукта, обогащенного витаминами и минеральными веществами или соответствующими премиксами, %, от нормы физиологической потребности в конкретном компоненте	от 15,0 до 50,0	Содержание лецитинов в рекомендуемой суточной порции – 50 % от нормы физиологической потребности		
Перекисное число, не более ммоль активного кислорода на 1 кг жира	4	2		
*для белков молока (казеина и/или белков сыворотки молока) используется коэффициент пересчета 6,38; для растительных белковых препаратах– 6,25; для смеси белков молока и растительных белковых препаратах– 6,25				

Таблица 27 – Органолептические показатели белковых композитных сухих смесей на основе белкового препарата

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид	Порошкообразные смеси. Допускается наличие легко рассыпающихся комочков
Цвет	Кремовый
Вкус и запах	Свойственный рапсовому, рыжиковому, соевому маслу. Без посторонних привкусов и запахов

Таким образом, по выявленным показателям (таблицы 27-26) качество полученной смеси белковых композитных сухих превосходит по органолептическим и физико-химическим показателям смеси белковых композитных сухих на основе молока, что делает их актуальными для использования в пищевой промышленности.

3.12 Оценка функционально-технологических свойств белкового препарата из жмыха рапса сорта «Культис»

Изучение функциональных характеристик белковых препаратов является важным этапом в процессе создания рецептур пищевых продуктов и выбора оптимальных технологических режимов обработки растительного сырья. Эти характеристики, такие как растворимость, эмульгирующая способность, гелеобразование и водоудерживающая способность, определяют не только текстуру и вкус конечного продукта, но и его питательные свойства.

Важным аспектом является также взаимодействие белковых препаратов с другими ингредиентами, что может влиять на стабильность и срок хранения продукта. Например, белковые препараты могут служить стабилизаторами эмульсий или пен, а также улучшать вязкость и кремообразность.

К тому же, изучение влияния различных условий обработки, таких как температура, pH и время нагрева, на функциональные свойства белковых препаратов может помочь в оптимизации технологического процесса. Это знание

позволяет не только создавать продукты с заданными характеристиками, но и повышать их биологическую ценность.

За величину влагосвязывающей способности (ВСС) принимали количество связавшейся влаги в процентах к общему объему внесенной при гидратации воды. Результаты исследований ВУС и ВСС белкового препарата из жмыха рапса сорта «Культис» при различном гидромодуле представлены в таблице 28.

Как видно из данных таблицы 28, при добавлении воды к белковому препарату в соотношении 1:1 и 1:2 наблюдалось полное поглощение влаги. При дальнейшем разведении количество отделившейся влаги увеличивалось, снижая показатели как влагосвязывающей, так и водоудерживающей способностей.

Таблица 28 – Внешний вид и показатели ВУС и ВСС белкового препарата при различном гидромодуле

Гидромодуль	Внешний вид	ВСС, % к общей влаге	ВУС, %
1:1	Недостаточно увлажненный комков	100	100
1:2	Густая масса	100	100
1:3	Наблюдается отделение воды после центрифугирования	74,9	94,3
1:4	Наблюдается отделение воды после центрифугирования	69,4	78,8
1:5	Наблюдается отделение воды после центрифугирования	55,1	59,3
1:6	Наблюдается отделение воды после центрифугирования	47,3	56,8
1:7	Наблюдается отделение воды после центрифугирования	36,4	50,1,7
1:8	Наблюдается отделение воды после центрифугирования	29,5	46,4
1:9	Наблюдается отделение воды после центрифугирования	28,4	37,7
1:10	Наблюдается отделение воды после центрифугирования	15,4	13,6

Взаимодействие белковых препаратов с жирами имеет большое значение. Жироудерживающая способность (ЖУС) характеризует способность абсорбировать и удерживать жир. Молекула белка удерживает жир на поверхности с помощью гидрофобных связей. То есть происходит захватывание,

связывание, и удерживание масла пористой молекулой белка [120]. Результаты исследования ЖУС белкового препарата рапса представлены на рисунке 7.

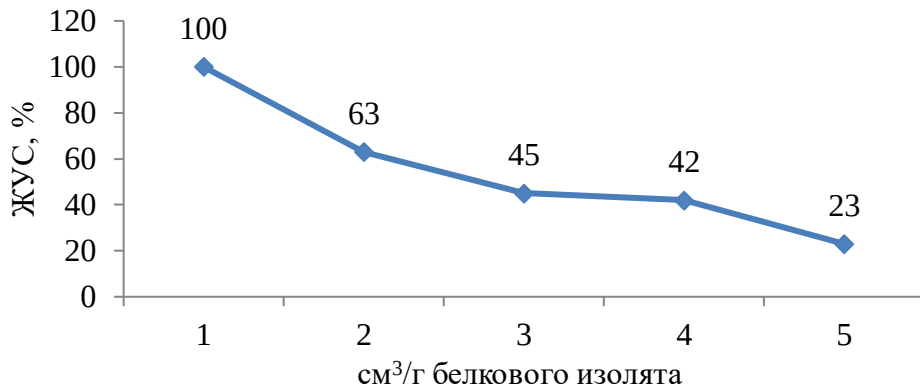


Рисунок 7– Жиросодержащая способность белкового препарата

Далее проводили оценку пенообразующей способности белкового препарата. Известны несколько факторов, влияющих на свойства пенообразования протеинов – внутренние (последовательность аминокислот, молекулярная масса, гидрофобность/гидрофильность, природа поверхностного белка, гибкость белка, электрические заряды и их распределение, и соотношение различных фракций белков) и внешние (рН, температура и взаимодействие с другими макромолекулами, концентрация самих белков) [120].

Как правило, изучают влияние внутренних факторов в сочетании с физико-химическими процессами, сопровождающими пенообразование конкретного белкового раствора, белковых препаратов. Пенообразующие и эмульгирующие свойства установлены у казеинатов, мономеров казеина и сывороточных белков, в большом разнообразии и применяемых в рецептурах пищевых продуктов. Пенообразование и стабильность пены в зависимости от рН среды белкового препарата рапса представлены на рисунке 8.

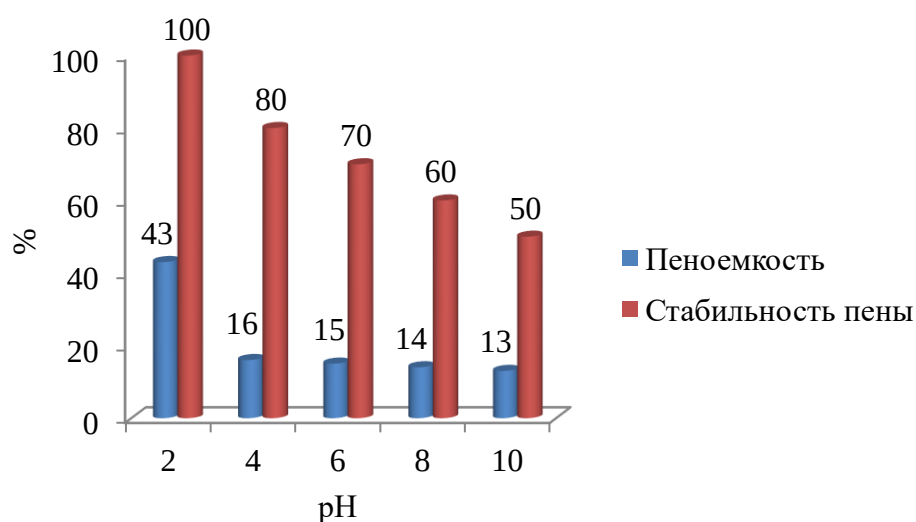


Рисунок 8 – Изменение пенообразования и стабильности пены белкового препарата в зависимости от pH среды

В результате проведенного исследования установлено, что снижение pH до 2 приводит к увеличению пеноемкости (на 30 %) и стабильности пены (на 50 %) по сравнению с pH 10 (рисунок 8). Известно, что массы, содержащие белок, проявляют максимальную пенообразующую способность в изоэлектрической точке, которая соответствует pH ниже 7. В этом аспекте белковые препараты являются предпочтительными в использовании для получения пенообразных масс.

Результаты исследования эмульгирующей способности и стабильности эмульсии белкового препарата рапса представлены на рисунке 9.

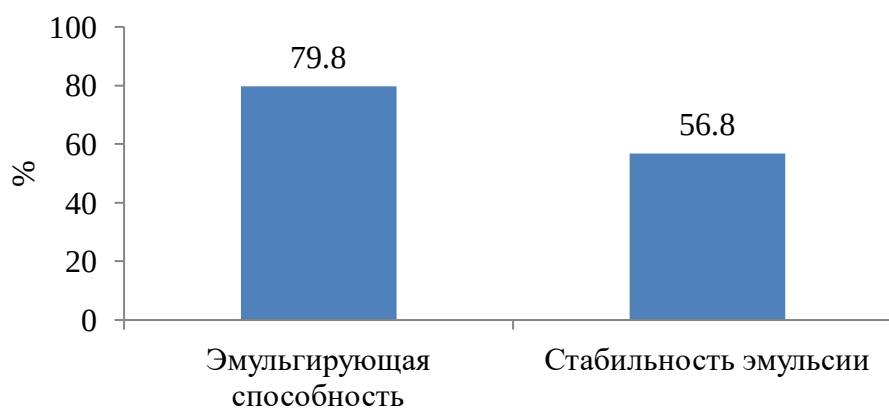


Рисунок 9 – Эмульгирующая способность и стабильности эмульсии белкового препарата

Продолжение таблицы 29

Сырье, г	Опытные образцы								
	Контрольный	Белковый препарат рапса, %				Белковый препарат рыжика, %			
		1	2	3	4	5	6	7	8
Перец черный молотый	0,1	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11
Соль поваренная	1,2	1,3	1,39	1,49	1,3	1,39	1,49	1,49	1,3
Вода питьевая	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Итого	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Сравнительная органолептическая оценка контрольного и опытных образцов приведена в профилограмме органолептического анализа на рисунке 10.

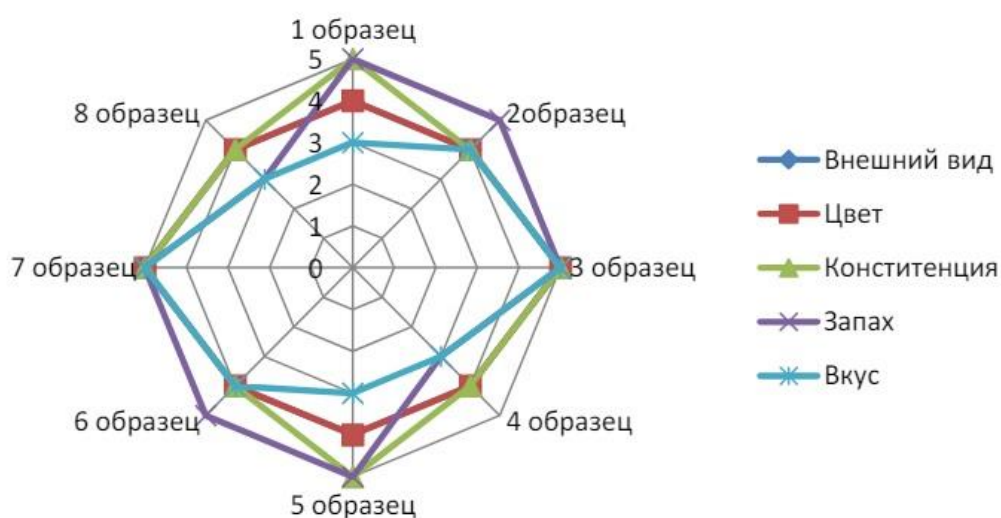


Рисунок 10 – Профилограмма органолептического анализа мясных рубленых полуфабрикатов

Из профилограммы органолептического анализа (рисунок 10) видно, что опытные образцы 3 и 7 с добавлением белкового препарата в количестве 3 % взамен мясного фарша являются по органолептическим показателям самыми лучшими.

Таблица 30 – Физико-химические качества котлет с добавлением белковых препаратов их жмыхов крестоцветных культур (рапс сорта «Культис» и рыжик сорта «Ужурский»)

Компонент, %	Образцы			Показатель по НД	НД
	Контрольный образец	С добавкой белкового препарата			
		рапсового	рыжикового		
Массовая доля белка	8,1±1,2	10,8±1,6	10,9±1,6	не менее 7,0	ГОСТ 32951
Массовая доля жира	9,5±0,04	9,5±0,04	9,5±0,04	не более 11	ТУ 9214-039-52115729
Массовая доля хлористого натрия	1,1±0,01	1,1±0,01	1,2±0,01	не более 1,8	ГОСТ 32951
Массовая доля общего фосфора (в пересчете на P ₂ O ₅)	0,1±0,01	0,1±0,01	0,1±0,01	не более 0,5	ГОСТ 3295

Как видно из таблицы 30, массовая доля белка увеличивается при добавлении белковых препаратов, остальные показатели остаются неизменными.

Таблица 31 – Пищевая безопасность исследуемых образцов рубленых полуфабрикатов

Показатель	Контрольный образец	С добавкой рапсового белкового препарата	С добавкой рыжикового белкового препарата	Норма
Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г	отсутствуют	отсутствуют	отсутствуют	не более $5 \cdot 10^6$
Бактерии группы кишечной палочки (колиформы) в 0,0001 г	отсутствуют	отсутствуют	отсутствуют	не допускаются
Плесень, КОЕ/г	отсутствуют	отсутствуют	отсутствуют	не более 500
Тяжелые металлы, мг/кг				
Свинец	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,5
Кадмий	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05
Ртуть	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,03

Пищевая безопасность исследуемых образцов представлена в таблице 31. Из данных, представленных в таблице 31, можно сделать вывод о безопасности полученных рубленых полуфабрикатов с добавлением белковых препаратов их жмыхов крестоцветных культур.

Таким образом, применение белковых препаратов жмыхов крестоцветных культур (рапс сорта «Культис» и рыжик сорта «Ужурский»), является перспективным в пищевой промышленности [106,122].

4 Технология производства белкового препарата из масличных культур

Разработана аппаратурно-технологическая схема получения белкового препарата из масличных культур, предусматривающая выход белкового препарата производительностью 2 тонны в сутки (рисунок 11).

В предлагаемой технологии предусмотрены несколько этапов, начиная с подготовки сырья и заканчивая финальной обработкой белкового препарата из жмыхов из масличных культур (рапс сорта «Культис», рыжик сорта «Ужурский», сои сорта «Зарница»).

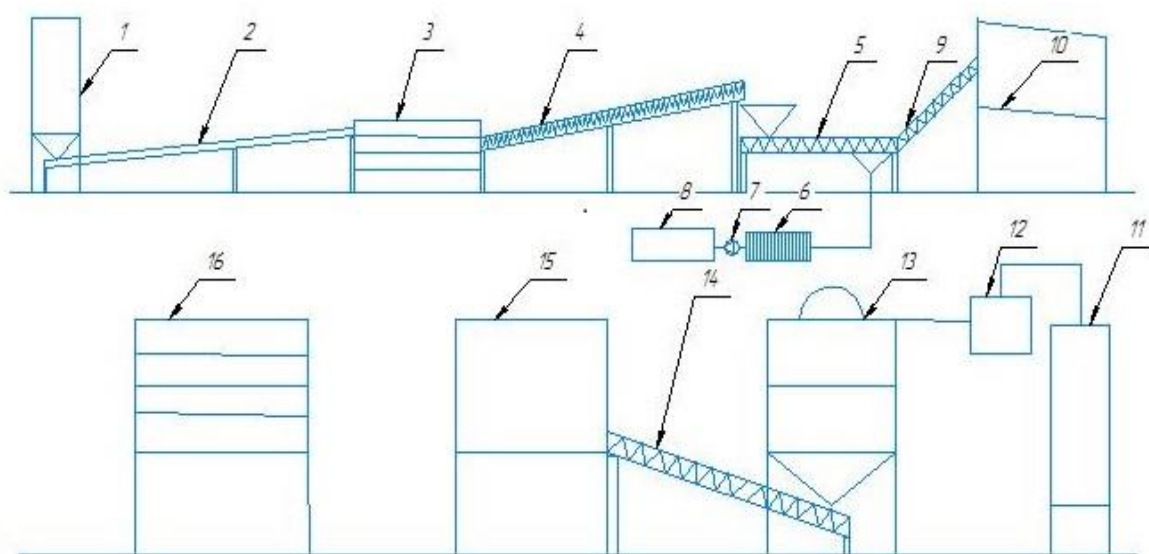


Рисунок 11 – Аппаратурно-технологическая схема получения белкового препарата из масличных культур

На первом этапе осуществляется загрузка в приемный бункер (БСП-10) и первичная обработка семян масличных культур включает в себя процесс очистки с использованием просеивающей машины (СМ-0.15М). Диаметры отверстий сита для масличных культур составляют: 3 мм для рапса, 2 мм для рыжика и 5 мм для сои. Выбор этих диаметров сита обусловлен размером семян масличных культур, для более эффективной очистки семян от сорных примесей. Затем следует извлечение масла из семян с использованием шнекового маслопресса (АР-10), производительностью 500 кг в час. Полученное масло идет на дальнейшую

фильтрацию через рамный фильтр (PF-4) и сбор в загрузочную емкость для масла. Далее полученный жмых охлаждается до температуры 50-60 °С, в колонне охлаждения (КОГ-2500).

Второй этап получения белкового препарата это обработка ферментным препаратом (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) полученного жмыха масличных культур в смесительном бункере (БС-4,4А) при температуре 50-60 °С в течение 60 минут. Затем белковая масса подвергается центрифугированию для удаления нерастворимых остатков и других примесей.

Третий этап включает распылительную сушку (AMDR-5), что способствует получению порошкообразного белкового препарата, удобного для хранения и транспортировки.

На каждом этапе технологического процесса осуществляется контроль, чтобы гарантировать высокие технологические характеристики и безопасность конечного продукта.

Четвертым этапом является упаковка белкового препарата в герметичные контейнеры, что обеспечивает его сохранность, и предотвращает потерю питательных свойств.

Перечень оборудования для производства белкового препарата представлен в таблице 32.

Таблица 32 – Перечень оборудования для производства белкового препарата из масличных культур

№	Наименование	Марка
1	Бункер загрузочный	БСП-10
2	Лента транспортерная	ТЛС-300
3	Просеивающая машина	СМ-0.15М
4	Шнековый транспортер	ТСШ-180П
5	Маслопресс	АР-10
6	Фильтр рамный	PF-4
7	Насос масляный	Petroll Lunar 40
8	Резервуар для масла	-
9	Шнековый транспортер	ТСШ-180П

Продолжение таблицы 32

№	Наименование	Марка
10	Колонка охлаждающая	КОГ-2500
11	Резервуар для кислоты	ПП-0,5
12	Дозатор	PPF-950T
13	Бункер смесительный	БС-4,4А
14	Шнековый транспортер	ТСШ-180П
15	Центрифуга	ЛЦ-40
16	Распылительная сушка	AMDR-5

Таким образом, предложенная аппаратурная технологическая схема обеспечивает эффективное и устойчивое производство белковых препаратов из масличных культур (рапс сорта «Культис», рыжик сорта «Ужурский», сои сорта «Зарница»), что открывает новые возможности для их применения в различных отраслях промышленности.

5 Математическое моделирование выхода белкового препарата из жмыхов масличных культур

5.1 Модель закономерности выхода белковых препаратов из масличных культур

Предварительный анализ системы ферментативной обработки жмыхов масличных культур, выполненный с помощью программного пакета DataFit системы Marle, выявил факторные и результатные показатели данной системы. Факторные показатели системы обработки определяют технологические условия и режимы процесса ферментативной обработки.

Полагаем, что показатель концентрации ферментного препарата (x_1 , %) варьируется в диапазоне 0,004...0,008 % и оценивается коэффициентом вариации 28,87 %, средним значением 0,006 % и стандартным отклонением 0,0017 %.

Показатель продолжительности процесса ферментативной обработки варьируется в диапазоне 30...90 мин, имеет коэффициент вариации 43,30 %, среднее значение 60 мин, стандартное отклонение 25,9808 мин.

Результатные показатели системы ферментативной обработки жмыхов масличных культур представлены в таблице 33.

Показатель выхода белкового препарата, из рапса необезжиренного (y_1 , %) варьируется в диапазоне 5,32...8,32 %, имеет коэффициент вариации 15,49 % при стандартном отклонении 1,0815 %.

Показатель выхода белкового препарата, из рапса обезжиренного (y_2 , %) варьируется в диапазоне 7,60...12,02 %, имеет коэффициент вариации 15,47 % при стандартном отклонении 1,5449 %.

Показатель выхода белкового препарата, из рыжика необезжиренного (y_3 , %) варьируется в диапазоне 7,20...10,06 %, имеет коэффициент вариации 13,01 % при стандартном отклонении 1,1354 %.

Показатель выхода белкового препарата, из рыжика обезжиренного (y_4 , %) варьируется в диапазоне 9,76...12,54 %, имеет коэффициент вариации 9,79 % при стандартном отклонении 1,0738 %.

Показатель выхода белкового препарата, из сои необезжиренной (y_5 , %) варьируется в диапазоне 9,89...13,04 %, имеет коэффициент вариации 9,77 % при стандартном отклонении 1,1496 %.

Показатель выхода белкового препарата, из сои обезжиренной (y_6 , %) варьируется в диапазоне 12,56...15,86 %, имеет коэффициент вариации 7,67 % при стандартном отклонении 1,1081 %.

Таблица 33 – Числовые оценки статистических характеристик показателей системы ферментативной обработки жмыхов масличных культур

Показатель	Концентрация препарата, %	Продолжительность обработки, мин.	Выход белка при ферментной обработке, %					
			рапс необезжиренный	рапс обезжиренный	рыжик необезжиренный	рыжик обезжиренный	соя необезжиренная.	соя обезжиренная
Обознач.	x_1	x_2	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6
Min	0,004	30	5,32	7,60	7,20	9,76	9,89	12,56
Ср. знач.	0,006	60	6,9833	9,9889	8,7244	10,9689	11,7644	14,4422
Max	0,008	90	8,32	12,02	10,06	12,54	13,04	15,86
Ст. откл.	0,0017	25,9808	1,0815	1,5449	1,1354	1,0738	1,1496	1,1081
Var, %	28,8675	43,3013	15,4868	15,4661	13,0142	9,7896	9,7721	7,6729
Ранг			1	3	2	4	5	6

Для исследования силы корреляционной зависимости группы факторных показателей $x = (x_1, x_2)$ с группой результатных показателей $y = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6)$ системы ферментативной обработки жмыхов масличных культур (рапс сорта «Культис», рыжик сорта «Ужурский», соя сорта «Зарница»), вычислим коэффициенты корреляции ρ_{ij} и проанализируем их близость к 0 и ± 1 (таблица 34).

Таблица 34 – Парные коэффициенты корреляции показателей системы ферментативной обработки из жмыхов масличных культур Correlation Matrix

Показатели		Концентрация ферментного препарата, %	Продолжительность обработки, мин	Выход белка при ферментативной обработке, %					
				рапс необезжиренный	рапс обезжиренный	рыжик необезжиренный	рыжик обезжиренный	соя необезжиренный	соя обезжиренный
Коэфф. корр.	ρ	x_1	x_2	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6
Концентр. фермент. препарата, %	x_1	1	0,0000	0,3230	0,7353	0,4805	0,5242	0,7533	0,7359
Продолж. экстрагир., мин	x_2	0,0000	1	0,7954	0,6054	0,7093	0,7554	0,5574	0,6148
рапс необезж.	y_1	0,3230	0,7954	1	0,8198	0,9650	0,9189	0,7892	0,7747
рапс обезж.	y_2	0,7353	0,6054	0,8198	1	0,9053	0,9163	0,9943	0,9794
рыжик необезж.	y_3	0,4805	0,7093	0,9650	0,9053	1	0,9708	0,8829	0,8460
рыжик обезж.	y_4	0,5242	0,7554	0,9189	0,9163	0,9708	1	0,8811	0,8650
соя необезж.	y_5	0,7533	0,5574	0,7892	0,9943	0,8829	0,8811	1	0,9822
соя обезж.	y_6	0,7359	0,6148	0,7747	0,9794	0,8460	0,8650	0,9822	1

Поскольку значимые коэффициенты корреляции факторных показателей $x=(x_1, x_2)$ с результатными показателями $y=(y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6)$ по абсолютной величине ограничены пределами от $|\rho(x_1, y_1)|=0.3230$ до $|\rho(x_2, y_1)|=0.7954$ – оказались далеки от 0 и ± 1 , то закономерности изменения $y=(y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6)$ в зависимости от $x=(x_1, x_2)$ являются нелинейными, поэтому можно ожидать, что общий вид уравнения регрессии содержит некоторые члены с регрессорами 2-й степени, например, x_1^2 , $\ln^2 x_2$, $x_1 \cdot \ln x_2$.

По физическому смыслу процесса существенная особенность имеется в точках с координатами $x_1 = c$, $x_2 = 0$, а существенно особая точка в нуле есть у

логарифмической функции по переменному x_2 . Этим и объясняется предположение о наличии регрессоров $\ln^2 x_2$ и $x_1 \cdot \ln x_2$ в уравнении регрессии и регрессионных функциях.

Для ранжирования влияния факторного показателя концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) ($x_1, \%$) на результативные показатели $y = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6)$ выхода белкового препарата воспользуемся абсолютной величиной коэффициента корреляции. На первом месте по силе корреляционной связи находится показатель выхода белкового препарата из жмыха сои сорта «Зарница» необезжиренной ($y_5, \%$) с коэффициентом корреляции $\rho(x_1, y_5) = 0.7533$. На втором месте — показатель выхода белкового препарата из жмыха сои сорта «Зарница» обезжиренной ($y_6, \%$) с коэффициентом $\rho(x_1, y_6) = 0.7359$. На третьем месте находится связь с показателем выхода белкового препарата из жмыхов рапса сорта «Культис» обезжиренного ($y_2, \%$), которая оценивается коэффициентом $\rho(x_1, y_2) = 0.7353$.

Аналогично выполним ранжирование влияния факторного показателя продолжительности процесса ферментативной обработки ($x_2, \text{мин}$) на результативных показателях $y = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6)$ выхода белкового препарата белка. На первом месте находится показатель выхода белкового препарата из жмыха рапса сорта «Культис» необезжиренного ($y_1, \%$) с коэффициентом $\rho(x_2, y_1) = 0.7954$. На втором месте — показатель выхода белкового препарата из жмыха рыжика сорта «Ужурский» обезжиренного ($y_4, \%$), с коэффициентом корреляции $\rho(x_2, y_4) = 0.7554$. На третьем месте находится показатель выхода белкового препарата из жмыхов рыжика сорта «Ужурский» необезжиренного ($y_3, \%$) с оценкой $\rho(x_2, y_3) = 0.7093$.

Поскольку в системе ферментативной обработки жмыхов масличных культур самая сильная корреляционная связь наблюдается между результативными, которая оценивается в пределах от $\rho(y_1, y_6) = 0.7747$ до $\rho(y_2, y_5) = 0.9943$, то можно

ожидать, что все исследуемые процессы выхода белкового препарата из жмыхов масличных культур (рапс сорта «Культис», рыжик сорта «Ужурский», сои сорта «Зарница») являются подобными. В этом случае, они задаются уравнением общего для них вида, но каждая закономерность со своими коэффициентами.

Таким образом, можно ожидать, что для всех рассмотренных видов жмыхов зависимость выхода белкового препарата от концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) и продолжительности ферментной обработки является существенно нелинейной, содержащей логарифмы продолжительности процесса до 2-й степени подтверждено в дальнейших исследованиях методом регрессионного анализа с использованием компьютерного пакета DataFit, табличного процессора MSExcel и пакета Statistics системы компьютерной математики Maple).

Модель закономерности выхода белкового препарата белка (y , %) при ферментативной обработке такого растительного сырья, как жмых масличных культур в зависимости от концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) (x_1 , %) и продолжительности процесса (x_2 , мин) представляется следующим уравнением регрессии (формула 5):

$$y = f(x_1, x_2) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot \ln x_2 + b_3 \cdot x_1^2 + b_4 \cdot \ln^2 x_2 + b_5 \cdot x_1 \cdot \ln x_2 \quad (5)$$

где $f(x_1, x_2)$ – регрессионная функция; $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ – коэффициенты регрессии, отыскиваемые методом наименьших квадратов;

$$\varepsilon_k = f(x_{k1}, x_{k2}) - y_k, \quad (6)$$

$$\delta_k = \frac{f(x_{k1}, x_{k2}) - y_k}{y_k} \cdot 100\% = \frac{\varepsilon_k}{y_k} \cdot 100\% \quad (7)$$

– отклонение и относительное отклонение поверхности отклика от опытных данных, причём их максимальные по абсолютной величине значения во всех узлах приняты, соответственно, за абсолютную и относительную погрешность в целом по системе узлов.

$$|\varepsilon| = \max_k |\varepsilon_k|, |\delta| = \max_k |\delta_k| \quad (8)$$

Адекватность модели установлена с помощью критерия Пирсона, значимость всех коэффициентов регрессии проверена по критерию Стьюдента (Госсета), а независимость остатков (отклонений) определена по критерию Дарбина-Ватсона с использованием компьютерного пакета корреляционно-регрессионного анализа. Коэффициент детерминации всех уравнений регрессии оказался выше 95 %, а относительная погрешность ниже 5 %.

В связи с этим, предложенная математическая модель, составленная из нескольких схем математического описания предметной области, может быть реализована на компьютере для теоретического исследования технологического процесса, а также практической оценки эффективности технологических решений.

Далее, полагаем $(\eta_{\text{sup}}, \%)$ – верхний уровень, $(\eta_{\text{inf}}, \%)$ – нижний уровень параметра $(\eta, \%)$, представляющего содержание жиров в сырье; $(f_{\text{sup}}, \%)$ – выход белковых препаратов из сырья с наибольшим содержанием жиров (из необезжиренного сырья), $(f_{\text{inf}}, \%)$ – выход белка из сырья с наименьшим содержанием жиров (из обезжиренного сырья), а через $(F = f_{\eta}, \%)$ обозначен выход белкового препарата из сырья, в котором общее содержание жиров составляет $\eta\%$.

Построим такую функцию трёх переменных

$$y = F(\eta, x_1, x_2) \quad (9)$$

что выполняются соотношения

$$F(\eta_{\text{sup}}, x_1, x_2) = f_{\text{sup}}(x_1, x_2), \quad F(\eta_{\text{inf}}, x_1, x_2) = f_{\text{inf}}(x_1, x_2), \quad (10)$$

$$F(\eta, x_1, x_2) = f_{\eta}(x_1, x_2)$$

Выполнив, с учётом указанных выше соотношений, интерполяцию по параметру η (таблица 35), получим искомую обобщающую формулу:

$$F(\eta, x_1, x_2) = \frac{f_{\text{sup}}(x_1, x_2) - f_{\text{inf}}(x_1, x_2)}{\eta_{\text{sup}} - \eta_{\text{inf}}} \cdot \eta - \frac{f_{\text{sup}}(x_1, x_2) \cdot \eta_{\text{inf}} - f_{\text{inf}}(x_1, x_2) \cdot \eta_{\text{sup}}}{\eta_{\text{sup}} - \eta_{\text{inf}}}. \quad (11)$$

Таблица 35 – Характеристика сырья и параметры для общей формулы выхода белкового препарата в процессе ферментной обработки жмыхов масличных культур

Сырьё растительное	Содержание жиров в растительном сырьё					
	$\eta_{sup}, \%$		$\eta_{inf}, \%$		$\eta_{ave}, \%$	
Рапс	необезжиренный	15.3	обезжиренный	1	средн.	8.15
Рыжик	необезжиренный	13.6	обезжиренный	1	средн.	7.30
Соя	необезжиренный	12.5	обезжиренный	1	средн.	6.75

5.2 Модель закономерности выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыха рапса сорта «Культис»

Схема определения выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыха рапса сорта «Культис» необезжиренного ($y, \%$) (общее содержание жира 15,3 %) в зависимости от концентрации ферментного препарата ($x_1, \%$) и продолжительности процесса ($x_2, \text{мин}$) на уровне детерминации 96.70 % представляется функцией (рисунок 12):

$$y = f_{\text{рапс}, 15.3}(x_1, x_2) = -25.19739539 + 909.4683388 \cdot x_1 + 13.16870778 \cdot \ln x_2 - 153333.3333 \cdot x_1^2 - 1.654404039 \cdot \ln^2 x_2 + 283.1592681 \cdot x_1 \cdot \ln x_2. \quad (12)$$

Данная регрессионная функция, уравнение и коэффициенты регрессии и получены методом наименьших квадратов с помощью компьютерного пакета DataFit системы Maple и в этом же пакете построена, поверхность отклика – график функции, отражающей раскрываемую закономерность.

Как видно из рисунка 12, при концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 % выход белкового препарата достигает максимального значения 8,3%, при концентрации 0,006 % – 6,6 %, при концентрации 0,004 % – 5,3 %. Наибольший выход белкового препарата при ферментативной обработке оставляет 8,3 % при концентрации препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 %.

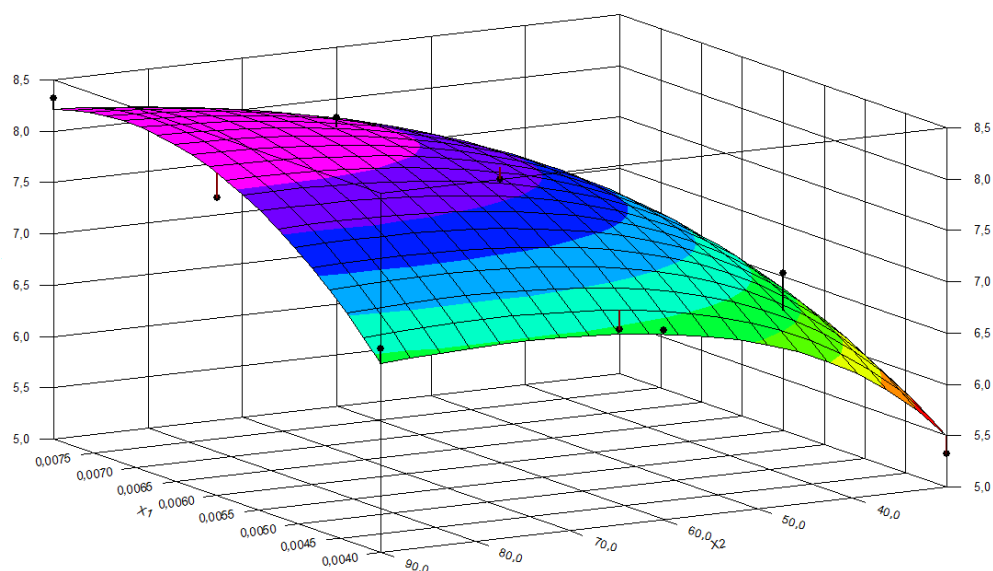


Рисунок 12 – Динамика выхода белкового препарата (y , %) из жмыха рапса необезжиренного при изменении концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) (x_1 , %) и продолжительности обработки (x_2 , мин)

Качество сглаживания экспериментальных данных оценивается абсолютной и относительной погрешностью. Относительная погрешность не превосходит 4,95 % (таблица 36).

Таблица 36 – Отклонение теоретически вычисленного значения выхода белкового препарата для рапсового жмыха необезжиренного от фактического полученного в серии опытов

Серия опытов	Концентрация ферментного препарата, %	Продолжительность обработки, мин	Фактический выход белка, %	Вычисленный выход белка %	Отклонение от фактического	Относительное отклонение, %
№	x_1	x_2	y	f	ε	δ
1	0,004	30	5,32	5,4905	0,1705	3,2041
2	0,004	60	6,84	6,8079	-0,0321	-0,4691
3	0,004	90	6,98	6,8416	-0,1384	-1,9824
4	0,006	30	6,49	6,1689	-0,3211	-4,9478
5	0,006	60	7,76	7,8789	0,1189	1,5321
6	0,006	90	7,90	8,1422	0,2422	3,0661
7	0,008	30	5,43	5,6207	0,1907	3,5111

Продолжение таблицы 36

Серия опытов	Концентрация ферментного препарата, %	Продолжительность обработки, мин	Фактический выход белка, %	Вычисленный выход белка %	Отклонение от фактического	Относительное отклонение, %
№	x_1	x_2	y	f	ε	δ
8	0,008	60	7,81	7,7232	-0,0868	-1,1115
9	0,008	90	8,32	8,2162	-0,1038	-1,2482
Min	0,0040	30,0000	5,3200	5,4905	-0,3211	-4,9478
Ср.	0,0060	60,0000	6,9833	6,9878	0,0044	0,1727
Max	0,0080	90,0000	8,3200	8,2162	0,2422	3,5111
Отклонение	0,0017	25,9808	1,0815	1,0614	0,1870	2,8613
Вариативность, %	28,8675	43,3013	15,4868	15,1888		

Из таблицы 36 следует, что оценки, получаемые с помощью предложенной схемы, практически несмещённые, поскольку в пределах выбранной точности фактическое и вычисленное значения выхода белкового препарата, соответственно, 6,9833 % и 6,9878 % не различаются, а среднее значение отклонений 0,0044 близко к нулю.

Следовательно, предложенная схема может быть использована для прогнозирования и оптимизации процесса ферментативной обработки жмыха рапса обезжиренного с гарантированной точностью 95 % (ошибка не более 5 % – принятый уровень значимости решений)

Схема определения выхода белкового препарата, при ферментативной обработке рапса обезжиренного (y , %) (общее содержание жира 1 %) в зависимости от концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) (x_1 , %) и продолжительности обработки (x_2 , мин) на уровне детерминации 97,61 % представляется функцией (рисунок 13):

$$y = f_{\text{панс},1}(x_1, x_2) = -19.75139986 + 1653.098001 \cdot x_1 + 9.821965731 \cdot \ln x_2 - 129583.3333 \cdot x_1^2 - 1.098675095 \cdot \ln^2 x_2 + 139.4878658 \cdot x_1 \cdot \ln x_2. \quad (13)$$

Из рисунка 13 видно, что при концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 % максимальный выход белкового препарата достигает значения 12,1 %, при концентрации 0,006 % –

8,7 %, при концентрации 0,004 % – 7,6 %. Наибольшее повышение выхода белкового препарата при ферментативной обработке составляет 12,1 % при концентрации препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 %.

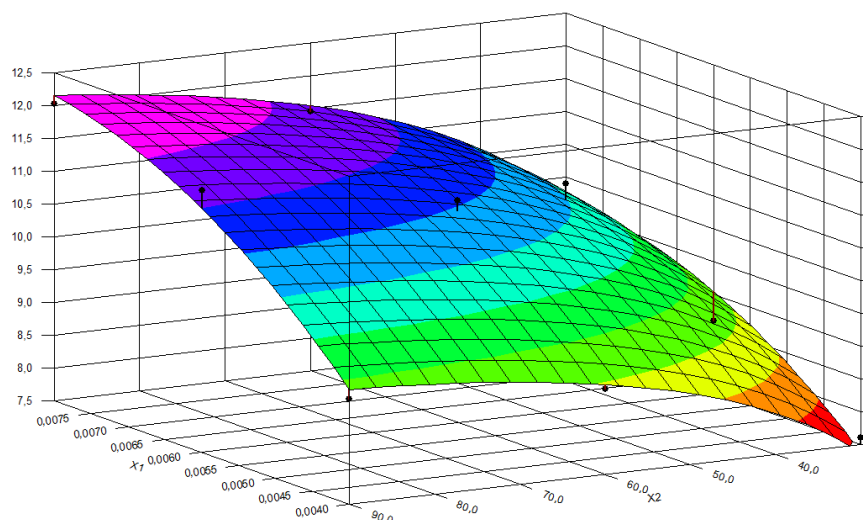


Рисунок 13 – Динамика выхода белкового препарата (y , %) из жмыха рапса обезжиренного при изменении концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) (x_1 , %) и продолжительности обработки (x_2 , мин)

Качество сглаживания опытных данных оценивается абсолютной и относительной погрешностью. Относительная погрешность не превосходит 4,70 % (таблица 37).

Таблица 37 – Отклонение теоретически вычисленного значения выхода белкового препарата для жмыха рапса сорта «Культис» обезжиренного от фактического полученного в серии опытов

Серия опытов	Концентрации ферментного препарата, %	Продолжительность обработки, мин	Фактический выход белка, %	Вычисленный выход белка %	Отклонение от фактического	Относительное отклонение, %
№	x_1	x_2	y	f	ε	δ
1	0,004	30	7,6000	7,3822	-0,2178	-2,8661
2	0,004	60	8,8000	8,8688	0,0688	0,7819
3	0,004	90	9,1000	9,2490	0,1490	1,6376
4	0,006	30	8,6400	9,0456	0,4056	4,6939
5	0,006	60	10,8900	10,7256	-0,1644	-1,5100
6	0,006	90	11,5000	11,2189	-0,2811	-2,4444

Продолжение таблицы 37

Серия опытов	Концентрация ферментного препарата, %	Продолжительность обработки, мин	Фактический выход белка, %	Вычисленный выход белка %	Отклонение от фактического	Относительное отклонение, %
№	x_1	x_2	y	f	ε	δ
7	0,008	30	9,9000	9,6723	-0,2277	-2,3003
8	0,008	60	11,4500	11,5456	0,0956	0,8353
9	0,008	90	12,0200	12,1521	0,1321	1,0989
Min	0,0040	30,0000	7,6000	7,3822	-0,2811	-2,8661
Ср.	0,0060	60,0000	9,9889	9,9844	-0,0044	-0,0081
Max	0,0080	90,0000	12,0200	12,1521	0,4056	4,6939
Отклонение	0,0017	25,9808	1,5449	1,5307	0,2300	2,4747
Вариативность, %	28,8675	43,3013	15,4661	15,3313		

Результаты, представленные в таблице 37 3737свидетельствуют, что оценки, получаемые с помощью предложенной схемы, имеют незначительное смещение, поскольку фактическое и вычисленное значения выхода белка, соответственно, 9,9889 % и 9,9844 % почти совпадают, а среднее значение отклонений -0,0044 близко к нулю.

Следовательно, предложенная схема может быть использована для прогнозирования и оптимизации процесса ферментативной обработки жмыха рапса сорта «Культис» обезжиренного с гарантированной точностью 95 %.

Общая схема определения выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыха рапса сорта «Культис» (y , %) с содержанием жиров (η , %), в зависимости от концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) (x_1 , %) и продолжительности обработки (x_2 , мин), представляется функцией (рисунки 14-15).

$$\begin{aligned}
 y = F_{\text{рапс}}(\eta, x_1, x_2) = & -0.3808388483 \cdot \eta - 19.37056101 + \\
 & + (-52.00207428 \cdot \eta + 1705.100076) \cdot x_1 + (0.2340379055 \cdot \eta + 9.587927825) \cdot \ln x_2 + \\
 & + (-1660.839161 \cdot \eta - 127922.4941) \cdot x_1^2 + (-0.03886216392 \cdot \eta - 1.059812931) \cdot \ln^2 x_2 +
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

$$+(10.04695121 \cdot \eta + 129.4409146) \cdot x_1 \cdot \ln x_2.$$

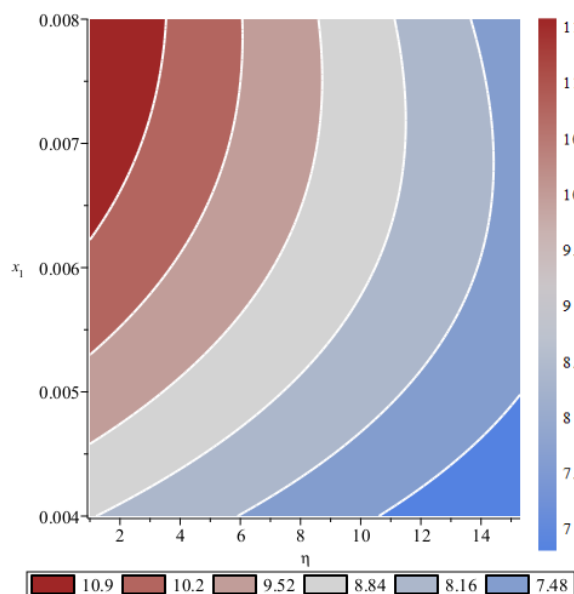


Рисунок 14 – Линии уровня процесса выхода белкового препарата в зависимости от содержания жира (η , %) и концентрации ферментного препарата (x_1 , %) при средней продолжительности обработки $x_2 = 60$ мин

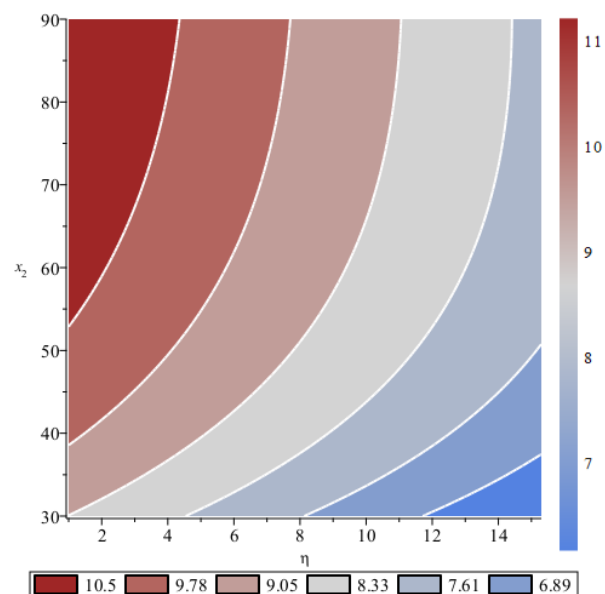


Рисунок 15 – Линии уровня процесса выхода белкового препарата в зависимости от содержания жира (η , %) и продолжительности обработки (x_2 , мин) при средней концентрации ферментного препарата $x_1 = 0.006$ %

Изменение функции $y = F_{\text{пак}}(\eta, x_1, x_2)$ изображается интенсивностью закрашивания областей, расположенных между линиями уровней $F_{\text{пак}}(\eta, x_1, x_2) = \text{Const}$.

Область эффективности, соответствующая наибольшему выходу белкового препарата при различных сочетаниях факторов, расположена в левом верхнем углу (на обеих диаграммах).

Таким образом, при среднем содержании жиров максимальный выход белкового препарата 10.1839 % достигается при концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 % и продолжительности процесса 90 мин. (таблица 38).

Поскольку предложенная схема построена из двух схем с гарантированной точностью 95 %, то она также может быть использована для прогнозирования и

оптимизации процесса ферментативной обработки жмыха рапса сорта «Культис», содержащего 5 % жиров, с гарантированной точностью 95 %.

Таблица 38 – Прогнозирование выхода белкового препарата из жмыха рапса сорта «Культис» в зависимости от содержания жиров, концентрации ферментного препарата и продолжительности обработки

Вариант	Содержание жиров, %	Концентрация ферментного. препарата, %	Продолжительность ферментной обработки, мин	Вычислительный выход белкового препарата, %
№	η	x_1	x_2	F
1	8,15	0,004	30	6,4361
2	8,15	0,004	60	7,8382
3	8,15	0,004	90	8,0452
4	8,15	0,006	30	7,6070
5	8,15	0,006	60	9,3021
6	8,15	0,006	90	9,6804
7	8,15	0,008	30	7,6462
8	8,15	0,008	60	9,6342
9	8,15	0,008	90	10,1839

Далее, выполним оптимизацию процесса ферментативной обработки жмыха рапса сорта «Культис». Пусть $N=1...15.3$ – диапазон содержания жиров; $X_1=0.004...0.008\%$ – диапазон концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1); $X_2=30...90 \text{ мин}$ – диапазон продолжительности процесса ферментативной обработки. Здесь $\Omega=N \times X_1 \times X_2$ – замкнутая область изменения тройки переменных (η, x_1, x_2) , полученная декартовым произведением. Тогда функция $y=F_{\text{панс}}(\eta, x_1, x_2)$ достигает, соответственно, наибольшего и наименьшего значения внутри или на границе замкнутой области Ω :

$$\sup_{\Omega} F_{\text{панс}}(\eta, x_1, x_2) = 12.15208930 \text{ в точке с координатами } (1, 0.008, 90), \quad (15)$$

$$\inf_{\Omega} F_{\text{панс}}(\eta, x_1, x_2) = 5.490457754 \text{ в точке с координатами } (15.3, 0.004, 30)$$

Таким образом, для получения теоретически оптимального выхода белкового препарата белка, достигающего 12.15208930% необходимо выбрать

сырьё с содержанием жиров $\eta = 1\%$, установить концентрацию ферментного препарата $x_1^* = 0.008\%$ и продолжительность процесса $x_2^* = 90 \text{ мин}$.

5.3 Модель закономерности выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыхов рыжика сорта «Ужурский».

Схема определения выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыха рыжика сорта «Ужурский» необезжиренного ($y, \%$) (общее содержание жира $13,6\%$) в зависимости от концентрации ферментного препарата ($x_1, \%$) и продолжительности обработки ($x_2, \text{мин}$) на уровне детерминации $98,41\%$ представляется функцией (рисунок 16):

$$y = f_{\text{рыжик}, 13,6}(x_1, x_2) = -20.61729501 + 846.8499281 \cdot x_1 + 11.77904191 \cdot \ln x_2 - 170833.3333 \cdot x_1^2 - 1.564877039 \cdot \ln^2 x_2 + 379.6845947 \cdot x_1 \cdot \ln x_2 \quad (16)$$

Для построения регрессионной функции и тестирования уравнения регрессии использованы пакеты DataFit и Statistics системы Maple.

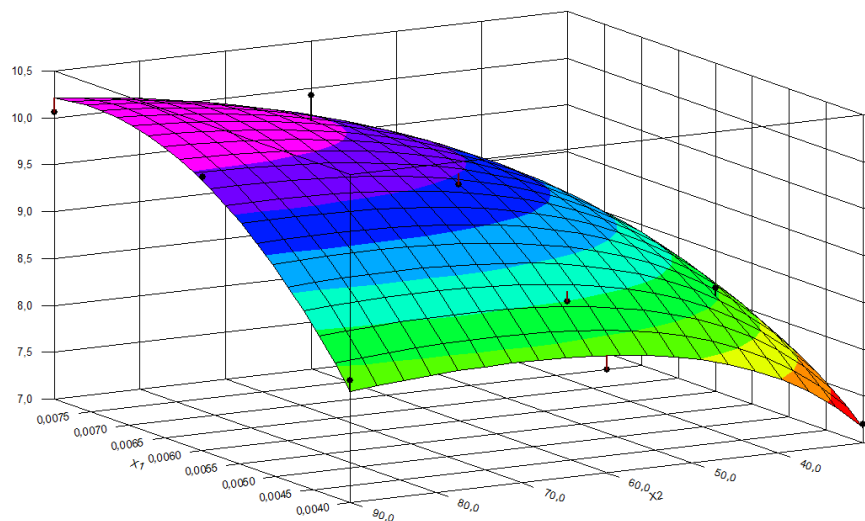


Рисунок 16 – Динамика выхода белкового препарата ($y, \%$) из жмыха рыжика необезжиренного при изменении концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) ($x_1, \%$) и продолжительности обработки ($x_2, \text{мин}$)

Из рисунка 16 следует, что при концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 % максимальный выход белкового препарата достигает значения 10,1 %, при концентрации 0,006 % – 8,1 %, при концентрации 0,004 % – 7,2 %. Наибольшее повышение выхода белкового препарата при ферментативной обработке составляет 10,1 % при концентрации препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 %.

Качество сглаживания опытных данных оценивается абсолютной и относительной погрешностью. Относительная погрешность не превосходит 2,68 % (таблица 39).

Таблица 39 – Отклонение теоретически вычисленного значения выхода белкового препарата для жмыха рыжика сорта «Ужурский» необезжиренного от фактического полученного в серии опытов

Серия опытов	Концентрации ферментного препарата, %	Продолжительность обработки, мин	Фактический выход белка, %	Вычисленный выход белка %	Отклонение от фактического	Относительное отклонение, %
№	x_1	x_2	y	f	ε	δ
1	0,004	30	7,20	7,1624	-0,0376	-0,5219
2	0,004	60	8,10	8,2494	0,1494	1,8445
3	0,004	90	8,30	8,1882	-0,1118	-1,3473
4	0,006	30	8,10	8,0222	-0,0778	-0,9602
5	0,006	60	9,52	9,6356	0,1156	1,2138
6	0,006	90	9,92	9,8822	-0,0378	-0,3808
7	0,008	30	7,40	7,5154	0,1154	1,5588
8	0,008	60	9,92	9,6550	-0,2650	-2,6710
9	0,008	90	10,06	10,2096	0,1496	1,4871
Min	0,0040	30,0000	7,2000	7,1624	-0,2650	-2,6710
Ср.	0,0060	60,0000	8,7244	8,7244	0,0000	0,0248
Max	0,0080	90,0000	10,0600	10,2096	0,1496	1,8445
Отклонение	0,0017	25,9808	1,1354	1,1264	0,1427	1,5732
Вариативность, %	28,8675	43,3013	13,0142	12,9110		

Несмещённость оценок, получаемых с помощью предложенной схемы, следует из равенства средних значений фактического и вычисленного выхода

белкового препарата, а именно 8,7244 %, а также основывается на близости нулю среднего значения отклонений 0,0000.

Следовательно, предложенная схема может быть использована для прогнозирования и оптимизации процесса ферментативной обработки жмыха рыжика сорта «Ужурский» необезжиренного с гарантированной точностью 95 % (с ошибкой не более 5 %).

С помощью компьютерного пакета Statistics системы Maple выполнил оптимизацию процесса ферментативной обработки жмыха рыжика сорта «Ужурский» необезжиренного в исследуемой области. Пусть $X_1 = 0.004...0.008\%$ – диапазон концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1); $X_2 = 30...90 \text{ мин}$ – диапазон продолжительности ферментативной обработки; $\Omega = X_1 \times X_2$ – замкнутая область изменения пары переменных (x_1, x_2) . Тогда функция $f_{\text{рыжик}, 13.6}(x_1, x_2)$ достигает, соответственно, наибольшего и наименьшего значения внутри или на границе замкнутой области Ω :

$$\sup_{\Omega} f_{\text{рыжик}, 13.6}(x_1, x_2) = 10.25595934 \text{ в точке } x_{\text{sup}}^* = (0.007479097572, 90), \quad (17)$$

$$\inf_{\Omega} f_{\text{рыжик}, 13.6}(x_1, x_2) = 7.162424547 \text{ в точке } x_{\text{inf}}^* = (0.004, 30.)$$

Таким образом, для получения теоретически оптимального выхода белкового препарата, достигающего 10.25595934 % необходимо установить концентрацию ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) $x_1^* = 0.007479097572\%$ и продолжительность процесса $x_2^* = 90 \text{ мин}$.

Схема определения выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыха рыжика сорт «Ужурский» обезжиренного ($y, \%$) (общее содержание жира 1%) в зависимости от концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) ($x_1, \%$) и продолжительности процесса ферментативной обработки ($x_2, \text{мин}$) на уровне детерминации 97,38 % представляется функцией (рисунок 17):

$$y = f_{\text{рыжик}, 1}(x_1, x_2) = 5.985236995 - 372.2670023 \cdot x_1 + 1.004228146 \cdot \ln x_2 - \quad (18)$$

$$-76666.66667 \cdot x_1^2 - 0.2184388936 \cdot \ln^2 x_2 + 404.4734296 \cdot x_1 \cdot \ln x_2$$

Из рисунка 17 видно, что при концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 % максимальный выход белкового препарата достигает значения 12,6 %, при концентрации 0,006 % – 10,3 %, при концентрации 0,004 % – 9,7 %. Наибольшее повышение выхода белкового препарата при ферментативной обработке составляет 12,6 % при концентрации препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 %.

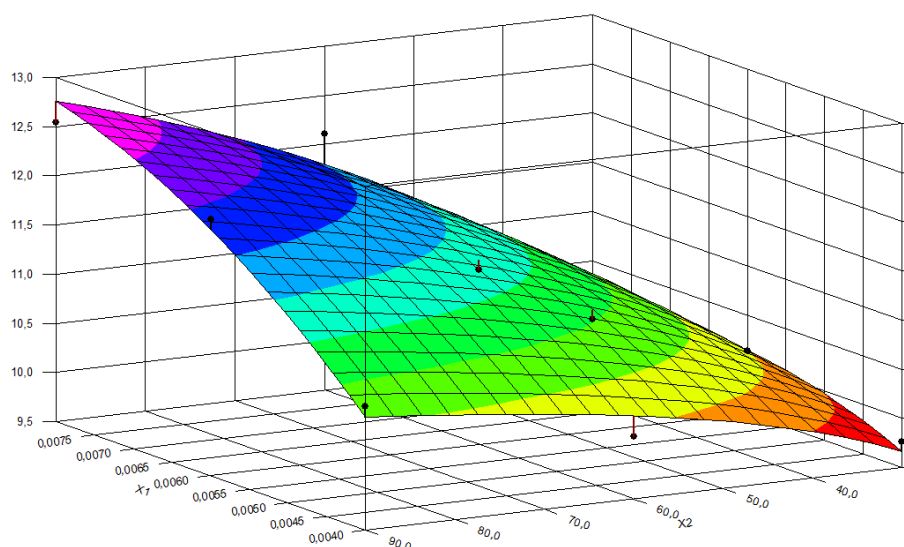


Рисунок 17 – Динамика выхода белкового препарата (y , %) из жмыха рыжика обезжиренного при изменении концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) (x_1 , %) и продолжительности обработки (x_2 , мин)

Качество сглаживания опытных данных оценивается абсолютной и относительной погрешностью. Относительная погрешность не превосходит 2,58 % (таблица 40).

Несмещённость оценок, получаемых с помощью предложенной схемы, следует из равенства средних значений фактического и вычисленного выхода белкового препарата белка, а именно 10,9689 %, а также основывается на близости нулю среднего значения отклонений 0,0000.

Следовательно, предложенная схема может быть использована для прогнозирования и оптимизации процесса ферментативной обработки жмыха рыжика сорта «Ужурский» обезжиренного с гарантированной точностью 95 %.

Таблица 40 – Отклонение теоретически вычисленного значения выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыха рыжика сорта «Ужурский» обезжиренного от фактического полученного в серии опытов

Серия опытов	Концентрация ферментного препарата, %	Продолжительность обработки, мин	Фактический выход белка, %	Вычисленный выход белка %	Отклонение от фактического	Относительное отклонение, %
№	x_1	x_2	y	f	ε	δ
1	0,004	30	9,76	9,6609	-0,0991	-1,0151
2	0,004	60	10,13	10,3435	0,2135	2,1080
3	0,004	90	10,76	10,6455	-0,1145	-1,0638
4	0,006	30	10,13	10,1344	0,0044	0,0439
5	0,006	60	11,28	11,3778	0,0978	0,8668
6	0,006	90	12,11	12,0078	-0,1022	-0,8441
7	0,008	30	9,90	9,9946	0,0946	0,9559
8	0,008	60	12,11	11,7987	-0,3113	-2,5707
9	0,008	90	12,54	12,7567	0,2167	1,7279
Min	0,0040	30,0000	9,7600	9,6609	-0,3113	-2,5707
Ср.	0,0060	60,0000	10,9689	10,9689	0,0000	0,0232
Max	0,0080	90,0000	12,5400	12,7567	0,2167	2,1080
Отклонение	0,0017	25,9808	1,0738	1,0597	0,1737	1,5238
Вариативность, %	28,8675	43,3013	9,7896	9,6606		

С помощью компьютерного пакета выполнили оптимизацию процесса ферментативной обработки жмыха рыжика сорта «Ужурский» обезжиренного в исследуемой области. Пусть $X_1 = 0.004 \dots 0.008\%$ – диапазон концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1); $X_2 = 30 \dots 90 \text{ мин}$ – диапазон продолжительности процесса ферментативной обработки; $\Omega = X_1 \times X_2$ – замкнутая область изменения пары переменных (x_1, x_2) .

Тогда функция $f_{\text{рыжик},1}(x_1, x_2)$ достигает, соответственно, наибольшего и наименьшего значения внутри или на границе замкнутой области Ω :

$$\sup_{\Omega} f_{\text{рыжик},1}(x_1, x_2) = 12.75668402 \text{ в точке } x_{\text{sup}}^* = (0.008, 90), \quad (19)$$

$$\inf_{\Omega} f_{\text{рыжик},1}(x_1, x_2) = 9.660923846 \text{ в точке } x_{\text{inf}}^* = (0.004, 30).$$

Таким образом, для получения теоретически оптимального выхода белкового препарата, достигающего 12.75668402 % необходимо установить концентрацию ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) $x_1^* = 0.008$ % и продолжительность процесса ферментативной обработки $x_2^* = 90$ мин.

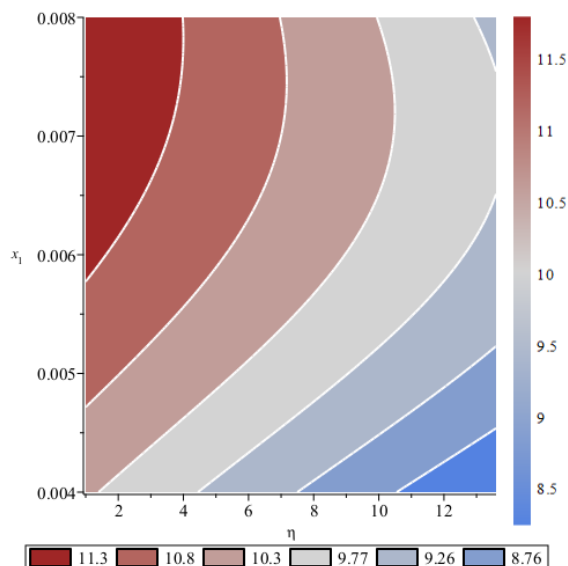


Рисунок 18– Линии уровня процесса выхода белкового препарата в зависимости от содержания жира (η , %) и концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) (x_1 , %) при средней продолжительности процесса ферментативной обработки $x_2 = 60$ мин

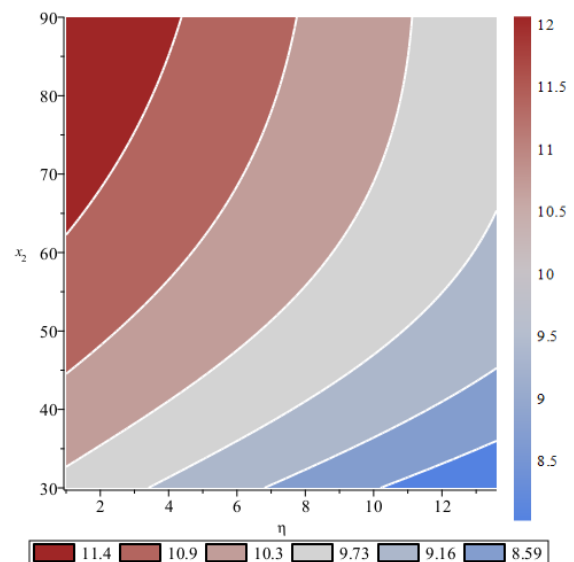


Рисунок 19– Линии уровня процесса выхода белкового препарата в зависимости от содержания жира (η , %) и продолжительности процесса ферментативной обработки (x_2 , мин) при средней концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) $x_1 = 0.006$ %

Общая схема определения выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыха рыжика сорта «Ужурский» (y , %) с содержанием жиров (η , %), в зависимости от концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы

в соотношении 1:1) (x_1 , %) и продолжительности обработки (x_2 , мин) , представляется функцией (рисунки 18-19):

$$\begin{aligned}
 y = F_{\text{рыжик}}(\eta, x_1, x_2) = & -2.111312063 \cdot \eta + 8.096549055 + \\
 & + (96.75531190 \cdot \eta - 469.0223142) \cdot x_1 + (0.8551439492 \cdot \eta + 0.1490841968) \cdot \ln x_2 + \\
 & + (-7473.544970 \cdot \eta - 69193.12172) \cdot x_1^2 + (-0.1068601702 \cdot \eta - 0.1115787233) \cdot \ln^2 x_2 + \\
 & + (-1.967367849 \cdot \eta + 406.4407974) \cdot x_1 \cdot \ln x_2.
 \end{aligned} \quad (20)$$

Область эффективности, соответствующая наибольшему выходу белкового препарата при различных сочетаниях факторов, расположена в левом верхнем углу (на обеих диаграммах).

Таблица 41 – Прогнозирование выхода белкового препарата из жмыха рыжика сорта «Ужурский» в зависимости от содержания жиров, концентрации ферментного препарата и продолжительности процесса

Вариант	Содержание жиров, %	Концентрация ферментного. препарата, %	Продолжительность ферментной обработки, мин	Вычислительный выход белкового препарата, %
№	η	x_1	x_2	F
1	7,30	0,004	30	8,4115
2	7,30	0,004	60	9,2965
3	7,30	0,004	90	9,4175
4	7,30	0,006	30	9,0785
5	7,30	0,006	60	10,5066
6	7,30	0,006	90	10,9450
7	7,30	0,008	30	8,7545
8	7,30	0,008	60	10,7268
9	7,30	0,008	90	11,4830

Таким образом, при среднем содержании жиров максимальный выход белкового препарата 11,4830 % достигается при концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 % и продолжительности процесса ферментативной обработки 90 мин. (таблица 41).

Следовательно, предложенная схема может быть использована для прогнозирования и оптимизации процесса ферментативной обработки жмыха

рыжика сорта «Ужурский» по заданному содержанию жиров с гарантированной точностью 95 % (с ошибкой не более 5 %).

Далее, выполним оптимизацию процесса ферментативной обработки жмыха рыжика сорта «Ужурский». Пусть $N=1...13.6$ – диапазон содержания жиров; $X_1 = 0.004...0.008\%$ – диапазон концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1); $X_2 = 30...90 \text{ мин}$ – диапазон продолжительности процесса ферментативной обработки. Здесь $\Omega = N \times X_1 \times X_2$ – замкнутая область изменения тройки переменных (η, x_1, x_2) . Тогда функция $y = F_{\text{рыжик}}(\eta, x_1, x_2)$ достигает, соответственно, наибольшего и наименьшего значения внутри или на границе замкнутой области Ω :

$$\begin{aligned} \sup_{\Omega} F_{\text{рыжик}}(\eta, x_1, x_2) &= 12.75668399 \text{ в точке с координатами } (1, 0.008, 90), \\ \inf_{\Omega} F_{\text{рыжик}}(\eta, x_1, x_2) &= 7.162424507 \text{ в точке с координатами } (13.6, 0.004, 30) \end{aligned} \quad (21)$$

Таким образом, для получения теоретически оптимального выхода белкового препарата, достигающего 12.75668399 % необходимо выбрать сырьё с содержанием жиров $\eta = 1\%$, установить концентрацию ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) $x_1^* = 0.007120536365\%$ и продолжительность процесса ферментативной обработки $x_2^* = 90 \text{ мин}$.

5.4 Модель закономерности выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыха сои сорта «Зарница»

Схема определения выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыха сои сорта «Зарница» необезжиренной ($y, \%$) (общее содержание жира 12,5%) в зависимости от концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) ($x_1, \%$) и продолжительности процесса ферментативной обработки ($x_2, \text{мин}$) на уровне детерминации 97,02 % представляется функцией (рисунок 20):

$$y = f_{\text{сож}, 12.5}(x_1, x_2) = -17.20807452 + 1990.380951 \cdot x_1 + 9.784114252 \cdot \ln x_2 - \\ -123333.3333 \cdot x_1^2 - 1.065861944 \cdot \ln^2 x_2 - 2.596243464 \cdot x_1 \cdot \ln x_2 \quad (22)$$

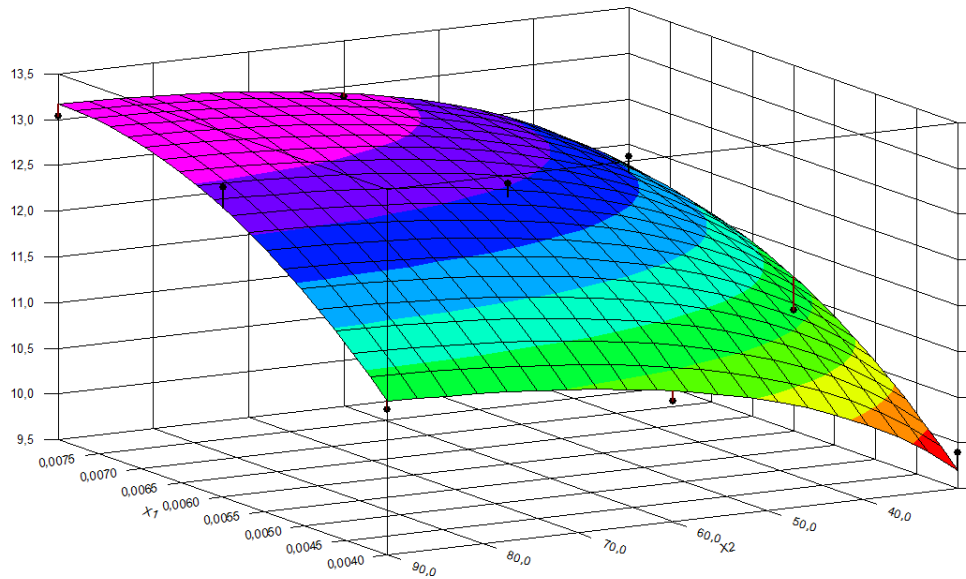


Рисунок 20 – Динамика выхода белкового препарата (y , %) из жмыха сои необезжиренной при изменении концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) (x_1 , %) и продолжительности обработки (x_2 , мин)

Для поиска закономерности процесса в виде функции регрессии использованы компьютерные пакеты DataFit и Statistics системы Maple, а для поиска оптимума – инструменты NLPsolve, Maximize, Minimize пакета Optimization системы Maple.

Из представленных результатов следует, что при концентрации препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 % максимальный выход белкового препарата достигает значения 13,1 %, при концентрации 0,006 % – 10,8 %, при концентрации 0,004 % – 9,8 %. Наибольшее повышение выхода белкового препарата при ферментативной обработке составляет 13,1 % при концентрации препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 %.

Качество сглаживания опытных данных оценивается абсолютной и относительной погрешностью. Относительная погрешность не превосходит 3,41 % (таблица 42).

Таблица 42 – Отклонение теоретически вычисленного значения выхода белкового препарата при ферментативной обработки жмыха сои сорта «Зарница» необезжиренной от фактического полученного в серии опытов

Серия опытов	Концентрация ферментного препарата, %	Продолжительность обработки, мин	Фактический выход белка, %	Вычисленный выход белка %	Отклонение от фактического	Относительное отклонение, %
№	x_1	x_2	y	f	ε	δ
1	0,004	30	9,89	9,6925	-0,1975	-1,9974
2	0,004	60	10,82	10,9294	0,1094	1,0110
3	0,004	90	11,09	11,1782	0,0882	0,7949
4	0,006	30	10,82	11,1889	0,3689	3,4093
5	0,006	60	12,57	12,4222	-0,1478	-1,1756
6	0,006	90	12,89	12,6689	-0,2211	-1,7154
7	0,008	30	11,87	11,6987	-0,1713	-1,4435
8	0,008	60	12,89	12,9284	0,0384	0,2978
9	0,008	90	13,04	13,1730	0,1330	1,0196
Min	0,0040	30,0000	9,8900	9,6925	-0,2211	-1,9974
Ср.	0,0060	60,0000	11,7644	11,7644	0,0000	0,0223
Max	0,0080	90,0000	13,0400	13,1730	0,3689	3,4093
Отклонение	0,0017	25,9808	1,1496	1,1324	0,1981	1,7607
Вариативность, %	28,8675	43,3013	9,7721	9,6259		

Несмещённость оценок, получаемых с помощью предложенной схемы, следует из равенства средних значений фактического и вычисленного выхода белкового препарата, а именно 11,7644 %, а также основывается на близости нулю среднего значения отклонений 0,0000.

По формальным признакам адекватности, точности, детерминированности предложенная схема может быть использована для прогнозирования и оптимизации процесса ферментативной обработки жмыха сои сорта «Зарница» необезжиренной с гарантированной точностью 95 %.

С помощью компьютерного пакета Optimization системы Maple выполнили оптимизацию процесса ферментативной обработки жмыха сои сорта «Зарница» необезжиренной в исследуемой области. Пусть $X_1 = 0.004 \dots 0.008\%$ – диапазон концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1); $X_2 = 30 \dots 90 \text{ мин}$ – диапазон продолжительности процесса ферментативной обработки; $\Omega = X_1 \times X_2$ – замкнутая область изменения пары переменных (x_1, x_2) . Тогда функция $f_{\text{соя}, 12,5}(x_1, x_2)$ достигает, соответственно, наибольшего и наименьшего значения внутри или на границе замкнутой области Ω :

$$\begin{aligned} \sup_{\Omega} f_{\text{соя}, 12,5}(x_1, x_2) &= 13.17295226 \text{ в точке } x_{\text{sup}}^* = (0.008, 90), \\ \inf_{\Omega} f_{\text{соя}, 12,5}(x_1, x_2) &= 9.692454324 \text{ в точке } x_{\text{inf}}^* = (0.004, 30) \end{aligned} \quad (23)$$

Таким образом, для получения теоретически оптимального выхода белкового препарата, достигающего 13.17295226 % необходимо установить концентрацию ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) $x_1^* = 0.008\%$ и продолжительность процесса ферментативной обработки $x_2^* = 90 \text{ мин}$.

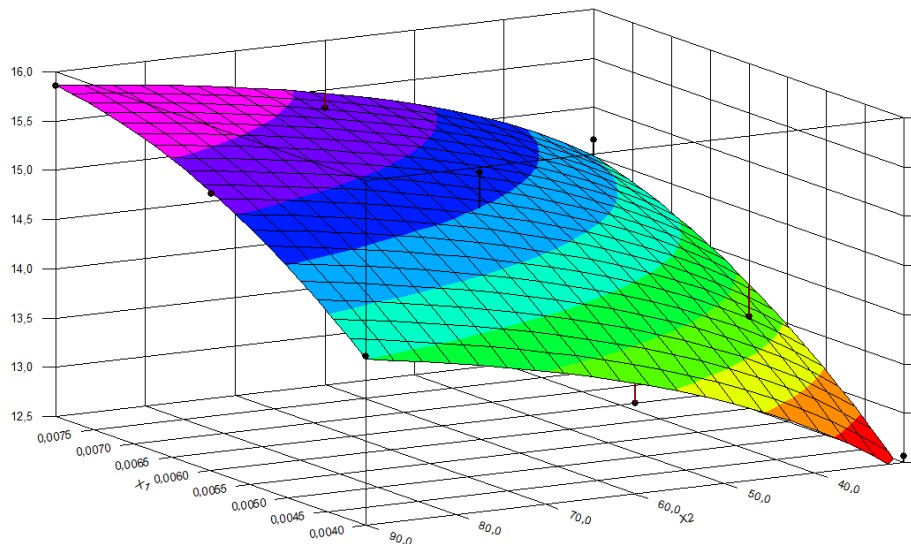


Рисунок 21 – Динамика выхода белкового препарата ($y, \%$) из жмыха сои обезжиренной при изменении концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) ($x_1, \%$) и продолжительности обработки ($x_2, \text{мин}$)

Схема определения выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыха сои сорта «Зарница» обезжиренной (y , %) (общее содержание жира 1 %) в зависимости от концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) (x_1 , %) и продолжительности обработки (x_2 , мин) на уровне детерминации 96,37 % представляется функцией (рисунок 21):

$$y = f_{\text{соя},1}(x_1, x_2) = -4.667759192 + 1813.475375 \cdot x_1 + 4.873936031 \cdot \ln x_2 - 77916.66667 \cdot x_1^2 - 0.3581981743 \cdot \ln^2 x_2 - 101.9500022 \cdot x_1 \cdot \ln x_2. \quad (24)$$

Исходя из рисунка 21, при концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 % максимальный выход белкового препарата достигает максимального значения 15,8 %, при концентрации 0,006 % – 13,5 %, при концентрации 0,004 % – 12,6 %. Наибольшее повышение выхода белкового препарата при ферментативной обработке составляет 15,8 % при концентрации препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 %.

Качество сглаживания опытных данных оценивается абсолютной и относительной погрешностью. Относительная погрешность не превосходит 2,47 % (таблица 43).

Таблица 43 – Отклонение теоретически вычисленного значения выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыха сои сорта «Зарница» обезжиренной от фактического полученного в серии опытов

Серия опытов	Концентрация ферментного препарата, %	Продолжительность обработки, мин	Фактический выход белка, %	Вычисленный выход белка %	Отклонение от фактического	Относительное отклонение, %
№	x_1	x_2	y	f	ε	δ
1	0,004	30	12,56	12,3860	-0,1740	-1,3854
2	0,004	60	13,42	13,6207	0,2007	1,4953
3	0,004	90	14,21	14,1833	-0,0267	-0,1876
4	0,006	30	13,43	13,7611	0,3311	2,4655
5	0,006	60	15,21	14,8544	-0,3556	-2,3376
6	0,006	90	15,31	15,3344	0,0244	0,1597

Продолжение таблицы 43

Серия опытов	Концентрация ферментного препарата, %	Продолжительность обработки, мин	Фактический выход белка, %	Вычисленный выход белка %	Отклонение от фактического	Относительное отклонение, %
№	x_1	x_2	y	f	ε	δ
7	0,008	30	14,67	14,5129	-0,1571	-1,0710
8	0,008	60	15,31	15,4649	0,1549	1,0117
9	0,008	90	15,86	15,8622	0,0022	0,0140
Min	0,0040	30,0000	12,5600	12,3860	-0,3556	-2,3376
Ср.	0,0060	60,0000	14,4422	14,4422	0,0000	0,0183
Max	0,0080	90,0000	15,8600	15,8622	0,3311	2,4655
Отклонение	0,0017	25,9808	1,1081	1,0878	0,2111	1,4969
Вариативность, %	28,8675	43,3013	7,6729	7,5324		

Несмещённость оценок, получаемых с помощью предложенной схемы, следует из равенства средних значений фактического и вычисленного выхода белкового препарата, а именно 14,4422 %, а также основывается на близости нулю среднего значения отклонений 0,0000.

Предложенная схема адекватна, имеет высокую точность и поэтому может быть использована для прогнозирования и оптимизации процесса ферментативной обработки жмыха сои сорта «Зарница» обезжиренной с гарантированной точностью 95 %.

Далее с помощью компьютерного пакета Optimization системы Maple была выполнена оптимизация процесса ферментативной обработки жмыха сои сорта «Зарница» обезжиренной в исследуемой области. Пусть $X_1 = 0.004 \dots 0.008\%$ – диапазон концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1); $X_2 = 30 \dots 90 \text{ мин}$ – диапазон продолжительности процесса ферментативной обработки; $\Omega = X_1 \times X_2$ – замкнутая область изменения пары переменных (x_1, x_2) . Тогда функция $f_{\text{сож},1}(x_1, x_2)$ достигает, соответственно, наибольшего и наименьшего значения внутри или на границе замкнутой области Ω :

$$\begin{aligned} \sup_{\Omega} f_{\text{соя},1}(x_1, x_2) &= 15.86221729 \text{ в точке } x_{\text{sup}}^* = (0.008, 90), \\ \inf_{\Omega} f_{\text{соя},1}(x_1, x_2) &= 12.38599784 \text{ в точке } x_{\text{inf}}^* = (0.004, 30) \end{aligned} \quad (25)$$

Таким образом, для получения теоретически оптимального выхода белкового препарата, достигающего 15.86221729 % необходимо установить концентрацию ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) $x_1^* = 0.008$ % и продолжительность процесса ферментативной обработки $x_2^* = 90$ мин.

Общая схема определения выхода белкового препарата при ферментативной обработки жмыха сои сорта «Зарница» (y , %) с содержанием жиров (η , %) в зависимости от концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) (x_1 , %) и продолжительности ферментативной обработки (x_2 , мин) представляется функцией (рисуки 22-23):

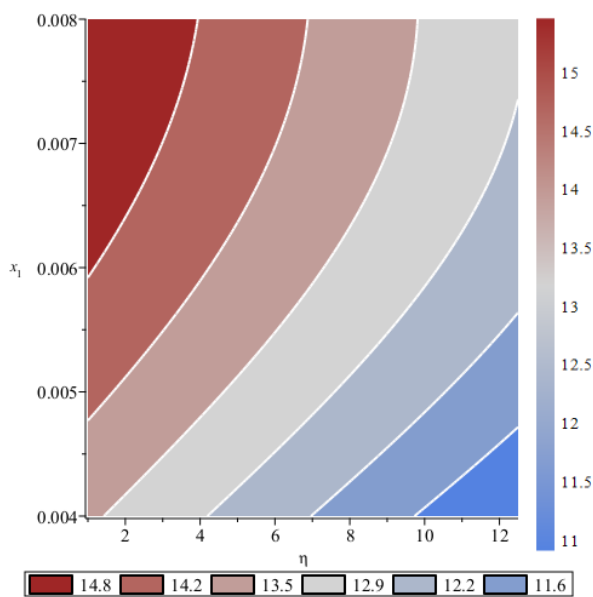


Рисунок 22 – Линии уровня процесса выхода белкового препарата в зависимости от содержания жира (η , %) и концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы 1:1) (x_1 , %) при средней продолжительности процесса ферментативной обработки $x_2 = 60$ мин

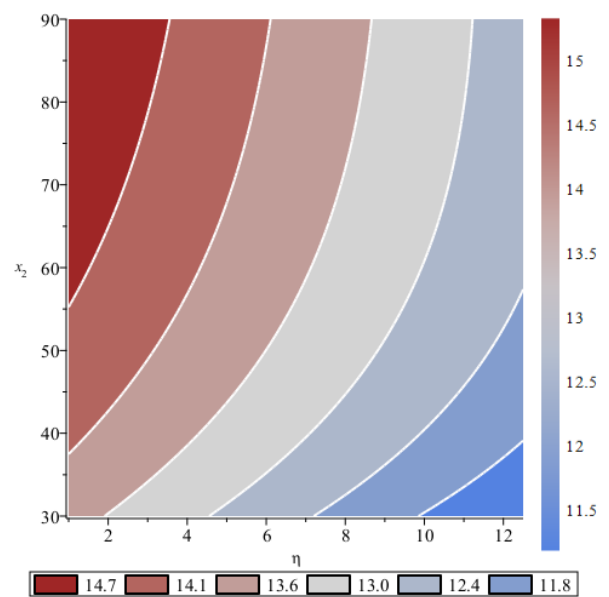


Рисунок 23 – Линии уровня процесса выхода белкового препарата в зависимости от содержания жира (η , %) и продолжительности процесса ферментативной обработки (x_2 , мин) при средней концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы 1:1) $x_1 = 0.006$ %

$$\begin{aligned}
y = F_{\text{соя}}(\eta, x_1, x_2) = & -1.090462203 \cdot \eta - 3.577296990 + \\
& + (15.38309357 \cdot \eta + 1798.092282) \cdot x_1 + (0.4269720192 \cdot \eta + 4.446964012) \cdot \ln x_2 + \\
& + (-3949.275359 \cdot \eta - 73967.39131) \cdot x_1^2 + (-0.06153597997 \cdot \eta - 0.2966621944) \cdot \ln^2 x_2 + \\
& + (8.639457282 \cdot \eta - 110.5894596) \cdot x_1 \cdot \ln x_2.
\end{aligned} \tag{26}$$

Область эффективности, соответствующая наибольшему выходу белкового препарата при различных сочетаниях факторов, расположена в левом верхнем углу.

Таблица 44 – Прогнозирование выхода белкового препарата при ферментативной обработке жмыха сои сорта «Зарница» в зависимости от содержания жиров, концентрации ферментного препарата и продолжительности процесса

Вариант	Содержание жиров, %	Концентрация ферментного. препарата, %	Продолжительность ферментной обработки, мин	Вычислительный выход белкового препарата, %
№	η	x_1	x_2	F
1	6,75	0,004	30	11,0393
2	6,75	0,004	60	12,2750
3	6,75	0,004	90	12,6808
4	6,75	0,006	30	12,4751
5	6,75	0,006	60	13,6384
6	6,75	0,006	90	14,0017
7	6,75	0,008	30	13,1058
8	6,75	0,008	60	14,1966
9	6,75	0,008	90	14,5176

Таким образом, при среднем содержании жиров максимальный выход белкового препарата 14,5176 % достигается при концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) 0,008 % и продолжительности процесса ферментативной обработки 90 мин.

Предложенная общая схема с математическим описанием ферментативной обработки необезжиренного и обезжиренного жмыха сои сорта «Зарница», а также сои с заданным содержанием жиров может быть использована для

прогнозирования и оптимизации с гарантированной точностью 95 % (с ошибкой не более 5 %).

С помощью компьютерного пакета Optimization системы Maple была выполнена оптимизация процесса при ферментативной обработке жмыха сои сорта «Зарница». Пусть $H=1...12.5$ – диапазон содержания жиров; $X_1=0.004...0.008\%$ – диапазон концентрации ферментного препарата (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1); $X_2=30...90 \text{ мин}$ – диапазон продолжительности процесса ферментативной обработки; $\Omega=H \times X_1 \times X_2$ – замкнутая область изменения тройки переменных (η, x_1, x_2) . Тогда функция $y=F_{\text{сой}}(\eta, x_1, x_2)$ достигает, соответственно, наибольшего и наименьшего значения внутри или на границе замкнутой области Ω :

$$\sup_{\Omega} F_{\text{сой}}(\eta, x_1, x_2) = 15.86221732 \text{ в точке с координатами } (1, 0.008, 90), \quad (27)$$

$$\inf_{\Omega} F_{\text{сой}}(\eta, x_1, x_2) = 9.692454299 \text{ в точке с координатами } (12.5, 0.004, 30).$$

Таким образом, для получения теоретически оптимального выхода белкового препарата белка, достигающего 15.86221732 % необходимо выбрать сырьё с содержанием жиров $\eta=1\%$, установить концентрацию ферментного препарата $x_1^*=0.008\%$ и продолжительность обработки $x_2^*=90 \text{ мин}$.

Таким образом, на основе анализа выявленных закономерностей обработки жмыхов крестоцветных культур (рапс и рыжик) и сои сорта «Зарница» составлен интегральный показатель, представляющий функциональные аспекты белковых препаратов, включающий в качестве частных случаев результатные показатели выхода белкового препарата. Разработана аналитическая модель комплекса технологических процессов ферментативной обработки жмыхов масличных культур (рапс сорта «Культис», рыжик сорт «Ужурский», сои сорта «Зарница»).

Предложенная аналитическая модель описывает динамику повышения технологического совершенства ферментативной обработки жмыхов крестоцветных культур (рапс сорта «Культис» и рыжик сорта «Ужурский») и сои сорта «Зарница» композицией ферментных препаратов (целлюлазы и пектиназы в

соотношении 1:1) различной концентрации при влиянии продолжительности обработки на повышение выхода белкового препарата.

6 Расчет основных технико-экономических показателей предприятия по производству белковых препаратов из масличных культур

При расчёте технико-экономических показателей производства белковых препаратов и масличных культур необходимы вложения, которые нужно направить на строительные-монтажные работы, приобретение оборудования и других затрат [123,124].

6.1 Расчет стоимости строительно-монтажных работ

В стоимость строительно-монтажных работ входит стоимость производственных и административных зданий (таблица 45).

Таблица 45 – Стоимость зданий для производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Наименование зданий	Площадь, м ²	Цена 1 м ² , тыс. руб.	Общая стоимость, тыс. руб.
Производственные	350,00	78,00	27300,00
Складские	400,00	54,00	21600,00
Вспомогательные	260,00	48,00	12480,00
Административно-бытовые	150,00	48,00	7200,00
Итого	1160,00	—	68580,00

Из таблицы 45 видно, что стоимость всех зданий для производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур составляет 68580,00 тыс. рублей.

В качестве стоимости 1 м² различных видов зданий используется рыночная цена строительных организаций.

6.2 Расчет стоимости оборудования

В сумму стоимости оборудования входит:

- а) цена рабочего (технологического) оборудования;

- б) цена электросилового оборудования;
- в) цена КИП и автоматизации.

Сумма стоимости оборудования определяется на основе сметы оборудования в таблице 46.

Таблица 46 – Расчет потребной стоимости технологического оборудования для производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Наименование оборудования	Количество, штук	Стоимость единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Бункер загрузочный	2	200	400,00
Наклонный ленточный транспортер	1	150	150,00
Просеивающая машина	1	240	240,00
Воздушная зерноочистка	1	500	500,00
Инспекционный транспортер	1	200	200,00
Прес шнековый	4	500	1000,00
Охладитель барабанный	2	200	400,00
Фильтр рамный	2	160	320,00
Насос масляный	1	50	50,00
Емкость для сбора масла	4	200	800,00
Мешалка ротационная с тепловой рубашкой	2	300	600,00
Центрифуга	2	550	1100,00
Трубопровод	2	90	180,00
Дозатор для жидкостей и паст	2	180	360,00
Фильтр насос	2	150	300,00
Транспортерная лента	2	200	400,00
Дозировочные насосы для кислоты	1	150	150,00
Промывочная машина	1	250	250,00
Леофильная сушка	3	800	2400,00
Мельница	1	85	85,00
Упаковочная линия для сыпучих продуктов	1	1200	1200,00
Итого			11685,00

Из таблицы 46 видно, что стоимость всего технологического оборудования для производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур составляет 11085,00 тыс. рублей.

Количество оборудования берется из проектной документации, в качестве цен используются рыночные цены.

Полные капитальные вложения на оборудование будут представлены в таблице 47, они включают в себя следующие виды затрат:

1) электросиловое оборудование – 10 % от стоимости технологического оборудования;

2) контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации – включают 8 % от общей стоимости всего технологического оборудования;

3) неучтенное оборудование – включает 20 % от стоимости всего технологического оборудования;

4) транспортные расходы – включают 30 % от стоимости статей предыдущих затрат и стоимости всего технологического оборудования;

5) затраты на трубопроводы – включают 10 % от стоимости технологического оборудования;

6) запасные части и комплектация – включают 8 % от стоимости всего технологического оборудования;

7) затраты на монтаж – включают 15 % от суммы всех предыдущих статей затрат и стоимости всего технологического оборудования [121].

Из таблицы 47 видно, что сводная смета технологического оборудования для производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур составляет 23838,29 тыс. рублей.

Таблица 47 – Сводная смета затрат на оборудование для производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур

№ п/п	Наименование затрат	Сумма, тыс. руб.
1	Технологическое оборудование	11085,00
2	Электросиловое оборудование	1219,35
3	Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации	886,80
4	Неучтенное оборудование	2217,00
5	Транспортные расходы	3325,50
6	Затраты на трубопроводы	1108,50
7	Запасные части и комплектация	886,80
8	Итого	20728,95
9	Затраты на монтаж	3109,34
10	Всего по смете	23838,29

Стоимость инвентаря определяется на основе дополнительной сметы, в которой отражается наименование инвентаря, стоимость единицы инвентаря и

общая необходимая его стоимость, либо она принимается в размере 5 % от стоимости всего технологического оборудования.

При расчете прочих затрат необходимо учитывать стоимость затрат на проектно-изыскательные работы, также на подготовку кадров, на транспортные средства и принимаются в размере 15 % от стоимости зданий, оборудования и инвентаря.

Сумма капитальных вложений на строительство и ввод предприятия по производству белковых препаратов в действие представлена в таблице 48.

Таблица 48 – Сводная смета капитальных затрат для производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Наименование затрат	Общая стоимость, тыс. руб.
Здания и сооружения	68580,00
Оборудование	23838,29
Инвентарь	1191,91
Прочие затраты	14041,53
Итого	107651,73

Из таблицы 48 видно, что сводная смета капитальных затрат для производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур составляет 107651,73 тыс. рублей.

6.3 Общий расчет производственной мощности предприятия

Производственная мощность предприятия представляет собой способность промышленного предприятия к предельно возможному выпуску производимой продукции в год (в смену, в сутки) в ассортименте, установленном планом.

Определение годовой производственной мощности проектируемого предприятия представлено в таблице 49.

Из таблицы 49 видно, что годовая производственная мощность для производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур, составляет 50 тыс. кг.

Таблица 49 – Годовая производственная мощность производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Марка ведущего оборудования	Ассортимент выпускаемой продукции	Выработка в сутки по		Кол-во дней в году	Годовая выработка продукции, тонн
		Произв. мощности	Плану		
Комплексная линия по производству белкового препарата	Белковый препарат	150-250 кг	200 кг	250	50
Итого		150-250 кг	200 кг	250	50

Расчет товарной продукции представлен в таблице 50. Из таблицы видно, что расчет годовой товарной стоимости для производства белковых препаратов составил 617 тыс. рублей.

Таблица 50 – Расчет годового товарного производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Наименование продукции	Годовой объем производимой продукции, тыс. кг	Розничная цена единицы продукции, руб.	Оптовая цена единицы продукции, руб.	Стоимость товарной продукции в оптовых ценах, тыс. руб.
Белковый препарат	150	500	450	617000
Итого	50	–	–	617000

Сводный план по труду и заработной плате производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур представлен в таблице 51.

Таблица 51 – Сводный план по труду и заработной плате производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Должность, профессия	Численность	Месячный оклад одного работающего	Районный коэффициент и северная надбавка, тыс. руб.	Годовой фонд заработной платы тыс. руб
Руководители				
Директор	1	80	40,00	1440,00
Итого	1			1440,00
Специалисты:				
Главный технолог	1	60,00	18,00	936,00

Продолжение таблицы 51

Должность, профессия	Численность	Месячный оклад одного работающего	Районный коэффициент и северная надбавка, тыс. руб.	Годовой фонд заработной платы тыс. руб
Руководители				
Инженер технолог	2	45,00	13,00	1392,00
Инженер механик	2	45,00	13,00	1392,00
Итого	5			3720,00
Основные рабочие				
Оператор линии	3	40,00	12,00	1872,00
Помощник оператора	4	32,00	5,00	1776,00
Итого	7			3648,00
Служащие				
Бухгалтер	1	40,00	12,00	634,00
Экспедитор	3	32,00	5,00	1332,00
Итого	4			1966,00
ПВР:				
Охрана	4	35,00	10,00	2160,00
Слесарь	2	30,00	9,00	936,00
Уборщица	3	25,00	12,00	1332,00
Итого	9			4428,00
Всего	26			15202,0

Из таблицы 51 видно, что годовой фонд оплаты труда составил 15202,00 тыс. рублей.

Затраты на оплату труда для организации производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур представлены в таблице 52. Из данных таблицы делаем вывод, что средняя заработная плата составляет 50,83 тыс. рублей, средняя численность персонала составляет 26 человек.

Таблица 52 – Затраты на оплату труда персонала

Категория работающих	Численность ППП	Годовой фонд оплаты ППП	Среднемесячная заработная плата, тыс.руб
Основные рабочие	7,00	4416,00	52,57
ПВР	9,00	4243,20	39,29
Руководители	1,00	960,00	80,00
Специалисты	5,00	3628,80	60,48
Служащие	4,00	2611,20	54,40
Итого	26,00	15859,20	50,83

Среднемесячная заработная плата одного работника определена как отношение годового фонда оплаты труда к численности персонала к количеству месяцев в календарном году.

6.4 План расчета материально-технического обеспечения предприятия

Обязательным условием для работы предприятия и выполнения планов по производству выпускаемой продукции, а также снижения её себестоимости, роста дохода является полное и своевременное снабжение предприятия сырьем и необходимыми материалами хорошего качества по наиболее приемлемым ценам.

Из таблицы 53 видим, что общие затраты на сырье составляет 35100 тыс. рублей.

Таблица 53 – Расчет стоимости основного и дополнительного сырья для производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Виды расходуемого сырья и основных материалов	Общая потребность в каждом виде сырья, в сутки,	Общая потребность в каждом виде сырья, в год	Оптовая цена единицы продукции, руб.	Общая стоимость, тыс.руб.
Белковый препарат рапса сорта «Кульtis»				
Жмых рапсовый, кг	2000	500000,00	10,00	5000,00
Пектиназа, кг	12	3000,00	200,00	600,00
Целлюлаза, кг	12	3000,00	300,00	900,0
Вода, л	8000	2000000	2,60	5200,00
Итого	-	-	-	11700
Белковый препарат рыжика сорта «Ужурский»				
Жмых рыжиковый, кг	2000	500000,00	10,00	5000,00
Пектиназа, кг	12	3000,00	200,00	600,00
Целлюлаза, кг	12	3000,00	300,00	900,0
Вода, л	8000	2000000	2,60	5200,00
Итого	-	-	-	11700
Белковый препарат сои сорта «Зарница»				
Жмых соевый, кг	2000	500000,00	10,00	5000,00
Пектиназа, кг	12	3000,00	200,00	600,00
Целлюлаза, кг	12	3000,00	300,00	900,0
Вода, л	8000	2000000	2,60	5200,00
Итого	-	-	-	11700
ВСЕГО	-	-	-	35100

При определении расхода тары и упаковочных материалов учитываются нормы их расхода количества производимой продукции. Расчет потребности и стоимости вспомогательных материалов представлен в таблице 54.

Таблица 54 – Расчет потребности и стоимости вспомогательных материалов производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Виды расходуемых материалов	Суточный расход сырья, тыс. шт	Годовой расход сырья, тыс. шт	Оптовая цена единицы продукции, руб.	Общая стоимость, тыс. руб.
Вакуумный пакет	6	1500	3,2	4800
Этикетка	6	1500	0,3	450
Итого	-	-	-	5250

В таблице 54 приведена общая стоимость вспомогательных материалов, она составила 5250 тыс. рублей.

Для обеспечения бесперебойной работы перерабатывающего предприятия необходимо иметь определенное количество электроэнергии, рассчитываемого как по нормам, так и по выбранному технологическому оборудованию. Расчет потребности и стоимости энергоресурсов представлен в таблицах 55-56.

Таблица 55 – Расчет потребности предприятия в электроэнергии производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Виды продукции	Количество продукции, тыс. кг	Электроэнергия, кВт	
		норма на единицу готовой продукции	на всю продукцию
Белковый препарат рапса сорта «Культис»	50	1000	500 00
Белковый препарат рыжика сорта «Ужурский»	50	100	500 00
Белковый препарат сои сорта «Зарница»	50	100	500 00
Итого			1500 000

Из таблицы 55 видно, что общее потребление электроэнергии составляет 1500000 кВт. Расчет стоимости энергоресурсов, необходимых для функционирования предприятия представлен в таблице 56.

Таблица 56 – Расчет стоимости энергоресурсов, необходимых для нормального функционирования производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Вид энергии	Потребность в год	Стоимость за единицу, руб	Общая стоимость, тыс. руб.
Электроэнергии, кВт	1500000	2,5	3750
Итого			3750

В таблице 56 представлены затраты на обеспечение общих потребностей предприятия в электроэнергии, которые составили 3750 тыс. рублей.

6.5 Расчет себестоимости продукции

Себестоимость продукции рассчитывается по всем статьям калькуляции на полный объем производства, а также на единицу продукции. Для расчета себестоимости необходимо использовать результаты предыдущих расчетов по сырью, электроэнергии, фонду заработной платы (таблица 57).

«Общезаводские расходы» охватывают расходы, которые составляют 10 % от заработной платы производственных рабочих.

Статья «Прочие производственные затраты» охватывает расходы, которые составляют 10 % от всех предыдущих затрат.

Производственная себестоимость рассчитывается как сумма всех затрат, включающих статьи 1-9.

«Внепроизводственные расходы» рассчитываются в размере 8 % от всей производственной себестоимости.

Полная себестоимость товарной продукции рассчитывается как сумма производственной себестоимости и расходов, связанных с реализацией готовой продукции, представлена в таблице 57 [124].

В таблице 57 представлен полный расчет себестоимости готовой продукции, который составил 97983,62 тыс. рублей. Расчет амортизационных отчислений представлен в таблице 58.

План расчета амортизационных отчислений производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур представлен в таблице 58 и составил 10838,45 тыс. рублей.

Таблица 57 – Расчет полной себестоимости продукции производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Статьи, стоимости калькуляции	На планируемую выработку, тыс. руб.
1. Основное и дополнительное сырье	35100,00
2. Тара и упаковочные материалы	5250,00
3. Электроэнергия на технологические нужды	3750,00
4. Основная и дополнительная заработная плата рабочих	15859,20
5. Отчисления на социальные нужды	4757,76
6. Амортизация основных производственных фондов	10838,45
7. Общезаводские расходы	2500,00
8. Прочие производственные расходы	12670,16
9. Производственная себестоимость	90725,57
10. Внепроизводственные расходы	7258,05
11. Полная себестоимость товарной продукции	97983,62

Таблица 58 – План расчета амортизационных отчислений производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Наименование	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Сумма амортизации, тыс. руб.
Машины и оборудование	11085,00	2,50	2771,25
Здания	68580,00	15,40	10561,32
Итого			10838,45

6.6 Расчет основных технико-экономических показателей проектируемого предприятия

Для оценки экономической эффективности проектируемого предприятия были рассчитаны следующие экономические показатели:

- затраты на один рубль товарной продукции;
- прибыль от реализации продукции;
- рентабельность продукции;
- производительность труда в стоимостном выражении;

– производительность труда в натуральном выражении; срок окупаемости капитальных вложений.

Используя предыдущие расчеты, основные технико-экономические показатели проектируемого предприятия приведены в таблице (таблице 59).

Таблица 59 – Основные технико-экономические показатели проектируемого производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур

Показатели	Значения
1 Выпуск продукции	
1.1 В натуральном выражении, (тыс.кг/год)	1500,00
1.2 В стоимостном выражении, тыс. руб.	617 000,00
2 Полная себестоимость товарной продукции, тыс. руб.	97983,62
3 Затраты на 1 руб. товарной продукции, руб.	0,75
4 Прибыль от реализации продукции, тыс. руб.	519017
5 Чистая прибыль, тыс. руб.	415213,6
6 Рентабельность продукции, %	24,58
7 Среднесписочная численность работающих, чел.	26,00
8 Производительность труда , тыс.руб./чел	23730,77
9 Среднемесячная заработная плата, руб.	50,83
10 Капитальные вложения, тыс. руб.	107651,73
11 Срок окупаемости капитальных вложений, г	2,6

В таблице 59 представлены полученные результаты расчета основных технико-экономических показателей производства белковых препаратов из жмыхов масличных культур показывают рентабельность предприятия 24,58 %, срок окупаемости капитальных вложений составил 2,6 г [124].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ научно-технической литературы по получению белковых препаратов из масличных культур показал, что известны технологии получения белковых препаратов из крестоцветных культур, подсолнечника, сои, однако данные технологии обеспечивают незначительный выход белкового препарата (3-7 %) при высоких затратах на их получение.

2. На основании исследования химического состава жмыхов масличных культур (рапс сорта «Культис», рыжик сорта «Ужурский», соя сорта «Зарница») установлено, что в составе жирных кислот жмыхов присутствуют эссенциальные, причем содержание линолевой кислоты составляет от 13,70 % в жмыхе рыжика, в жмыхе сои и рапса до 21,00 %, линоленовой от 9,70 % в жмыхе рапса и сои до 18,20 % в жмыхе рыжика. На долю ненасыщенных жирных кислот приходится 92,00 %. Аминокислотный состав белка жмыха исследуемых культур представлен всеми незаменимыми аминокислотами, что подтверждает целесообразность получения белковых препаратов на их основе.

3. Разработана технология получения белковых препаратов из жмыхов масличных культур (рапс сорта «Культис», рыжик сорта «Ужурский», соя сорта «Зарница») из местных сортов Красноярского края, обеспечивающая повышение выхода белковых препаратов. Установлено, что при использовании композиции ферментов (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) выход белка из жмыха исследуемых масличных культур увеличился на 44,80 % для рапса, 53,10 % для рыжика, 50,80 % для сои по сравнению с использованием традиционной технологии.

4. Разработана аналитическая модель, описывающая динамику повышения технологического совершенства ферментативной обработки жмыхов масличных культур композицией ферментных препаратов (целлюлазы и пектиназы в соотношении 1:1) различной концентрации и продолжительности обработки на повышение выхода белкового препарата. Установлено, что биоконверсия с применением комплекса ферментных препаратов – целлюлазы и

пектиназы (1:1) в концентрации 0,006 % в течение 60 минут, обеспечивает наиболее эффективный выход белкового препарата. Выход белкового препарата увеличился на 30 % по сравнению с использованием фермента целлюлазы и на 28 % по сравнению с пектиназой.

5. Исследование аминокислотного состава белковых препаратов из жмыхов масличных культур (рапс сорта «Культис», рыжик сорта «Ужурский», соя сорта «Зарница») показало, что они содержат все незаменимые аминокислоты. Лимитирующими аминокислотами являются валин и триптофан. Биологическая ценность исследуемых белковых препаратов из жмыхов масличных культур составила для необезжиренных жмыхов: рапса 40 %, рыжика 50 %, сои 52 % и для обезжиренных жмыхов: рапса 31 %, рыжика 45 %, сои 58 %.

6. Разработаны рецептуры продуктов пищевого и кормового назначения (кормовых добавок для сельскохозяйственной птицы, комбикорма для годовиков форели, сухих белковых смесей, мясных рубленых полуфабрикатов) с добавлением белковых препаратов их жмыхов масличных культур. Определены их качественные показатели. Разработаны ТУ на получение белкового препарата пищевого назначения.

7. Рассчитаны основные технико-экономических показатели производства белковых препаратов на основе жмыхов крестоцветных культур (рапс сорта «Культис» и рыжик сорта «Ужурский») и сои сорта «Зарница». Показано, что затраты на 1 руб. товарной продукции составят 0,75 коп, рентабельность предприятия 24,58 %, расчетный срок окупаемости капитальных вложений 2,6 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вафина, Э. Ф. Оценка производства ярового рапса в Удмуртской Республике / Э. Ф. Вафина // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 4(64). – С. 4-12.
2. Лупова, Е. И. Совершенствование технологии возделывания сурепицы / Е. И. Лупова, Д. В. Виноградов, А. С. Мастеров ; Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – Рязань - Горки : ИП Жуков В.Ю., 2020. – 176 с.
3. Воронкова, З. А. Обзор рынка белкового препарата из соевого шрота / З. А. Воронкова, Л. К. Асякина // Пищевые инновации и биотехнологии : сборник тезисов IX Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии» в рамках III международного симпозиума «Инновации в пищевой биотехнологии», Кемерово, 17–19 мая 2021 года. Том 1. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2021. – С. 26-28.
4. Гончаров, С. В. Перспективы совершенствования экспорта в связи с корректировкой селекционных программ рапса / С. В. Гончаров, В. В. Карпачев // Масличные культуры. – 2020. – № 2(182). – С. 94-102.
5. Горлов, С. Л. Современные аспекты и тенденции развития производства и селекции рапса / С. Л. Горлов // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2011. – № 2(148-149). – С. 51-56.
6. Kumar, M. Advances in the plant protein extraction: Mechanism and recommendations / M. Kumar et al. // Food Hydrocolloids. – 2021. – Volume 115. – P. 106595.
7. Yuliarti, O. Structuring the meat analogue by using plant-based derived composites / O. Yuliarti, T. J. K. Kovis, N. J. Yi // Journal of Food Engineering. – 2021. – Volume 288. – P. 110138.

8. Kotecka-Majchrzak, K. Oilseed proteins – Properties and application as a food ingredient / K. Kotecka-Majchrzak, A. Sumara, E. Fornal, M. Montowska // Trends in Food Science & Technology. – 2020. - Volume 106. - Pages 160-170.
9. Vinayashree, S. Biochemical, nutritional and functional properties of protein isolate and fractions from pumpkin (*Cucurbitamoschata* var. KashiHarit) seeds / S. Vinayashree, P. Vasu // Food Chemistry. 2021. - Volume 340. – P. - 128177.
10. Sunil, L. Development of health foods from oilseed cakes / L. Sunil, A. Prakruthi, P. P. K. Kumar, G. A. G. Krishna // Journal of Food Processing and Technology. – 2016. - Volume 7 (No. 11). –P. 631.
11. Качество семян крестоцветных масличных культур сибирского региона и продуктов их переработки / Т. В. Рензяева, А. О. Рензяев, А. А. Проскурин, И. В. Пикулева // Масложировая промышленность. – 2009. – № 2. – С. 17-20.
12. Nevara, G. A. Oilseed meals into foods: An approach for the valorization of oilseed by-products / G. A. Nevara et al. //Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2023. – Volume 63. – №. 23. – P. 6330-6343.
13. Colletti, A. Valorisation of by-products from Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) processing / A. Colletti, A. Attrovio, L. Boffa, S. Mantegna, Cravotto G. // Molecules. – 2020. - Volume 25. - P. 2129.
14. Khalofah, A.; Farooq, S. Physiological, morphological, and biochemical responses of Soybean [*Glycine max* (L.) Merr. to Loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) leaf extract application on Pb-contaminated soil / A. Khalofah, S. Farooq // Sustainability. – 2023. -Volume 15. - P. 4352.
15. Banaszekiewicz, T. Nutritional value of soybean meal / T. Banaszekiewicz //Soybean and nutrition. – 2011. – Volume 2011. – P. 1-20.
16. Slominski, B. A. Low-fiber canola. Chemical and nutritive composition of the meal. / B. A. Slominski, W. Jia, A. Rogiewicz, C. M. Nyachoti, D. Hickling // J Agric Food Chem. – 2012. – Volume 60. – P. 12225–12230.
17. Liener, I. E. Implications of antinutritional components in soybean foods / I. E. Liener // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. - 1994. – Volume 34 (1). – P.

31–67.

18. Hoeck, J.A. Influence of genotype and environment on isoflavone contents of soybean / Hoeck J.A., Fehr W.R., Murphy P.A. and Welke G.A. // *Crop Sci.* – 2000. – Volume 40 (1). – P. 48-51.

19. Sebastian, S. Implications of phytic acid and supplemental microbial phytase in poultry nutrition: a review / S. Sebastian, S. P. Touchburn, & E. R. Chavez // *World's Poultry Science Journal.* – 1998. – Vol. 54(1). – P. 27–47.

20. Ravindran, V. Response of broiler chickens to microbial phytase supplementation as influenced by dietary phytic acid and non-phytate phosphorous levels. II. Effects on apparent metabolisable energy, nutrient digestibility and nutrient retention / V. Ravindran, S. Cabahug, G. Ravindran, P. H. Selle & W. L. Bryden // *British Poultry Science.* – 2000. – Vol. 41(2). – P. 193–200.

21. Swiderska-Kiełbik, S. Occupational allergy: a major health hazard among food processing workers / S. Swiderska-Kiełbik, A. Krakowiak, T. Wittczak, C. Pałczyński // *Med Pr.* – 2005. – Volume 56. – P. 475–483.

22. Salgado, P. Comparative effects of different legume protein sources in weaned piglets: nutrient digestibility, intestinal morphology and digestive enzymes / P. Salgado, J. P. B. Freire, M. Mourato, F. Cabral, R. Toullec, J. P. Lallès // *Livestock Production Science.* – 2002. – Volume 74, Issue 2. – P. 191–202.

23. Bell, J. M. Factors affecting the nutritional value of canola meal: A review / J. M. Bell // *Canadian Journal of Animal Science.* – 1993. – Volume 73(4). – P. 689-697.

24. Wickramasuriya, S. S. A review of canola meal as an alternative feed ingredient for ducks / S. S. Wickramasuriya, Y. J. Yi, J. Yoo, N. K. Kang, J. M. Heo // *J Anim Sci Technol.* - 2015. – Volume 57. – P. 1–9.

25. Mejicanos, G. Recent advances in canola meal utilization in swine nutrition / G. Mejicanos, N. Sanjayan, I. H. Kim et al. // *J Anim Sci Technol.* – 2016. – Vol. 58 (7).

26. Khajali, F. Factors that affect the nutritive value of canola meal for poultry / F. Khajali, B. A. Slominski // *Poultry Science.* – 2012. – Volume 91, Issue 10. – P. 2564-2575.

27. Newkirk, R. W. The non-mineral nutritional impact of phytate in canola meal fed to broiler chicks / R. W. Newkirk, H. L. Classen // *Animal Feed Science and Technology.*

– 2001. - Volume 91, Issues 3–4. –P. 115-128.

28. Thacker, P. Effects of expeller pressed camelina meal and/or canola meal on digestibility, performance and fatty acid composition of broiler chickens fed wheat–soybean meal-based diets / P.Thacker, G. Widyaratne// Archives of Animal Nutrition. - 2012. –Volume66(5). – P. 402–415.

29. Zubr, J. Oil-seed crop: Camelina sativa / J. Zubr // Industrial Crops and Productsю – 1997. –Volume 6, Issue 2. – Pages 113-119.

30. Зотеев, В. С. Эффективность использования нетрадиционных источников протеина в комбикормах для лактирующих коров / В. С. Зотеев, Г. А. Симонов, Е. И. Писарев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 2. – С. 71-74.

31. Mingxin,Zh. Composition, functional properties, health benefits and applications of oilseed proteins: A systematic review / Zh. Mingxin, W. Ou, C. Shengbao, Zh. Lei, Zh. Liang // Food Research International. – 2023. - Volume 171.– P. 11306.

32. Arrutia, F. Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements / F.Arrutia, E.Binner, P Williams& K. W.Waldron // Trends in Food Science & Technology. – 2020. – Volume 100. – P. 88-102.

33. Nishinari, K.Soy proteins: A review on composition, aggregation and emulsification / K.Nishinari, Y.Fang, S. Guo& G. O.Phillips / Food Hydrocolloids. – 2014. – Volume 39. – P. 301–318.

34. Aider, M. Canola proteins: Composition, extraction, functional properties, bioactivity, applications as a food ingredient and allergenicity – A practical and critical review / M.Aider, C. Barbana// Trends in Food Science & Technology. – 2011. – Volume 22(1). – P. 21–39.

35. Raikos, V. Proteomic and glucosinolate profiling of rapeseed isolates from meals produced by different oil extraction processes / V.Raikos, M.Neacsu, G.Duthie, F.Nicol, M. Reid, L. L.Cantlay, V.Ranawana// Journal of Food Processing and Preservation. – 2017. – Volume41. - P. 13060.

36. Gao, K. Unraveling the mechanism by which high intensity ultrasound improves the solubility of commercial pea protein isolates / K.Gao, J. Rao, B.Chen

//Food Hydrocolloids. – 2022. – Volume 131. – P. 107823.

37. Wang, R. Combination of pulsed electric field and pH shifting improves the solubility, emulsifying, foaming of commercial soy protein isolate / R.Wang, L.-H. Wang, Q.-H. Wen, F. He, F.-Y. Xu, B.-R. Chen, X.-A. Zeng// Food Hydrocolloids. – 2023. – Volume 134. – P. 108049.

38. Kaur, R. Sunflower protein isolates-composition, extraction and functional properties / R.Kaur, G.Ghoshal //Adv Colloid Interface Sci. – 2022. – Volume 306. – P. 102725.

39. Puppo, C. Physicochemical modifications of high-pressure-treated soybean protein isolates / C.Puppo // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2004. – Volume 52(6). – P. 1564–1571.

40. Lee, K. Protein solubility characteristics of commercial soy protein products / K. H.Lee, H. S. Ryu, K. C. Rhee // J Amer Oil Chem Soc. – 2003. – Volume 80. – P. 85–90.

41. Zhao, G. Enzymatic hydrolysis and their effects on conformational and functional properties of peanut protein isolate / G.Zhao, Y. Liu, M. Zhao, J. Ren, B. Yang //Food Chemistry. – 2011. – Volume 127(4). – P. 1438–1443.

42. Wang, R. Combination of pulsed electric field and pH shifting improves the solubility, emulsifying, foaming of commercial soy protein isolate / R.Wang // Food Hydrocolloids. – 2023. – Volume 134. – P. 108049.

43. Tan, M. Effects of combined high hydrostatic pressure and pH-shifting pretreatment on the structure and emulsifying properties of soy protein isolates. / M. Tan et al. // Journal of Food Engineering. – 2021. – Volume 306, - P. 110622.

44. Achouri, A. Sesame protein isolate: Fractionation, secondary structure and functional properties / A.Achouri, V. Nail, J. I. Boye// Food Research International. – 2012. – Volume 46(1). – P. 360–369.

45. Cheung, L. Effect of pH and NaCl on the emulsifying properties of a Napin protein isolate / L.Cheung, J. Wanasundara, M. T. Nickerson // Food Biophysics. – 2014. – Volume 10. – P. 30–38.

46. Wang, R. Combination of pulsed electric field and pH shifting improves the

solubility, emulsifying, foaming of commercial soy protein isolate / R.Wang // Food Hydrocolloids. – 2023. – Vol. 134. –P. 108049.

47. Yu, J. Peanut protein concentrate: Production and functional properties as affected by processing / J.Yu, M.Ahmedna, I. Goktepe// Food Chemistry. – 2007. – Volume 103(1) – P. 121–129.

48. Zhong, M. M. Soy lipophilic protein self-assembled by pH-shift combined with heat treatment: Structure, hydrophobic resveratrol encapsulation, emulsification, and digestion / M. M.Zhong // Food Chemistry. – 2022. – Volume 394. –P. 133514.

49. Kim, W. Dairy and plant proteins as natural food emulsifiers / W.Kim, Y. Wang, C. Selomulya// Trends in Food Science & Technology. – 2020. – Volume 105. – P. 261–272.

50. Yang, J. Y. Characteristics and emulsifying properties of two protein fractions derived from the emulsion formed during aqueous extraction of Camellia oil / J. Y. Yang et al. // Food Hydrocolloids. – 2019. – Volume 87. – P. 644–652.

51. Murray, B. S. Stabilization of bubbles and foams / B. S. Murray // Current Opinion in Colloid & Interface Science. – 2007. – Volume 12. – P. 232–241.

52. de Oliveira, C. F. Soy protein hydrolysis with microbial protease to improve antioxidant and functional properties / C. F. de Oliveira// J Food Sci Technol. – 2015. – Volume 52. – P. 2668–2678.

53. Martínez, K. D. Interfacial and foaming properties of soy protein and their hydrolysates / K. D. Martínez, C. Carrera Sánchez, J. M. Rodríguez Patino, A. M. R. Pilosof// Food Hydrocolloids. – 2009. – Volume 23(8). – P. 2149–2157.

54. Ruíz-Henestrosa, V. P. Improving the functional properties of soy glycinin by enzymatic treatment. Adsorption and foaming characteristics / V. P. Ruíz-Henestrosa, C. C. Sanchez, J. J. Pedroche, F. Millan, J. M. Rodríguez Patino// Food Hydrocolloids. – 2009. – Volume 23 (2), - P. 377–386.

55. Liang, G. Modification of soy protein isolates using combined pre-heat treatment and controlled enzymatic hydrolysis for improving foaming properties / G. Liang // Food Hydrocolloids. – 2020. – Volume 105. – P. 105764.

56. Dabbour, M. Optimization of ultrasound assisted extraction of protein from

sunflower meal and its physicochemical and functional properties / M.Dabbour, R. He, H. Ma, A. Musa // *Journal of Food Process Engineering*. – 2018 - Volume 41. – P. 12799.

57. Shao, Y. Y.Modification of foaming properties of commercial soy proteinisolates and concentrates by heat treatments / Y. Y.Shao, K. H. Lin, Y. J. Kao // *Journal of Food Quality*. – 2016. – Volume 39. – P. 695–706.

58. Yang, J.Ultrasonic-assisted pH shift-induced interfacial remodeling for enhancing the emulsifying and foaming properties of perilla protein isolate / J. Yang et al.//*UltrasonicsSonochemistry*. – 2022. – Volume 89. – P. 106108.

59. Arntfield, S. D. Canola and other oilseed proteins / S. D. Arntfield // *In Handbook of Food Proteins*. – 2011. – P. 289–315.

60. Yang, X.Applications of mixed polysaccharideprotein systems in fabricating multi-structures of binary food gels—A review / X.Yang, A. Li, D. Li, Y. Guo, L. Sun // *Trends in Food Science & Technology*. – 2021. – Volume 109. – P. 197–210.

61. Bangar, S. P.Ultrasound-assisted modification of gelation properties of proteins: A review / S. P.Bangar, O. J. Esua, O. J. Sharma, R.Thirumdas// *J Texture Stud*. – 2022. – Volume53(6). – P. 763–774.

62. James, A. T.Influence of globulin subunit composition of soybean proteins on silken tofu quality. Absence of 11SA4 improves the effect of protein content on tofu hardness / A. T.James, A. Yang // *Crop and Pasture. Science*. – 2014. – Volume 65(3). – P. 268–273.

63. Chen, N.The effect of the pH on thermal aggregation and gelation of soy proteins / N.Chen // *Food Hydrocolloids*. – 2017. – Volume 66. – P. 27–36.

64. Yang, C.Impacts of pH and heating temperature on formation mechanisms and properties of thermally induced canola protein gels / C.Yang, Y. Wang, T. Vasanthan, L. Chen // *Food Hydrocolloids*. – 2014. – Volume 40. – P. 225–236.

65. Li, D.Soya protein beta-conglycinin ameliorates fatty liver and obesity in diet-induced obese mice through the down-regulation of PPARgamma / D.Li, R. Ikaga, T. Yamazaki // *Br J Nutr*. – 2018. – Volume 119(11). – P. 1220–1232.

66. Speaker, K. J. Effects of consuming a high-protein diet with or without soy protein during weight loss and maintenance: A non-inferiority, randomized clinical efficacy trial / K. J. Speaker // *ObesSciPract.* – 2018. - Volume 4. – P. 357–366.

67. Konya, J. The effects of soy protein and cocoa with or without isoflavones on glycemic control in type 2 diabetes, a double-blind, randomized, placebo-controlled study/ J.Konya, T. Sathyapalan, E. S. Kilpatrick, S. L. Atkin // *Front Endocrinol (Lausanne).* – 2019. – Volume 10. – P. 296.

68. Chakrabarti, S. Food-derived bioactive peptides in human health: Challenges and opportunities / S.Chakrabarti, S. Guha, K. Majumder // *Nutrients.* – 2018. – Volume 10(11). – P. 1738.

69. Han, R. Comparison of alcalase- and pepsin-treated oilseed protein hydrolysates –Experimental validation of predicted antioxidant, antihypertensive and antidiabetic properties / R.Han, A. J. Hernandez Alvarez, J. Maycock, B. S. Murray, C. Boesch // *Curr Res Food Sci.* – 2021. – Volume 4. – P. 141–149.

70. Lopez-Sanchez, J. Effects of heat and pH treatments and in vitro digestion on the biological activity of protein hydrolysates of *Amaranthushypochondriacus* L. grain / J.Lopez-Sanchez, E. Ponce-Alquicira, R. Pedroza-Islas, A. de la Pena-Diaz, J. Soriano-Santos // *J Food Sci Technol.* – 2016. – Volume 53. – P. 4298–4307.

71. Urbizo-Reyes, U. Physicochemical characteristics of chia seed (*Salvia hispanica*) protein hydrolysates produced using ultrasonication followed by microwave-assisted hydrolysis / U.Urbizo-Reyes, M. F. San Martin-González, J. Garcia-Bravo, A. Lopez ´ Malo Vigil, A. M. Liceaga // *Food Hydrocolloids.* – 2019. – Volume 97. – P. 105187.

72. Zhang, L. Dual-frequency multi-angle ultrasonic processing technology and its real-time monitoring on physicochemical properties of raw soymilk and soybean protein / L.Zhang // *Ultrasonics Sonochemistry.* – 2021. – Volume 80. – P. 105803.

73. Lan, T. Complexation between soy peptides and epigallocatechin-3-gallate (EGCG). Formation mechanism and morphological characterization / T.Lan // *Lwt.* – 2020. – Volume 134. – P. 109990.

74. Krishnan, H. B. Engineering soybean for enhanced sulfur amino acid

content / H. B. Krishnan// Crop Science. – 2005. – Volume 45. – P. 454–461.

75. Schwartz, J.-M. Partial replacement of β -casein by napin, a rapeseed protein, as ingredient for processed foods: Thermoreversible aggregation / J.-M. Schwartz // LWT - Food Science and Technology. – 2015. – Volume 63(1). – P. 562–568.

76. Yoshie-Stark, Y. Functional and bioactive properties of rapeseed protein concentrates and sensory analysis of food application with rapeseed protein concentrates / Y. Yoshie-Stark, Y. Wada, M. Schott, A. Wasche// LWT - Food Science and Technology. – 2006. – Volume 39(5). – P. 503–512.

77. Kaczmarska, K. T. Aroma characteristics of lupin and soybean after germination and effect of fermentation on lupin aroma / K. T. Kaczmarska, M. V. Chandra-Hioe, D. Frank, J. Arcot// Lwt - 2018. – Volume 87. – P. 225–233.

78. Nedele, A. K. Reduction of green off-flavor compounds: Comparison of key odorants during fermentation of soy drink with *Lycoperdon pyriforme* / A. K. Nedele, S. Gross, M. Rigling, Y. Zhang // Food Chem. – 2021. – Volume 334. – P. 127591.

79. da Costa Borges, V. Production of gluten free bread with flour and chia seeds (*Salvia hispanica* L) / V. da Costa Borges et al. // Food Bioscience. – 2021. – Volume 43. – P. 101294.

80. Salah, K. Effect of canola proteins on rice flour bread and mathematical modelling of the baking process / K. Salah, E. A. Olkhovatov, M. Aider // J Food Sci Technol. – 2019. – Volume 56. – P. 3744–3753.

81. Korus, J. Rapeseed protein as a novel ingredient of gluten-free bread / J. Korus, A. Chmielewska, M. Witczak, R. Ziobro, L. Juszczak// European Food Research and Technology. – 2021. – Volume 247. – P. 2015–2025.

82. Sebi, H. Effect of isoelectric precipitation and ultrafiltration treatment on extraction and physicochemical properties of proteins from date palm pollen / H. Sebi// Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2021. – Volume 16(2). – P. 103–110.

83. Wanasundara, J. P. Canola/rapeseed protein-functionality and nutrition / J. P. Wanasundara, T. C. McIntosh, S. P. Perera, T. S. Withana-Gamage, P. Mitra// OCl. –

2016. – Volume 23(4). –P. 407.

84. Verfaillie, D. A Systematic study of the impact of the isoelectric precipitation process on the physical properties and protein composition of soyprotein isolates / D.Verfaillie, F. Janssen, G. Van Royen, A. G. B. Wouters// Food Research International. – 2023. – Volume 163. – P. 112177.

85. Zhang, Z.Effect of pH regulation on the components and functional properties of proteins isolated from cold-pressed rapeseed meal through alkaline extraction and acid precipitation / Z.Zhang// Food chemistry. – 2020. – Volume 327. – P. 126998.

86. Lowenson, J. D. Deuteration protects asparagine residues against racemization / J. D.Lowenson, V. V. Shmanai, D. Shklyaruck, S. G. Clarke, M. S.Shchepinov // Amino Acids. – 2016. – Volume 48(9). – P. 2189–2196.

87. ГОСТ 11048-95 Жмых рапсовый. Технические условия [Текст]. – Введ. 1996-07-01. – М. : Стандартинформ, 1996. – 10 с.

88. Аксюк, Н. И. Химический состав новых источников пищи и их биологическая ценность / Н.И.Аксюк, И.Н.Пятницкая, В.И. Сомин // Журнал Всес. хим. общ-ва им. Д. И. Менделеева. – 1978. –Т. 23. – № 4. – С. 435- 442.

89. Богатырев, А.Н. Белковые препараты и композиты с заданными функциональными свойствами, и продукты их использования / А. Н. Богатырев// Пищевая промышленность. – 2000. – № 2. – С. 34 - 36.

90. Бочкарева, Э Б. Селекция рапса и сурепицы на качество шрота / Э.Б.Бочкарева, В.Ф.Шавло // Селекция и семеноводство масличных культур. – Краснодар, 1980. – С. 122- 126.

91. ГОСТ 134496.15-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира [Текст]. – Введ. 2018-01-01. – М. : Стандартинформ, 2020. – 10 с.

92. ГОСТ 30418-96 Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава. [Текст]. – Введ. 2016-01-01. – М. : Стандартинформ, 2019. – 10 с.

93. ГОСТ 30648.2-99 Продукты молочные для детского питания. Методы

определения общего белка[Текст]. – Введ. 2000-10-01. – М. : Стандартиформ, 2000. – 12 с.

94. ГОСТ Р 55569-2013 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение протеиногенных аминокислот методом капиллярного электрофореза. – Введ. 2015-07-01. – М. : Стандартиформ, 2010. – 9 с.

95. ГОСТ Р 26927-86 Сырье и продукты пищевые. Методы определения ртути[Текст]. – Введ. 1986-12-01. – М. : Стандартиформ, 2010. – 9 с.

96. ГОСТ 26932-Сырье и продукты пищевые. Методы определения свинца[Текст]. – Введ. 1986-12-01. – М. : Стандартиформ, 2019. – 10 с.

97. ГОСТ 26933-86 Сырье и продукты пищевые. Методы определения кадмия[Текст]. – Введ. 1982-12-01. – М. : Стандартиформ, 2019. – 10 с.

98. ГОСТ 10444.12-2013 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов[Текст]. – Введ. 2015-07-01. – М. : Стандартиформ, 2014. – 10 с.

99. ГОСТ 10444.15-94 Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов [Текст]. – Введ. 1996-01-01. – М. : Стандартиформ, 2010. – 12 с.

100. ГОСТ 1044.8 Продукты пищевые, консервы. Методы микробиологического анализа: Сб. ГОСТов. - М.: Стандартиформ, 2010. – 26 с.

101. ГОСТ 31747-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). – Введ. 1996-01-01. М.: Стандартиформ, 2013. – 30 с.

102. ГОСТ 10444.12-88 Продукты пищевые. Метод определения дрожжей и плесневых грибов. - М.: Издательство стандартов, 1989. – 302 с.

103. ГОСТ 26668-85 Продукты пищевые и вкусовые. Методы отбора проб для микробиологических анализов. - М.: Издательство стандартов, 1986. – 64 с.

104. Даниленко А. Н. , Дмитроченко А.П., Браудо Е.Е., Богомолов А.А. Зависимость гидролиза легуминакормовых от отношения фермент/субстрат // Прикладная биохимия и микробиология. - 1993. - № 29. - С. 404 - 411.

105. Доморощенкова, М.Л. Разработка технологии получения модифицированных белков из соевого шрота с использованием биотехнологических методов: Автореф. дис. канд. техн. наук. - С-Пб., 1991. - 36 с

106. Брошко, Д. В. Оценка биологической эффективности жирокислотного состава жмыха рыжика ярового / Д. В. Брошко, Д. А. Жигальцова // Инновационные тенденции развития российской науки: материалы XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых. Том часть 1 (8-9 апреля 2020 года, г. Красноярск). – Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т., 2020. – С. 326-329.

107. Брошко, Д. В. Исследование возможности обогащения мясных полуфабрикатов белковыми концентратами крестоцветных культур / Д. В. Брошко, Н. А. Величко // Вестник КрасГАУ. – 2023. – №1. – С. 171-177.

108. Курчаева Е.Е. Исследование условий ферментативного гидролиза белков чечевицы // Прогрессивные технологии и оборудование для пищевой промышленности: Тез. докл. 2-й Междунар. науч.-технич. конф. - Воронеж, 2004, С. 110-114.

109. Атакуемость белков в составе новых пищевых продуктов протеолитическими ферментами / Г.Л. Слонимский, Е.Е. Браудо, И.Д. Ертанов и др.// Вопросы питания. - 1970. - № 6. - С. 25-31.

110. Jeevan Kumar SP, Sustainable green solvents and techniques for lipid extraction from microalgae: A review. / Jeevan Kumar SP, Vijay Kumar G, Dash A, Scholz P, Banerjee R. // Algal Research. –2017. –Volume 21 – P. 138–147.

111. Castejón, N. Alternative oil extraction methods from *Echium plantagineum* L. seeds using advanced techniques and green solvents/ N. Castejón, P. Luna, FJ. Señoráns // Food Chemistry. –2018. – Volume 244 – P.75-82.

112. Mwaurah, P. W. Novel oil extraction technologies: Process conditions, quality parameters, and optimization. / PW. Mwaurah, S. Kumar, N. Kumar, AK. Attkan, A. Panghal, VK. Singh //Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2020. – Volume 19(1) – P.3–20.

113. Брошко, Д.В. Влияние продолжительности экстракции на выход растительного белка из рапса / Д.В. Брошко // Инновационные тенденции развития российской науки: материалы XVI международной научно-практической конференции молодых ученых (29-31 марта 2023 года, г. Красноярск)

114. Смольникова, Я.В. Применение ферментативного гидролиза для получения белковых концентратов из жмыха *Camelina Sativa* / Я.В. Смольникова, В.Л. Бопп, А.В. Коломейцев, О.В. Стутко, В.А. Ханипова, Д.В. Брошко // Техника и технология пищевых производств. – 2022.-№1. – С. 199-209.

115. Степура, М.В. Роль функциональных свойств белков в пищевой промышленности / М.В. Степура, В.Г. Лобанов // Известия вузов. Пищевая технология. – 2007. – № 5-6. – С. 25-26.

116. ГОСТ 33933-2016 Продукты диетического лечебного и диетического профилактического питания. Смеси белковые композитные сухие. Общие технические условия. – Введ. 2018.01.01. М.: Стандартинформ, 2019. – 30 с.

117. Толстогузов, В.Б. Новые формы белковой пищи: технологические проблемы и перспективы производства / В.Б. Толстогузов — М.: Агропромиздат, -303с.

118. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года N 880). – Текст : электронный // ГАРАНТ: [сайт]. – URL: <https://base.garant.ru/70106650/> (дата обращения: 20.03.2014).

119. Патент №2811926 «Комбикорм для скармливания годовикам форели в аквакультуре» / А.В. Коломейцев, Д.В. Брошко, Д.Д. Харебин, М.В. Горелов, О.А. Коленчукова, Е.А. Бирюкова / 10.01.2024, Бюл. №2. – 5 с.

120. Пахомова, О. Н. Разработка и использование функционального пищевого обогатителя из жмыха рапсового : специальность 05.18.15 "Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пахомова Ольга Николаевна. – Орел, 2014. – 162 с.

121. Ким, Д. В. Особенности состава рапса, его переработка и перспективы выращивания в сибирском регионе / Д. В. Ким // Пищевые инновации в биотехнологии : Сборник тезисов VI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Кемерово, 16 мая 2018 года / Под общей редакцией А.Ю. Просекова. Том 2. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2018. – С. 58-62.

122. Брошко, Д.В. Применение ферментативного гидролиза для получения белковых концентратов из жмыха *CamelinaSativa*/ Смольникова Я.В., Бопп В.Л., Коломейцев А.В., Стутко О.В., Ханипова В.А., Д.В. Брошко // Техника и технология пищевых производств. – 2022.-№1. – С. 199-209.

123. Типсина, Н. Н. Дипломное проектирование хлебопекарных, кондитерских, и макаронных / Н. Н. Типсина, Г. К. Селезнева // Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2015 – 420 с.

124. Гордеев, А.В. Экономика предприятий пищевой промышленности / /А. В. Гордеев. – М.:Агроколсалт,2003.

125. Журавская, Н. К. Исследование и контроль качества мяса и мясопродук-тов / Н. К. Журавская, Л. Т. Алехина, Л. М. Отряшенкова. – Москва : Агропроиз-дат, 1985. – 296 с.

126. Щербакова, Е. В. Семенная оболочка сои как источник пектиновых веществ / Е. В. Щербакова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2006. – № 1(290). – С. 13-14.

127. Abiad, M.G., Carvajal, M.T., Campanella, O.H., 2009 A review on methods and theories to describe the glass transition phenomenon: applications in food and pharmaceutical products. Food Eng. Rev. 1, 105–132.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение А Технические условия

КОД ОКП 10.89.19.140

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор
ООО «Белковый изолят»
И.В. Брошко
« 01.12.2024 г.

**Получение белкового препарата пищевого назначения**

Технические условия

ТУ 10.89.19.140-001- 71286885-2024

Введены впервые

Дата введения 1.12.2024

Красноярск, 2024

Приложение Б Акт внедрения в учебный процесс

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Департамент научно-технологической политики и образования
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Красноярский государственный аграрный университет»

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы

Настоящая справка выдано в том, что научно-исследовательская работа аспиранта ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» Брошко Д.В. по теме: «Разработка технологии получения белковых препаратов из отходов переработки масличных культур» внедрены в учебный процесс института пищевых производств на кафедре «Технология консервирования и пищевая биотехнология» при изучении дисциплин «Биоконверсия растительного сырья», «Основы научных исследований», «Методология науки о пище», «Производство комбинированных пищевых продуктов», студентами направления подготовки 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья, 19.03.03, 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения.

Ректор



Директор ИПП



И.И. Пыжикова

И.А. Наплыгина

Приложение В Акт внедрения и производственных испытаний

УТВЕРЖДАЮ

Директор
ООО ОПХ «Соляное»



Я.Я. Энгель

«30» декабря 2024

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по науке ФГБОУ ВО
Красноярский ГАУ



А.В. Коломейцев

«30» декабря 2024

АКТ ВНЕДРЕНИЯ результатов НИР

Настоящий акт подтверждает внедрение результатов выполнения научных исследований в рамках диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата наук по теме «Разработка технологии получения белковых препаратов из отходов переработки масличных культур» в ООО ОПХ «Соляное».

Отработанная методика производства пищевого белкового препарата из отходов масличного производства (жмых рапса сорт «Культис» после двукратного отжима масла) для получения нового пищевого продукта.

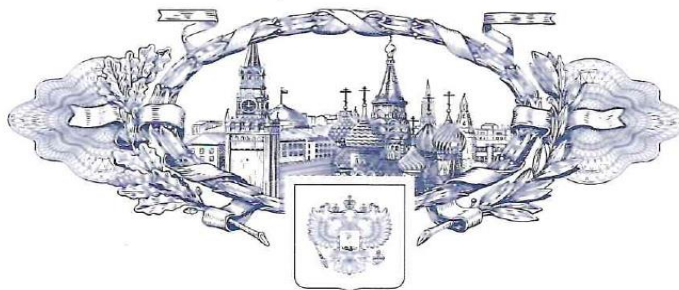
Результаты проведения производственных испытаний показал, что данная технология имеют значительный потенциал для внедрения в промышленность и могут способствовать развитию новых направлений в области создания функциональных продуктов питания, отвечающих современным требованиям потребителей. Технология получения белкового препарата пищевого назначения, включена в производственную программу ООО ОПХ «Соляное».

Научный руководитель темы

Д.В. Брошко

Приложение Д Патент «Комбикорм для скормливания годовикам форели
в аквакультуре»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2811926

**Комбикорм для скормливания годовикам форели в
аквакультуре**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Красноярский государственный аграрный университет"
(RU)*

Авторы: *Коломейцев Александр Владимирович (RU), Брошко
Доминик Василь (RU), Харебин Денис Дмитриевич (RU),
Горелов Михаил Владимирович (RU), Коленчукова Оксана
Александровна (RU), Бирюкова Елена Антоновна (RU)*

Заявка № 2022125856

Приоритет изобретения 03 октября 2022 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 18 января 2024 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 03 октября 2042 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

