

На правах рукописи

УДК 664.66.02.39.

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. И. РАЗЗАКОВА**

**Конкубаева Нурзат Ургазиевна**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И РЕЦЕПТУР  
ОБОГАЩЕННЫХ СУХИХ ЗАВТРАКОВ НА ОСНОВЕ  
ВОЗДУШНЫХ ЗЕРЕН ПШЕНИЦЫ**

**741000 – технология продовольственных продуктов**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по  
направлению 741000 – технология продовольственных продуктов

Научные руководители:

Д-р техн. наук, профессор

**Кулмырзаев А. А.**

Д-р инж. наук, профессор

**Рута Галобурда**

**Бишкек 2024**

# СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	13
1.1. Проблемы с питанием населения и пути их решения .....	13
1.2. Состояние и перспективы разработки готовых к употреблению продуктов.....	17
1.2.1. Способы получения взорванных зерен.....	19
1.2.2. Возможности обогащения сухих завтраков	25
1.3. Физико-химические изменения пшеницы при производстве взорванных зерен.....	29
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	34
2.1. Общая методологическая схема исследований.....	34
2.2. Объект исследования.....	34
2.3. Методы исследования.....	34
2.3.1. Используемые реактивы.....	36
2.3.2. Методы физико-химического анализа.....	36
2.3.3. Определение химического состава.....	39
2.3.4. Определение содержания летучих соединений.....	44
2.3.5. Определение фенольных соединений и антирадикальной активности.....	45
2.3.6. Определение содержания гидроксиметилфурфурола, акриламида, пестицидов и тяжелых металлов.....	47
2.3.7. Определение микробиологических показателей.....	48
2.3.8. Органолептические методы анализа.....	49
2.3.9. Математические методы обработки экспериментальных данных и методика составления математических моделей исследования.....	53
2.3.10. Расчет температурного коэффициента.....	59

2.3.11. Статистический анализ.....	59
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	60
3.1. Влияние технологической обработки на состав и свойства зерен пшеницы.....	60
3.1.1. Химический состав зерен.....	61
3.1.2. Профиль летучих соединений.....	65
3.1.3. Антиоксидантная активность веществ в составе пшеницы.....	66
3.1.4. Содержание 5-ГМФ и акриламида .....	69
3.2. Разработка оптимизированной рецептуры и технологии обогащенных сухих завтраков на основе воздушных зерен пшеницы...	71
3.2.1. Выбор и обоснование ингредиентов для производства сухих завтраков на основе воздушной пшеницы.....	72
3.2.2. Разработка оптимизированной рецептуры сухих завтраков на основе воздушных зерен пшеницы.....	83
3.2.2.1 Воздушная пшеница с ванилином (ВВ) .....	83
3.2.2.2 Воздушная пшеница с молочной сывороткой (ВМС).....	86
3.2.3. Технология обогащенных сухих завтраков на основе воздушных зерен пшеницы.....	95
3.2.4. Определение показателей качества и некоторых макро- и микронутриентов в составе новых видов сухих завтраков.....	98
3.2.4.1. Определение водорастворимых витаминов.....	98
3.2.4.2. Аминокислотный и минеральный профиль обогащенных сухих завтраков.....	100
3.3. Влияние добавок на состав и свойства готовой продукции.....	103
3.3.1. Химический состав.....	104
3.3.2. Показатели безопасности.....	106
3.3.3. Текстура.....	107
3.3.4. Цветность.....	109
3.3.5. Микроструктура.....	111

3.4. Исследование влияния продолжительности хранения на органолептические, физико-химические показатели целевых продуктов и установление срока их годности.....	115
3.4.1. Исследование изменения состава и свойств целевых продуктов в процессе хранения.....	116
3.4.1.1. Исследование изменения кислотного числа и органолептических показателей целевых продуктов для установления срока их годности.....	116
3.4.1.2. Содержание сухих веществ.....	119
3.4.1.3. Жирнокислотный состав.....	120
3.4.1.4. Профиль летучих соединений.....	124
3.4.1.5. Активность воды ( $a_w$ ).....	126
3.4.1.6. Текстура.....	127
3.4.1.7. Цветность.....	129
3.4.1.8. Антиоксидантные свойства.....	131
3.5. Промышленная апробация технологии новых видов сухих завтраков	136
3.5.1. Разработка нормативно-технической документации.....	136
3.5.2. Расчет отпускной цены сухих завтраков: воздушной пшеницы с ванилином и воздушной пшеница с молочной сывороткой.....	137
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	144
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	147
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	149
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	188

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

**АОАС** – Ассоциация официальных аналитических химиков (Association of Official Analytical Chemists)

**ВВ** – Воздушная пшеница с ванилином

**ВЗ** – Взорванные зерна пшеницы

**ВМС** – Воздушная пшеница с молочной сывороткой

**ВЭЖХ** – Высокоэффективная жидкостная хроматография

**ВДУП** – Верхний допустимый уровень потребления

**ГМФ** – Гидросиметилфурфурол

**ГХ-МС** – Газовая хроматография-масс-спектрометрия

**ГХЦГ** – Гексахлорциклогексан

**ДФПГ** – 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил

**ИВП** – Индекс водопоглощения

**ИВР** – Индекс водорастворимости

**ИЛ** – Изoleyцин

**Л** – Лейцин

**МНЖК** – Мононенасыщенные жирные кислоты

**МТЗ** – Масса тысячи зерен

**НЖК** – Ненасыщенные жирные кислоты

**НПВ** – Нерастворимые пищевые волокна

**НФП** – Норма физиологической потребности

**НИЗ** – Неинфекционные заболевания

**ОНФП** – Обеспечение нормы физиологической потребности

**ОПЖ** – Общая продолжительность жизни

**ОПЗЖ** – Ожидаемая продолжительность здоровой жизни

**ОСФ** – Общее содержание фенольных соединений

**ОПВ** – Общее количество пищевых волокон

**ПНЖК** – Полиненасыщенные жирные кислоты

**РИД** – Детектор показателя преломления

**РПВ** – Растворимые пищевые волокна

**ССЗ** – Сердечно-сосудистые заболевания

**СЭМ** – Сканирующий электронный микроскоп

**ТР (ЕС)** – Технический регламент Европейского Союза

**ТР ТС** – Технический регламент Таможенного союза

**УФ** – Ультрафиолетовое излучение

**ФАОСТАТ** – Общеорганизационная статистическая база данных ФАО

**ФС** – Фактическое содержание

**ФП** – Физиологическая потребность

**$a_w$**  – Активность воды

**FtFF** – Обогащения одних продуктов питания за счет других, более питательных (Food-to-food fortification)

**UNEP** – Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (United Nations Environment Programme)

**DIC** – Мгновенное контролируемое изменение структуры зерна (Détente instantanée contrôlée)

**EFSA** – Европейское управление по безопасности пищевых продуктов

**НАССР** – Анализ опасных факторов и критические контрольные точки (Hazard Analysis and Critical Control Points)

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Дефицит микронутриентов часто приводит к нарушению обмена веществ, снижению работоспособности и быстрой утомляемости, что является серьезной проблемой общественного здравоохранения, особенно в развивающихся странах. Это может привести к различным заболеваниям, включая инфекционные и хронические, и оказывать негативное воздействие на качество жизни. Обогащение продуктов питания считается одним из наиболее эффективных способов предотвращения недостатка микронутриентов [1, 2].

В настоящее время пищевая промышленность проявляет большой интерес к разработке новых продуктов питания, способных улучшить здоровье и общее самочувствие. Готовые сухие завтраки прочно вошли в рацион современного человека благодаря своей практичности и привлекательным потребительским свойствам [3]. Среди таких пищевых продуктов воздушные зерна, готовые к употреблению, могут быть отличным выбором для разработки на их основе новых сухих завтраков [4].

В контексте зеленой экономики возникает острая необходимость использования побочных продуктов пищевой промышленности в качестве полезных ингредиентов для продуктов питания. Например, фруктовые и овощные выжимки, пивная дробина, зерновые отруби и молочная сыворотка могут стать отличными источниками питательных и экологически чистых ингредиентов [5]. Применение молочной сыворотки в производстве новых продуктов питания не только способствует созданию полезных продуктов, но и снижает негативное воздействие на окружающую среду, поскольку во многих странах большая доля сыворотки сбрасывается без обработки в почву или водоемы [6]. Сыворотка широко применяется в качестве ингредиента при производстве напитков, соусов, чипсов, хлеба, макарон, тортов, суфле и других продуктов [7].

Таким образом, актуальными являются исследования в области разработки обогащенных сухих завтраков с использованием молочной сыворотки. Это позволит создать продукты на основе безотходной технологии, способствующие улучшению питания населения, что соответствует требованиям Программы продовольственной безопасности и питания Кыргызской Республики на 2019–2023 годы [8] и Глобальному плану действий Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по неинфекционным заболеваниям (НИЗ) по снижению преждевременной смертности от НИЗ на 25% к 2025 году путем предоставления ключевых рекомендаций по питанию [9].

Работа выполнена в научно-исследовательских лабораториях Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (Кыргызская Республика), Латвийского университета естественных наук и технологий (Латвия), Кыргызско-Турецкого университета «Манас» (Кыргызская Республика), Алматинского технологического университета (Республика Казахстан), а также на базе ОсОО «Макый-Дан» (Кыргызская Республика).

Настоящее исследование поддержано Латвийской государственной стипендией (Договор № 2.5.–18/6, 2022 г).

**Цель и задачи работы.** Целью данной работы является разработка технологии и рецептуры готовых к употреблению обогащенных сухих завтраков из взорванных зерен пшеницы.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- изучение и анализ научно-технической и патентной литературы по теме исследования;
- исследование влияния технологических процессов получения взорванных зерен пшеницы на их физико-химические свойства и показатели безопасности;
- оптимизация рецептуры сухих завтраков на основе взорванных зерен пшеницы путем введения в их состав ванилина и сухой молочной сыворотки;
- разработка технологии новых видов сухих завтраков;

- определение показателей качества целевых продуктов и содержания в них некоторых биологически активных веществ;
- исследование влияния добавленных ингредиентов на текстурные, физико-химические свойства и показатели безопасности готовых продуктов;
- определение предельного срока годности предлагаемых сухих завтраков;
- разработка и утверждение нормативно-технической документации, промышленная апробация технологии производства предлагаемых продуктов, промышленный выпуск новых видов сухих завтраков.

**Научная новизна.** Научная новизна диссертационной работы заключается:

- в обосновании и экспериментальном подтверждении целесообразности применения ванилина и порошка молочной сыворотки для обогащения сухих завтраков из взорванных зерен пшеницы;
- в выявлении влияния технологических процессов получения взорванных зерен пшеницы (шелушение, увлажнение, термическая обработка – «взрывание») на их физико-химические, текстурные свойства и показатели безопасности;
- в разработке математической модели для оптимизации содержания биологически активных веществ в рецептуре сухих завтраков на основе взорванной пшеницы;
- в экспериментальном подтверждении повышения содержания витаминов группы В, аминокислот и минеральных веществ в результате добавления порошка молочной сыворотки в рецептуру сухих завтраков на основе взорванной пшеницы. Доказано, что внесение сухой молочной сыворотки обеспечивает суточную потребность в пиридоксине на 5,15%, тиамине – 4,42%, рибофлавине – 4,38%, калие – 6%, кальции – 14%, магнии – 20%, железе – 15%, марганце – 50% и цинке – 6,6% при потреблении 100 г продукта;
- в выявлении влияния добавленных пищевых ингредиентов (сахар, подсолнечное масло, ванилин, порошок молочной сыворотки) на физико-

химические и текстурные свойства, а также на показатели безопасности готовых продуктов;

- в установлении влияния условий хранения на физико-химические, реологические и органолептические показатели готовых продуктов, что позволило определить их срок годности.

### **Практическая значимость работы**

Разработана технология производства сухих завтраков: воздушной пшеницы с ванилином и воздушной пшеницы с молочной сывороткой.

Разработан и утвержден технический документ на сухие завтраки - ТУ 10.61.33 – 001 – 24446338 – 2022 воздушная пшеница с ванилином и воздушная пшеница с молочной сывороткой.

Получен патент КР на изобретение №1469 «Бадырак ванильный».

Проведена промышленная апробация технологий воздушной пшеницы с ванилином и воздушной пшеницы с молочной сывороткой на предприятии ОсОО «Макый-Дан», Кыргызская Республика, с последующим серийным выпуском и организацией продажи воздушной пшеницы с ванилином под названием «Бадырак ванильный».

**Методы исследования.** В работе использовались химические, физико-химические, органолептические, микробиологические, реологические методы исследования свойств сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов.

Объектами исследования были:

- пшеница, взорванные зерна пшеницы;  
- воздушная пшеница с ванилином, воздушная пшеница с молочной сывороткой.

### **Положения, выносимые на защиту:**

- результаты исследований по изменению текстурных свойств, физико-химических показателей и показателей безопасности при получении взорванной пшеницы;

- научное обоснование применения порошка молочной сыворотки и ванилина для повышения пищевой ценности и улучшения органолептических показателей сухих завтраков из взорванной пшеницы;

- результаты исследований по определению изменений текстурных свойств, органолептических и физико-химических показателей разработанных сухих завтраков при применении добавленных ингредиентов и в процессе хранения;

- апробация технологии разработанных продуктов в условиях промышленного производства с доказанной целесообразностью выпуска новых сухих завтраков в промышленном масштабе, что подтверждается актами.

**Степень достоверности результатов.** Достоверность полученных результатов подтверждается многократным (3-9) проведением экспериментов с использованием стандартных и современных методов исследования, статистической обработкой результатов эксперимента, а также апробацией результатов исследования на международных конференциях и на производстве. Результаты опубликованы в рецензируемых изданиях, в том числе в журналах, входящих в базу данных Scopus, а также получен патент КР на изобретение.

**Личный вклад соискателя** заключается в определении цели и задачи исследований, проведении экспериментальных исследований и обработке их результатов, написание научных статей, докладов на международных конференциях и заявки на изобретение.

**Апробация результатов исследования.** Основные положения и результаты диссертационной работы представлены на: Научно-практической конференции: «Инновационные технологии в сфере питания, сервиса и торговли» (РФ, Екатеринбург, 2014); 16-ой Балтийской конференции по пищевым наукам и технологиям FOODBALT 2023 «Традиционное и нетрадиционное в питании будущего» (Латвия, Елгава, 2023); Ежегодной 29-ой Международной научной конференции «Исследования для сельского хозяйства 2023» (Латвия, Елгава, 2023); 22-ом Всемирном конгрессе пищевой науки и

технологий (PUFoST 2024) «Будущее продуктов питания сейчас: развитие, функциональность и устойчивость» (Италия, Римини, 2024 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 9 работ, включая 3 статьи в научных журналах, входящих в базу данных Scopus, а также получен патент КР на изобретение.

**Структура и объем работы.** Диссертация включает введение, обзор литературы и 3 главы, в которых представлены результаты исследований и их обсуждение, заключение, список литературы и приложения. Диссертационная работа изложена на 148 страницах компьютерного набора, содержит 46 таблиц и 14 рисунков. Список литературы включает 306 отечественных и зарубежных источников.

# ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1. Проблемы с питанием населения и пути их решения

Питание играет ключевую роль в поддержании здоровья человека. Недостаток или избыток питательных веществ, а также употребление продуктов с высоким содержанием трансжиров и простых углеводов могут привести к серьезным проблемам со здоровьем, включая замедление роста, ожирение и развитие хронических заболеваний. Сбалансированное питание, напротив, способствует укреплению иммунитета и повышению качества жизни [4, 10, 11].

Во всем мире один из двух детей дошкольного возраста и две из трех женщин репродуктивного возраста страдают от дефицита микроэлементов [12]. Дефицит микроэлементов может иметь значительные негативные последствия для выживания человека, его умственного и физического развития, что в свою очередь негативно влияет на экономику страны в целом [13]. Во всем мире более 2 миллиардов человек испытывают дефицит витаминов и минералов, особенно витамина А, йода, железа и цинка [14]. Наиболее уязвимыми являются дети, которым для роста требуются витамины, минералы и другие незаменимые вещества [15].

Уровень жизни населения принято измерять ожидаемой продолжительностью жизни (ОПЖ). В опубликованных отчетах Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в декабре 2020 года ОПЖ развитых стран, таких как Япония, Сингапур, Италия, Австралия, Швейцария и Республика Корея, составляет 84,3 лет (2019), а ожидаемая продолжительность здоровой жизни (ОПЗЖ) составляет 71,0-74,1 лет. В Кыргызстане ОПЖ равна 73,2-74,2 лет, а ОПЗЖ равна в среднем 71,7 лет [16]. Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются одной из основных причин смертности в Кыргызской Республике и составляют около 50,1% всех смертных случаев [17]. Нерациональное питание населения Кыргызстана отрицательно сказывается на здоровье и продолжительности жизни. В Кыргызстане распространены

заболевания, связанные с несбалансированным питанием, в частности, дефицит витаминов, минеральных элементов и незаменимых аминокислот. Дефицит жизненно важных веществ отражается на умственном и физическом развитии детей и подростков [18]. По данным ФАОСТАТ, распространенность недоедания составляет 4,8% (2020–2022), анемии среди женщин репродуктивного возраста – 35,8% (2019), среднее обеспечение белками животного происхождения – 35,3 г на душу населения (2018–2020), а распространенность ожирения среди взрослого населения (18 лет и старше) – 16,6% (2016) [19].

В последние несколько десятилетий растет распространенность заболеваний, связанных с питанием. Поэтому здоровое питание становится все более важным и широко внедряется, чтобы увеличить продолжительность и улучшить качество жизни [20, 21]. Несколько глобальных и национальных обязательств сыграли решающую роль в улучшении питания. Цели в области устойчивого развития 2 и 3 Организации Объединенных Наций (ООН) устанавливают широкие целевые показатели по искоренению всех форм неполноценного питания и снижению преждевременной смертности от неинфекционных заболеваний (НИЗ) к 2030 году. Кроме того, Глобальный план действий Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по НИЗ направлен на снижение к 2025 году преждевременной смертности от НИЗ на 25% [9].

Здоровье населения традиционно является приоритетом государственной политики в Кыргызской Республике. Программа продовольственной безопасности и питания Кыргызской Республики на 2019–2023 годы является основой для последующей разработки и пересмотра программ других приоритетных направлений по вопросам здоровья [8].

На основании рекомендаций ВОЗ и Продовольственной сельскохозяйственной организации (ФАО) (2006) существует четыре подхода, направленных на устранение дефицита питательных микроэлементов – диверсификация рациона, введение добавок, обогащение пищевых продуктов и просвещение в области питания [22]. В последние годы для восполнения дефицита микроэлементов все чаще практикуется добавление к пищевым

продуктам других продуктов, богатых биологически активными веществами [23].

Недавно ученые разработали новую стратегию еды: обогащение пищевых продуктов (Food-to-food fortification - FtFF). Стратегия предполагает повышение содержания интересующих микроэлементов в конкретном продукте питания за счет использования богатых питательными веществами, недорогих и местных продуктов (растительных или животных) в качестве обогатителя [22, 24]. В опубликованных работах *Chadere* и др. [25] FtFF определяют как метод, в котором используется богатый микроэлементами, доступный на местном уровне растительный или животный продукт для обогащения других продуктов питания [22].

Существуют определенные технические проблемы, связанные с традиционным обогащением, в том числе: потеря питательных веществ, воздействие солнечного света на обогащенные продукты питания во время розничной торговли, нерегулярный внутренний и внешний мониторинг производства, а также некачественные протоколы контроля качества, которым следуют компании. Обеспечение системы нормативного мониторинга, которая призвана соответствовать национальным стандартам обогащения продуктов питания, является еще одной важной задачей, с которой приходится сталкиваться при обычном обогащении [26]. С такой проблемой особенно сталкиваются развивающиеся страны, которые могут не обладать ресурсами для эффективного мониторинга соблюдения правил и стандартов обогащения производителями. Сообщалось, что поток средств, необходимых для проведения мониторинга, оказывает существенное пропорциональное влияние на эффективность выявления и применения несоответствующих и недостаточно обогащенных продуктов [26].

С проблемами, связанными с традиционным обогащением продуктов питания, охватом целевых групп населения, предотвращением чрезмерного потребления обогащенных продуктов среди нецелевых групп и мониторингом состояния целевых групп населения, сталкиваются во всех странах, где

предпринимаются попытки обогащения продуктов питания с целью повышения потребления питательных веществ и качества питания населения [27].

Исследователи прилагают постоянные усилия к разработке богатых питательными веществами и экономичных продуктов питания, используя стратегию FtFF. И традиционное обогащение, и FtFF направлены на повышение питательной ценности обогащенных пищевых продуктов, но FtFF направлен на повышение содержания питательных веществ путем добавления биодоступных пищевых ингредиентов [28]. Крайне важно, чтобы ингредиенты, рассматриваемые в качестве обогатителя, были недорогими и легкодоступными для населения, чтобы избежать дефицита обогащенных продуктов питания [29]. Поэтому важно найти стратегию, где будет применяться доступный обогатитель, как с финансовой, так и с физической точек зрения, предназначенный для целевой группы населения.

Отчет об индексе пищевых отходов Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (UNEP) показал, что в 2019 году было произведено около 931 млн т пищевых отходов [30]. В 2020 году в Европе было произведено почти 148 млн т молока, и почти 50% этого молока было использовано для производства сыра, где ~ 80-90% объема молока выделяется в виде сыворотки, в результате чего получается 54,8 млн т жидкой сыворотки [31]. В 2020 году в Кыргызстане было произведено 7442,9 т сыра [32]. Согласно данным *Guimarães* и др. [33], из 10 л молока, используемого при производстве сыра, получается 9 л сыворотки. Следовательно количество сыворотки, образовавшейся в 2020 году, составило 66986,1 т, которые сбрасывались в канализацию. Очевидно, что создание безотходной технологии является важной задачей перерабатывающей промышленности. Помимо спроса на продукты, польза для здоровья которых связана с их составом, потребители также заинтересованы в таких продуктах, производство которых оказывает меньшее вредное воздействие на окружающую среду [4].

Сухие завтраки, готовые к употреблению, становятся все более популярными среди потребителей из-за их удобства в употреблении, легкости

приготовления и хранения, а также невысокой стоимости, притягательного внешнего вида и текстуры [3]. Среди таких пищевых продуктов воздушные зерна, готовые к употреблению, могут стать отличной основой для создания новых видов сухих завтраков [4]. Процесс получения взорванных зерен считается экологически безопасным, поскольку не приводит к образованию вредных отходов [4]. Повышение питательных качеств воздушных зерен может быть достигнуто за счет использования побочных продуктов пищевой промышленности, которые имеют низкую стоимость, но являются богатыми источниками антиоксидантов, минералов и других незаменимых веществ.

Продукты, полученные из цельного зерна, вызывают большой интерес среди потребителей, так как фракции зародышей и отрубей содержат питательные вещества: пищевые волокна, минералы, антиоксиданты, витамины и другие [34]. Цельнозерновые продукты содержат больше амилозы и полезны для здоровья человека за счет содержания резистентного крахмала [35]. Зерновые культуры, чаще всего входящие в состав сухих завтраков, включают кукурузу, пшеницу, рис, овес и разные виды проса [36]. Популярность и спрос на обработанные продукты на основе пшеницы растут с ростом численности населения. Большая часть человечества сегодня зависит от пшеницы как основного средства к существованию [35]. Пшеница – источник белка, минералов, витаминов, а также пищевых волокон для большинства людей [37]. В последнее время воздушные зерна благодаря их питательной ценности, простоты, скорости приготовления широко используются в качестве готовых к употреблению продуктов как для взрослых, так и для детей [38].

## **1.2. Состояние и перспективы разработки готовых к употреблению продуктов**

Предпочтения в потреблении продуктов питания в последние годы меняются. В связи с изменением образа жизни потребителей значительно растет спрос на готовую к употреблению продукцию. Ожидается, что готовые к

употреблению зерновые продукты будут удовлетворять основные потребности в питательных веществах в ежедневной жизни человека [39]. Готовые к употреблению продукты для завтрака представляют собой обработанную зерновую смесь, пригодную для употребления без дальнейшего приготовления в домашних условиях [40]. Их изготавливают в основном из кукурузы, пшеницы, овса или риса, обычно с добавлением вкусовых и обогащающих ингредиентов. Подобные завтраки из злаков широко вошли в обиход в Соединенных Штатах Америки во второй половине XIX века. Большинство готовых к употреблению зерен можно сгруппировать в 12 категорий: хлопья (кукурузные, пшеничные и рисовые), включая экструдированные хлопья; взорванные цельнозерновые; экструдированные воздушные крупы; крупы дробленые цельнозерновые; крупы экструдированные; крупы слоеные; крупы гранулированные; крупы экструдированные вспученные; печенье из крупы; хлопья прессованные; мюсли; измельченная пшеница с начинкой [40].

Сухие завтраки стали неотъемлемой частью рациона питания во многих странах. В Европе в год на одного человека употребляется в среднем до 2 кг сухих завтраков, а в Ирландии – до 8 кг [41]. В Великобритании 90% населения используют чипсы и хрустящие закуски во время обеда [5]. В Соединенных Штатах Америки около 27% дневного потребления энергии детьми приходится на снеки, а у взрослых на снеки приходится 23% дневного потребления энергии [42]. Согласно данным Национального статистического комитета Кыргызской Республики, употребление готовых продуктов, полученных путем вздувания или обжаривания зерна, с 2019 по 2022 год составило: 2019 год – 1547,1 т; 2020 год – 3545,4 т; 2021 год – 4601,5 т; 2022 год – 19086,8 т [32], что демонстрирует их устойчивый рост. Зерновые являются основой для создания широкого ассортимента готовых к употреблению продуктов питания, от классических хлопьев до функциональных ботончиков [34].

С давних времен кыргызы также готовили сушеные пищевые концентраты из зерновых продуктов, такие как «Гулазык» и «Бадырак». «Гулазык» это традиционный продукт кыргызского народа, который представляет собой

сушеный мясной продукт, богатый питательными веществами. Его ели воины или путешественники. Для приготовления Бадырака в горячий казан бросают предварительно очищенные и увлажненные зерна пшеницы. В результате этого процесса зерна взрываются, приобретая легкую и хрустящую текстуру. Бадырак традиционно употребляется при различных обстоятельствах, будь то национальные праздники, свадьбы или просто в качестве вкусной закуски.

### **1.2.1. Способы получения взорванных зерен**

Существуют различные методы получения взорванных зерен пшеницы, кукурузы, риса, проса и других культур. Взорванные продукты получают различными путями: экструзией, взрыванием в микроволновой печи, обычным методом сухого нагревания, обработкой горячим песком и солью, обработкой в горячем масле, взрыванием в «пушке» с перепадом давления, с применением инфракрасных (ИК) аппаратов и другими методами обработки [43].

*Применение сухого нагрева.* Подготовленные зерна обрабатываются в духовке или на плите с добавлением растительного масла. Также зерна обрабатываются в предварительно нагретом горячем песке. Сухой нагрев в духовке представляет собой сочетание конвекции и излучения. При обжарке в песке предварительно желатинизированные крупы обрабатывают горячим песком с температурой около 250 °С. Из-за внезапной температурной разницы образовавшаяся внутри зерен влага выходит через микропоры, увеличивая при этом в размерах крахмалистый эндосперм [44].

Крупы, взорванные в духовке, изготавливаются исключительно из риса и кукурузы. Зерна этих культур набухают при высокой температуре и определенном содержании влаги, при достижении температуры 290 – 340 °С взрываются и поджариваются в печках примерно 1,5 минуты, затем охлаждаются [40].

*Применение специального взрывающего устройства – «пушка».* Этот метод является наиболее безопасным для здоровья и окружающей среды. Метод

взрывания зерен с помощью «пушки» (рис. 1.1) широко применяется в производстве различных сухих завтраков.

Такая тепловая обработка придает продуктам приятный вкус и желаемый аромат. При использовании этого метода зерна подвергаются краткосрочному воздействию высоких температур. При этом одновременно происходит желатинизация и расширение крахмала. Взрывание «пушкой» — это процесс, при котором подготовленные зерна вводятся в пушку или камеру высокого давления после предварительного нагрева, а затем перегретый пар подается в

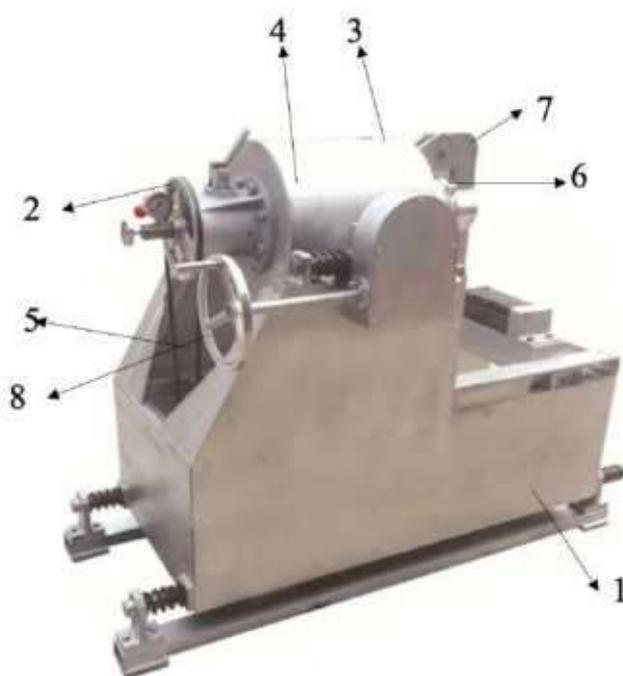


Рисунок 1.1 – Взрывающее устройство «пушка» для производства взорванных зерен [45]

1 – корпус; 2 – привод; 3 – кожух; 4 – вращающийся барабан; 5 – штуцер подвода газа; 6 – крышка барабана; 7 – фиксатор крышки; 8 – фиксатор положения барабана.

закрытую вращающуюся камеру. По истечении определенного периода времени давление в камере внезапно сбрасывается для получения воздушного зерна. Предварительно зерна увлажняют от 14 до 26% в зависимости от вида зерен и выдерживают определенное время при температуре 35-40 °С [46-48].

**Применение энергии микроволн.** При получении взорванных зерен в микроволновой печи влага является движущей силой микроволнового расширения крахмалистых зерен. При нагревании крахмал теряет влагу и расширяется [49]. Во время микроволнового расширения зерен микроволновая энергия нагревает продукт за счет вибрации, передаваемой влаге. При нагревании влага генерирует необходимый для расширения перегретый пар, который накапливается, создавая высокое давление. Зерновая масса начинает поддаваться воздействию высокого давления перегретого пара и происходит расширение. По мере потери влаги из матрицы и прекращения микроволнового нагрева, матрица остывает, возвращается в стеклообразное состояние, а вздутое зерно приобретает твердую и хрустящую консистенцию [44].

**Применение экструзионной обработки.** Экструзионное приготовление - это технология обработки, которая широко используется в пищевой промышленности с 1960-х годов [50]. Экструдеры представляют собой устройства непрерывной обработки, основанные на шнековой системе, и могут быть разделены на одношнековые и двухшнековые экструдеры. Экструдер обычно состоит из бункера, цилиндра, шнека, матрицы, режущего устройства, устройства для регулирования температуры, отверстия (для впрыска пара, воды и других жидкостей), измерительного прибора и привода [51]. Сущность метода заключается в том, что зерно подвергается кратковременному, но очень быстрому механическому и баротермическому воздействию за счет высокой температуры (120-180 °С), давления (около 3-5 МПа) и сдвиговых усилий в винтовых рабочих органах экструдера, в результате чего меняется структурно-механический и химический состав исходного сырья [52].

Экструзия — это универсальный процесс, включающий операции смешивания, варки, резки и формования, которые в конечном итоге могут привести к расширению продукта. Желаемые характеристики продукта можно достичь, регулируя влажность сырья, температуру барабана, частоту вращения шнека, давление, диаметр шнека и другие параметры экструзии. Преимуществами экструзионной технологии являются ее скорость, высокая

производительность, универсальность и низкое энергопотребление. Экструдер может смешивать несколько ингредиентов, что полезно при разработке новых продуктов [53]. Базовая конструкция экструдера представлена на рис. 1.2.

Процесс экструзии обеспечивает простоту эксплуатации и возможность производить продукты различных желаемых размеров, форм и текстур [3].

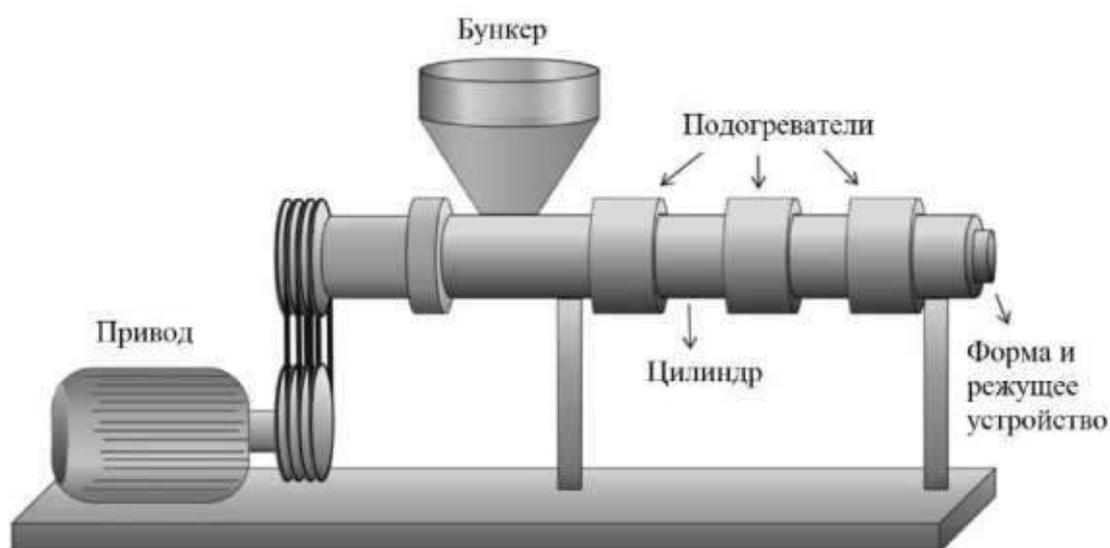


Рисунок 1.2 – Базовая конструкция экструдера [53]

Экструдированные воздушные хлопья производятся из муки. Приготовление воздушных продуктов обычно происходит в экструдерах. Затем приготовленному тесту придают форму посредством экструзии через матрицу. Экструзионные продукты получают из пшеницы, кукурузы, картофеля и риса. Другие ингредиенты, полученные из фруктов и овощей, используются в небольших количествах в основном для придания продукту питательной ценности [54]. Добавляемые ингредиенты могут изменить свойства получаемого продукта [55].

Экструдированные воздушные снеки часто приправляются сыром, маслом, перцем чили, луковым или чесночным порошком и многими другими специями. Однако проблемы со здоровьем заставляют многих потребителей сокращать употребление таких продуктов, поскольку многие из них содержат 25% масла, содержащего насыщенные жирные кислоты, а также высокое содержание

трансжирных кислот. С другой стороны, их основными ингредиентами являются злаки, которые содержат мало белка и незаменимых аминокислот, особенно лизина [56].

Экструзия — это высокопроизводительная технология обработки, которая используется все чаще для повышения функциональности пищевых продуктов.

**Применение взрывного надувания.** При взрывном надувании под высоким давлением и при высокой температуре, схема которого представлена на рис. 1.3., продукт меняет свою консистенцию. Происходит самоиспарение влаги из его внутренних частей при быстром сбросе давления до атмосферного, что придает пористую структуру пищевым продуктам [57]. Фаза внезапной декомпрессии, во время которой продукт испытывает необратимый адиабатический переход, считается отличительной фазой технологии взрывного надувания. Эта декомпрессия приводит к частичному самоиспарению влаги из продукта и вызывает его «взрыв» [58].

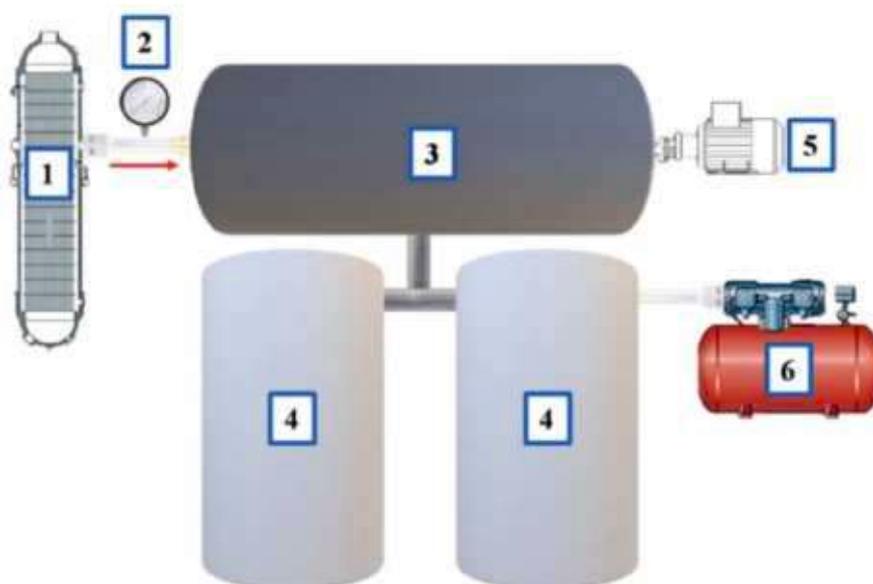


Рисунок 1.3 – Схема взрывного надувания [59]

1 – парогенератор; 2 – декомпрессионный клапан; 3 – вакуумная камера; 4 – камера взрывного надувания; 5 – вакуумный насос; 6 – воздушный компрессор.

Взрывное надувание также известно как текстурирование с мгновенным контролируемым падением давления (по-французски *Détente instantanée contrôlée* (DIC)). Взрывное надувание и DIC имеют один и тот же механизм и принцип, однако условия обработки различаются [60]. При взрывном надувании с нагревом давление становится выше атмосферного. Под таким давлением крышка сосуда открывается и сосуд разжимается, что вызывает надувание материала, в то время как при CID в сосуде создается вакуум [61]. Взрывное надувание широко применяется для сушки высококачественных пищевых продуктов, включая чипсы, снеки, сухофрукты, порошки и другие. Такая сушка обеспечивает пористую структуру и высокую степень сохранения фенольных соединений [62].

Процесс вздутия является универсальным, высокопроизводительным, недорогим и энергоэффективным [5]. Этот метод приготовления не только универсален и экологичен. Он снижает рост микробов и уничтожает некоторые антипитательные факторы в пищевых продуктах [50]. Несмотря на то, что готовые к употреблению вздутые продукты зачастую бедны питательными веществами, они являются популярными продуктами питания во всем мире благодаря своему удобству и приятным сенсорным и текстурным характеристикам, которые так привлекательны для потребителей [59].

***Применение инфракрасных лучей.*** Одним из перспективных методов получения взорванных зерен является обработка зернового сырья инфракрасным излучением. При такой обработке инфракрасные лучи нагревают зерна по всему объему за короткий промежуток времени, что способствует сохранению витаминов и биологически активных веществ. Инфракрасную обработку проводят при одностороннем облучении мощностью лучистого потока 32-34 кВт/м<sup>2</sup> в течение 30 с до температуры продукта 115-120 °С. Вода, превращаясь в пар, создает избыточное давление, в результате чего эндосперм растягивается. Далее в течение 120 с при температуре 100 °С крупа варится, вследствие чего увеличивается пищевая ценность и усвояемость готового продукта. Последующая обжарка завершает процесс приготовления зерен. Полученный

продукт с остаточной влажностью до 6-8% имеет хрустящую текстуру и готов к употреблению [57]. Установка для инфракрасной обработки сырья представлена на рис. 1.4.

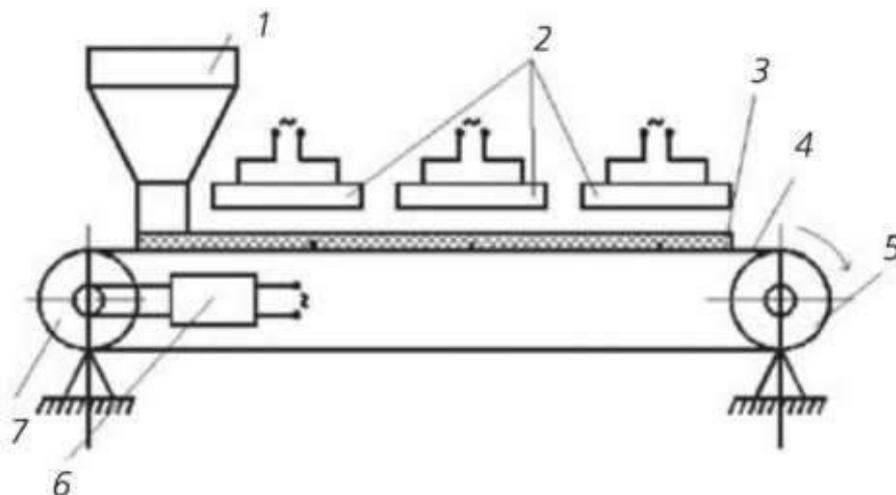


Рисунок 1.4 – Установка для инфракрасной обработки сырья [57]

1 – бункер-дозатор с подъемным шибером; 2 – терморрадиационные блоки; 3 – продукт; 4 – металлическая сетка; 5 – натяжной барабан; 6 – электродвигатель с частотным регулированием оборотов; 7 – приводной барабан.

Наибольшее влияние на выбор продуктов питания, кроме вкусовых качеств, оказывают доступность, стоимость и питательная ценность пищевого продукта, поэтому необходимо сосредоточиться на разработке продуктов с отмеченными свойствами. Таким образом, вздутые продукты на основе злаков с низкими питательными качествами, употребляемые чаще других, представляют собой отличную область для разработки новых здоровых и полезных продуктов, готовых к употреблению.

### 1.2.2. Возможности обогащения сухих завтраков

Обогащение продуктов питания добавлением или заменой пищевых ингредиентов является одним из безопасных направлений повышения питательной ценности новых продуктов. В последнее время растет интерес к обогащению пищевых продуктов в качестве устойчивой стратегии устранения дефицита незаменимых веществ и стремления к функциональным продуктам

питания [63]. Злаки служат богатым источником энергии и олигосахаридов, однако в них содержится ограниченное количество незаменимых аминокислот, таких как, например, лизин [64]. Чтобы удовлетворить растущий спрос на этот вид продуктов, необходимо искать новые рецептуры, разнообразить вкусы и свойства и обогащать незаменимыми веществами (витаминами, аминокислотами, минералами и др.), которые не синтезируются в организме человека. Антиоксидантные свойства экструдированных снеков из пшеницы улучшены добавлением сырого ликопина, томатного порошка и экстрактов шафрана [65]. Исследование авторов [66] направлено на использование кокоса в качестве компонента при производстве сухих завтраков из кукурузы, в результате чего получены продукты с повышенным содержанием белков, жиров, золы, клетчатки, углеводов и энергии. Разработаны хлопья из муки цельнозерновой пшеницы, белой кукурузы, ячменя и гималайского ореха (индийский конский каштан), которые богаты клетчаткой и не содержат сахара [67]. Во многих готовых к употреблению завтраках пищевая клетчатка присутствует в составе цельного зерна или добавляется в виде отрубей или сухофруктов [39]. Готовые хлопья для завтрака с орехами были приготовлены путем смешивания различных обработанных зерен пшеницы, ячменя, риса, кукурузы с миндалем, грецкими орехами и сухим обезжиренным молоком [68]. Разработаны экструдированные продукты из муки красной чечевицы, конской фасоли и коричневого гороха. Эти снеки богаты белком и клетчаткой, что делает их идеальным перекусом [69]. В целях обогащения хрустящих соленых снеков биологически активными соединениями авторы [70] использовали побеги бамбука, которые известны как богатый источник антиоксидантов и пищевых волокон. Воздушную пшеницу покрывали сиропом, содержащим шоколад, сахар и воду [71].

Продукты, такие как тимьян, майоран, пажитник и амарант, показали потенциал для использования в качестве натуральных обогатителей менее питательных продуктов, повышающих в них содержание витаминов, минеральных веществ, антиоксидантов, белков и клетчатки [72].

Для повышения пищевой ценности экструдированных продуктов использовались: бобовая мука; мука из зеленых бананов [73]; арахисовая мука [74]; фруктовые порошки (банан, яблоко, мандарин и клубника) [75]; томатная кожура [76]. Другие авторы для обогащения сухих завтраков использовали муку пророщенного коричневого риса и тыквенную муку. Коричневый рис является источником феруловой кислоты, обладающей антиоксидантными свойствами. Тыква – питательный источник фенольных соединений, флавоноидов, каротиноидов и углеводов [77]. Для обогащения антиоксидантами экструдированных продуктов из риса использовали куркуму [78].

Для обогащения сухих завтраков были использованы сушеные черника и земляника. Базовыми компонентами готового продукта явились кукурузные и пшеничные хлопья. Научные исследования показали, что полученный продукт имеет высокую пищевую ценность и богат антиоксидантами [79].

Готовые к употреблению сухие завтраки из зерен кукурузы, риса, пшеницы, перловки, сорго и гречки были обогащены различными растительными добавками (орехами, зеленью, овощами, фруктами и ягодами) согласно составленной рецептуре. Употребление таких продуктов поддерживает здоровье человека, насыщает организм необходимыми нутриентами, такими как минералы, витамины и пищевые волокна [80].

Для повышения содержания аминокислот, витаминов, минералов, пищевых волокон и антиоксидантов в сухие завтраки включали различные ингредиенты: изолят соевого белка [81], соевую муку [82], порошок креветок [83], соевую муку и овсяные отруби [84], муку из батата [85], витамины [86] и семена кунжута [56].

Исследователи [87] разработали экструдированный продукт на основе муки из кукурузы, сорго и яблочных выжимок. Для обогащения экструдированных продуктов из рисовой муки [88] и кукурузного крахмала были использованы морковные [89] и вишневые выжимки [90], позволившие повысить в полученных продуктах содержание пищевых волокон и антиоксидантов. Авторы [91] разработали экструдированный продукт на основе

кукурузы, обезжиренного соевого шрота, пророщенного коричневого риса и порошка из кожуры манго. При этом наблюдались увеличение общего содержания пищевых волокон, белка и усиление антиоксидантной активности экструдированных закусок.

Разработаны экструдированные кукурузные снеки с добавлением концентрата сывороточного белка [92]. Другие авторы получили экструдированные кукурузные снеки с высушенным порошком сыворотки в количестве 3-10 % [93]. Разработаны экструдированные снеки из крупы перловки с добавлением концентрата сывороточного белка [94]. Такие продукты богаты аминокислотами, витаминами и минералами.

В контексте циркулярной экономики существует острая необходимость превращать в полезные ингредиенты побочные продукты пищевой промышленности. С развитием здорового и устойчивого питания, а также понимания потребителями связи между питанием, здоровьем и окружающей средой, появляется необходимость разработки новых полезных и экологически чистых продуктов. Побочные продукты пищевой промышленности, такие как фруктовые и овощные выжимки, пивная дробина, зерновые отруби и молочная сыворотка, могут использоваться в качестве отличных источников питательных и экологически чистых соединений [5].

Использование молочной сыворотки, кроме получения новых полезных продуктов, снижает уровень загрязнения окружающей среды [6]. Молочная сыворотка образуется при производстве сыров и творога. Из-за высоких затрат на ее утилизацию большая часть предприятий молочной промышленности не имеет системы очистки [95]. Однако, сыворотка сохраняет около 50 % всех питательных веществ молока: в сухом остатке сыворотки содержится 70% лактозы, 14% белков, 9% минеральных веществ, 4% жиров и 3% молочной кислоты. Сыворотка также считается отличным источником витаминов группы В и минералов (Ca, K, Fe, Cu, Zn и Mg) [96].

Пшеница, помимо того, что служит основным злаком, поставляя в организм углеводы и белки, содержит биологически активные соединения, такие

как фенольные соединения, токоферолы, каротиноиды, растительные стеринны и лигнаны, которые снижают риск сердечно-сосудистых заболеваний [97]. Поэтому обогащение биологически активными соединениями продуктов, связанных с пшеницей, стало основным направлением разработки пищевых продуктов [98].

### **1.3. Физико-химические изменения пшеницы при производстве взорванных зерен**

Процесс получения сухих завтраков из взорванных зерен включает шелушение оболочки зерен, увлажнение и высокотемпературную тепловую обработку – взрывание. Такие технологические процессы сопровождаются изменениями структуры и других физико-химических показателей зерен пшеницы, а также положительно влияют на питательные свойства.

Переход от сырого к воздушному продукту вызывает физические, структурные и химические изменения, включая потерю влаги, желатинизацию крахмала и текстурные изменения в зернах. Эти изменения важны для пищевой промышленности и потребителей [99]. Экструзионная обработка зерен может влиять на переход нерастворимых форм пищевых волокон в растворимую форму [100], повышает усвояемость крахмала и белка.

При взрывании происходят физические изменения зерен, включая объемное расширение, увеличение пористости и снижение твердости. Кроме того, испарение воды способствует продлению срока годности продукта. Во время высокотемпературной обработки также происходят химические изменения, в том числе желатинизация крахмала и реакция Майяра [101]. Реакция Майяра приводит к образованию коричневых пигментов и летучих веществ, таких как муравьиная кислота, ацетальдегид, формальдегид и глиоксаль, которые придают продукту привлекательный аромат [102]. Кроме того, взрывание продукта повышает антиоксидантную активность и выход биоактивных соединений [103].

Исследователи Норвического исследовательского парка провели электронную сканирующую микроскопию взорванного сорго и кукурузы [104]. Клеточные стенки взорванных зерен были полностью разбиты на небольшие угловатые фрагменты, некоторые из них имели диаметр менее 1 мкм. Было заметно, что эндосперм был слегка расширен, а стенки богатых белком клеток непосредственно под алейроновым слоем остались неподвижными. При взрывании пузырьки воздуха были видны в расширенном эндосперме, имеющем очертания пленки желатинизированного крахмала. Они отметили, что желатинизация и расширение крахмала играют важную роль в образовании воздушной структуры. Исследования показали, что максимальный объем попкорна достигается при влажности зерен кукурузы от 11,0% до 15,5% [105].

Взрывание вызывает существенные изменения технологических характеристик (масса 1000 зерен, показатель водопоглощения и растворимости, цвет) и состава (белок, крахмал, содержание токоферола и каротиноидов) воздушной хлебной пшеницы [106]. Авторы изучили влияние взрывания на ультраструктуру и физические характеристики мягкой пшеницы, ржи, ячменя, гречихи и риса [46].

При повышенных температурных обработках происходят нежелательные явления с пищевыми продуктами. Одной из наиболее значительных реакций является реакция Майяра, происходящая между аспарагином и альфа-гидроксикарбонильной группой редуцирующих сахаров, таких как глюкоза и фруктоза при тепловой обработке пищевых продуктов, прежде всего растительного происхождения, таких как картофель и зерновые продукты, при температуре выше 120 °C [107]. Это может привести к потере питательной ценности злаков, образованию акриламида. Акриламид является ядовитым веществом, классифицируется Международным агентством по изучению рака как потенциальный канцероген для человека [108]. Европейское управление по безопасности пищевых продуктов (EFSA, 2015, 2017) относит акриламид и фурановые соединения к канцерогенным соединениям, вызывающим рак [109], [110]. Температурно-влажностные условия при получении воздушных зерен

способствуют протеканию реакции Майяра и карамелизации, которые приводят к образованию гидросиметилфурфузола (ГМФ) [111, 112]. ГМФ найден во многих сухих завтраках [113]. ГМФ – это соединение, образующееся при нагревании пищи, оно потенциально вредно и опасно для здоровья человека [111].

При содержании 10% сухой молочной сыворотки в экструдированных кукурузных продуктах содержание акриламида превышало допустимые уровни, однако 3-5% сухой молочной сыворотки позволило получить безопасные продукты [93].

Такие факторы, как содержание воды, температура и др., влияют на физические, химические и биохимические изменения, протекающие в процессе хранения пшеницы [114]. При продолжительном хранении происходят функциональные и физико-химические изменения свойств зерновых, такие как технологичность, цвет и текстура зерен, которые приводят к ухудшению органолептических и пищевых свойств [115].

Известно, что в процессе хранения зерновых продуктов со временем происходят изменения их физических и химических свойств. Особенно склонны к разложению липиды, разложение которых сопровождается образованием свободных жирных кислот. Последние, в свою очередь, также в дальнейшем разлагаются, окисляются и образуют специфические летучие органические соединения [116]. Ненасыщенные жирные кислоты могут окисляться с образованием альдегидов и кетонов [117-119]. В процессе хранения зерновых образовавшиеся нестабильные гидроперекиси разлагаются на продукты вторичного окисления, включая углеводороды, карбонильные соединения и другие, которые способствуют ухудшению органолептических свойств [115].

Исследователи проанализировали изменение кислотности, влажности и других показателей при хранении продуктов из пшеницы и показали, что химические характеристики в процессе хранения изменяются [120]. Известно, что при длительном хранении кислотность таких продуктов увеличивается [121], [122]. Старение при хранении приводит к многочисленным изменениям

химических и физических свойств круп, в том числе увеличению количества свободных жирных кислот [120]. В процессе производства воздушного зерна пшеница очищается от примесей и удаляется внешний слой зерен. При этом пшеница теряет защитный слой и становится более восприимчивой к химическим изменениям во время хранения [123]. Сначала происходит окисление липидов, сопровождающееся образованием пероксидов и гидроперекисей. Также при участии липазы происходит гидролиз нейтральных жиров с образованием свободных жирных кислот и глицерина [123]. Продолжительное хранение зерновых способствует накоплению свободных жирных кислот [115], приводит к ухудшению органолептических свойств и делает пищу непригодной к употреблению.

Кислотное число обычно используется для обозначения ухудшения качества зерна во время хранения, поскольку деградация липидов происходит быстрее, чем деградация белков и крахмала [124]. Анализ изменения содержания свободных жирных кислот является хорошим методом оценки качества хранения продуктов из пшеницы [122].

Привлекательные сенсорные характеристики продуктов питания также важны, поскольку внешний вид, вкус, аромат и текстура влияют на качество еды и удовольствие от ее употребления [4, 125].

## **Выводы**

Здоровье населения является приоритетом государственной политики всех стран. Качество и разнообразие питания является основополагающим фактором повышения качества жизни, улучшения здоровья и продолжительности жизни человека. К сожалению, в последние годы увеличился уровень заболеваемости из-за некачественного питания. Согласно рекомендациям ВОЗ и ФАО, одним из направлений решения проблемы дефицита питательных веществ является обогащение пищевых продуктов. При этом повышение содержания интересующих соединений в конкретном продукте питания за счет

использования богатых питательными веществами, недорогих и местных продуктов в качестве обогатителя является более безопасным и надежным.

В современном обществе, где потребление готовых к употреблению продуктов из зерновых продолжает расти, необходимы инновационные подходы к созданию питательных и вкусных продуктов. Интересно отметить, что традиционные методы приготовления продуктов, таких как бадырак, могут быть переосмыслены и современно адаптированы для создания новых, более питательных вариантов.

В Кыргызстане, где традиционное блюдо «Бадырак» имеет глубокие исторические корни, современные технологии, такие как воздушные зерна с обогащением, могут успешно сочетаться с культурными предпочтениями и традициями потребителей. С использованием отходов молочной промышленности, таких как сыворотка, можно не только сократить объемы отходов, но и создать продукты с высокой пищевой ценностью.

Таким образом, производство сухих завтраков из воздушных зерен, обогащенных молочной сывороткой, является актуальным, так как решаются задачи обеспечения потребителей продуктами питания высокого качества, снижения отходов производства путем использования побочных продуктов, а также популяризации традиционных национальных продуктов питания.

## **ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **2.1. Общая методологическая схема исследований**

В соответствии с поставленной целью и задачами были проведены исследования в научно-исследовательских лабораториях Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, Латвийского университета естественных наук и технологий, Кыргызско-Турецкого университета «Манас», Алматинского технологического университета, а также на базе ОсОО «Макый-Дан».

Общая методологическая схема исследования представлена на рисунке 2.1.

### **2.2. Объект исследования**

В работе использовано следующее сырье: зерна пшеницы твердых сортов – ГОСТ 9353-2016, крупа пшеничная – ГОСТ 276-2021; сахарная пудра – ГОСТ 33222-2015.; масло подсолнечное рафинированное и дезодорированное – ГОСТ 1129-2013; ванилин – ГОСТ 16599; сухая сыворотка молочная – ГОСТ Р 33958-2016.

В качестве объектов исследования были выбраны:

- зерна пшеницы;
- взорванные зерна пшеницы (ВЗ);
- воздушная пшеница с ванилином (ВВ);
- воздушная пшеница с молочной сывороткой (ВМС).

### **2.3. Методы исследования**

При проведении исследований использовали химические, физико-химические, реологические и органолептические методы исследования свойств сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов.

**I этап. Обоснование целей и задач исследований**

- Обзор и систематический анализ научно-технической литературы
- Определение целей и задач исследования
- Выбор объектов и методов исследования

**II этап. Влияние технологической обработки на состав и свойства зерен пшеницы**

**Объекты: зерна пшеницы, взорванные зерна пшеницы**

- Определение химического состава
- Определение летучих соединений
- Определение антиоксидантной активности
- Определение показателей безопасности

**III этап. Разработка оптимизированной рецептуры и технологии обогащенных сухих завтраков на основе воздушных зерен пшеницы**

**Объекты: взорванные зерна пшеницы**

- Выбор и обоснование ингредиентов для производства сухих завтраков на основе воздушной пшеницы
- Разработка оптимизированной рецептуры сухих завтраков на основе воздушных зерен пшеницы
- Технология обогащенных сухих завтраков на основе воздушных зерен пшеницы
- Определение некоторых макро- и микронутриентов в составе новых видов сухих завтраков

**IV этап. Влияние добавок на состав и свойства готовой продукции**

**Объекты: воздушная пшеница с ванилином (ВВ) и с молочной сывороткой (ВМС)**

- Определение химического состава
- Определение реологических показателей
- Определение показателей безопасности

**V этап. Исследование влияния продолжительности хранения на органолептические, физико-химические показатели целевых продуктов и установление срока их годности. Объекты: ВВ, ВМС.**

- Органолептический анализ
- Определение кислотного числа
- Определение физико-химических, реологических показателей и антиоксидантной активности

**VI этап. Промышленная апробация технологии новых видов сухих завтраков**

**Объекты: ВВ, ВМС.**

Рисунок 2.1 – Общая методологическая схема исследований

### 2.3.1. Используемые реактивы

Для пробоподготовки использовали реактивы высокой чистоты (хроматографическая степень чистоты). Моно- и дисахариды: арабиноза, фруктоза, фукоза, галактоза, глюкоза, ксилоза, лактоза, мальтоза, манноза, рамноза, рибоза, сахароза, сорбоза, трегалоза, а также глицерин, инозитол, маннитол, сорбитол приобретены у Sigma-Aldrich Chemie Ltd., (Штайнхайм, Германия) и использованы в качестве стандарта для построения калибровочных кривых. Ацетонитрил LiChrosolv® (CH<sub>3</sub>CN) приобретен у Supelco® (Беллефонте, Пенсильвания, США). Ультрачистая вода была получена с помощью системы очистки воды PureLab Flex Elga путем обратного осмоса (Veolia Water Technologies, Франция).

Галловая кислота (97,5%), фенольный реактив Фолина-Чиокальтеу, 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил (ДФПГ) (99%), (±)-6-гидрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбоновая кислота (Тролокс) (97%) были приобретены у Sigma-Aldrich (Букс, Швейцария). Все остальные химические реактивы имели аналитическую степень чистоты.

### 2.3.2. Методы физико-химического анализа

#### Сухие вещества

Сухие вещества (DM; n=3) в пшенице, взорванных зернах пшеницы и взорванных зернах с добавками определяли по стандартной методике 44-15А [126] сразу после измельчения пробы.

#### Масса тысячи зерен

Массу тысячи зерен (МТЗ) определяли путем взвешивания одной тысячи неповрежденных сырых или воздушных зерен на аналитических весах Pioneer PX5202 (OHAUS Corporation, Швейцария). Результаты (n=3) выражали в граммах.

### **Активность воды**

Активность воды ( $a_w$ ) определяли с помощью измерителя активности воды LabMaster-aw neo (Novasina AG, Швейцария) при температуре окружающей среды  $21 \pm 1$  °C. Все эксперименты проводили в трех повторностях.

**Кислотное число** (КЧ;  $n=3$ ) воздушных зерен определяли сразу после измельчения пробы по стандартной методике ГОСТ 52466-2005 [127]. Метод основан на экстракции жира н-гексаном с последующим выпариванием растворителя, высушивании, взвешивании жира и титровании извлеченных свободных жирных кислот раствором КОН концентрации 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.

### **Анализ текстуры**

Анализ текстуры проводили с помощью анализатора текстуры TA.HD.Plus (Stable Microsystems Ltd., Великобритания), который оснащен цилиндрическим зондом диаметром 4,5 см и ячейкой обратной экструзии с внутренним диаметром и высотой 5,0 и 7,0 см соответственно. Ячейку наполнили 100 мл воздушного продукта. Образец сжали до 50% от первоначальной высоты, как описано *Smith* и *Hardacre* [128]. Испытание проводили при следующих условиях поршня: предиспытательная скорость – 1,0 мм/с; испытательная скорость – 5 мм/с; спусковая сила – 0,049 Н, датчик нагрузки 1 – кН. Величина твердости – максимальная сила сжатия (в Н). Хрусткость – количество положительных пиков на графике зависимости силы от времени. Большое количество положительных пиков указывает на большее количество случаев разрушения и, следовательно, на более хрустящее вздутое зерно [129]. Сбор данных осуществляли с использованием программного обеспечения Texture Exponent 32 (Stable Microsystems Ltd., Великобритания). Для каждого образца проведено три испытания.

### **Цветность**

Цветность цельной и воздушной пшеницы измеряли с помощью спектрофотометра ColorFlex EZ (Hunter Lab., США) в координатах CIE L\* a\* b\*. Компоненты цвета L\* (яркость), a\* (красный–зеленый), b\* (желтый–синий) были измерены для оценки влияния обработки зерна пшеницы и нанесенных добавок

на цвет зерна. Измерительная головка была оснащена окном диаметром 50 мм и использовалась система рассеянного света с углом обзора 10° с источником света лампой D65. Колориметр калибровали по стандартным черной и белой плиткам. Для определения цвета каждого образца было проведено десять измерений. Общее изменение цвета  $\Delta E$  рассчитывали по формуле (2.1) [130].

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}, \quad (2.1)$$

где  $L^*$ ,  $a^*$  и  $b^*$  – измеренные значения взорванных зерен,

нижний индекс 0 при расчете  $\Delta E_{\text{пшеница}}$  указывает исходные значения цвета целых зерен пшеницы или молотой пшеницы, а при расчете  $\Delta E_{\text{ВЗ}}$  – это исходные измерения цветности воздушной пшеницы без добавок [131].

### **Определение микроструктуры с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ)**

Микрофотографии зерен пшеницы, взорванных зерен и взорванных зерен с добавками были сделаны с использованием сканирующего электронного микроскопа Mira3 (СЭМ) компании Tescan Orsay Holding, a.s. (Чехия). Сначала образцы для испытаний разрезали в осевом направлении на две равные части с помощью лезвия для морфологического анализа. После этого тестовые образцы устанавливали на штыри СЭМ с помощью двухсторонних клейких углеродных дисков, а незакрепленный материал продували слабой струей  $N_2$  и покрывали слоем золота и палладия (80/20 соответственно) толщиной 9 нм с использованием высоковакуумного споттера Leica EM ACE600 (Leica Microsystems, Австрия). Зерна пшеницы, взорванные зерна и взорванные зерна с добавками были исследованы на трех участках – зерно целиком, в поперечном сечении и на поверхности. Условия были скорректированы для работы в режиме высокого вакуума с использованием детектора вторичных электронов (ВЭ). Морфологию зерен анализировали при увеличении 500 × для точного измерения размеров при ускоряющем напряжении 8 кВ.

### **Индекс водопоглощения (ИВП) и индекс водорастворимости (ИВР)**

Измельченную пробу (2,5 г) растворяли в 25 см<sup>3</sup> воды при температуре окружающей среды 20±2 °С в течение 30 мин с промежуточным встряхиванием, а затем центрифугировали в центрифуге (ELMI Ltd., Латвия) при 1660 × g в течение 15 мин. Осветленную жидкую фазу выливали в выпарной стакан известного веса. ИВР представляет собой массу сухих твердых веществ в жидкой фазе, тогда как ИВП – массу осадка, полученного после удаления надосадочной жидкости, на единицу массы исходных сухих твердых веществ [132].

Индекс водопоглощения (ИВП) и индекс водорастворимости (ИВР) воздушной пшеницы рассчитывали по методу Джанве и Сингха [133] с помощью уравнений (2.2 и 2.3):

$$\text{ИВП (г/г)} = \frac{\text{масса осадка}}{\text{масса сухого образца}}, \quad (2.2)$$

$$\text{ИВР (г/кг)} = \left( \frac{\text{масса высушенной посуды} - \text{масса пустой посуды}}{\text{масса сухого образца}} \right) \times 10 \times 100, \quad (2.3)$$

### **2.3.3. Определение химического состава**

**Содержание общего азота и белка** (коэффициент пересчета – 5,7) определяли по методу Къельдаля [134]. Результаты (n=3) приведены в г/100 г.

**Содержание жира** анализировали с использованием АОАС 2003.05 & 2003.06 [135].

**Содержание золы** определяли путем полного сжигания образца и последующего весового определения массовой доли золы [136].

**Общее количество углеводов (СНО)** рассчитывали путем вычитания индивидуально определяемых составляющих из общей массы по уравнению (2.4):

$$\text{СНО} = 100 - (\text{жиры} + \text{белки} + \text{зола} + \text{вода}), \quad (2.4)$$

**Энергетическую ценность** разработанных продуктов определяли по химическому составу. Для расчета пользовались формулой (2.5):

$$\text{ЭЦ} = 4 \times X_1 + 9 \times X_2 + 4 \times X_3, \quad (2.5)$$

где ЭЦ – энергетическая ценность продуктов, ккал/100 г (1 ккал соответствует 4,186 кДЖ);

$X_1$  – массовая доля белка в продукте, г/100 г;

$X_2$  – массовая доля жира в продукте, г/100 г;

$X_3$  – массовая доля углеводов в продукте, г/100 г.

### **Содержание моно- и дисахаридов**

#### *Подготовка образцов для анализа углеводов*

Экстракцию моно- и дисахаридов из зерновой матрицы проводили путем щадящего нагревания образца при температуре 60 °С в течение 30 мин с последующей обработкой ультразвуком частотой 50 кГц и выходной мощностью 360 Вт в течение 30 мин и при температуре 25,0±1,0 °С с использованием ультразвуковой ванны Ultrasons (J.P. Selecta<sup>®</sup>, Испания). Для экстракции моно- и дисахаридов, образец массой 1,0±0,01 г смешивали с 10,0 см<sup>3</sup> 50% ацетонитрила (H<sub>2</sub>O:CH<sub>3</sub>CN, по объему) и экстрагировали в конических пластиковых пробирках (Sarstedt AG & Co. KG, Германия). После обработки полученную смесь интенсивно перемешивали вибромиксером «ZX<sup>3</sup>» (Velp<sup>®</sup> Scientifica, Италия). Для разделения фракций приготовленные образцы центрифугировали со скоростью 4500 об/мин в течение 10 мин (3169 × g) и температуре 19,0±1,0 °С с использованием центрифуги Sigma, 2-16КС (Германия). Перед анализом ВЭЖХ-РИД собранный супернатант фильтровали через гидрофилизированный мембранный фильтр из политетрафторэтилена (CROMAFIL<sup>®</sup>Xtra H-PTFE) с размером пор 0,45 мкм (Macherey-Nagel GmbH & Co. KG, Германия).

Количественный анализ моно- и дисахаридов проводили с использованием системы ВЭЖХ WatersAlliance (модель e2695), оснащенной детектором

показателя преломления 2414 RI и нагревателем колонки 2998 (Waters Corporation, США). Хроматографическое разделение углеводов осуществляли на колонке Altima Amino (4,6 × 250 мм; 5 мкм; Grace™, США). Температуру колонки и проточной ячейки поддерживали на уровне 30,0 °С. Ввод пробы в количестве 15,0 мкл осуществлялся автоматически, а петля забора образца промывалась смесью деионизированной воды и ацетонитрила (CH<sub>3</sub>CN) (50:50, по объему). Скорость потока подвижной фазы 1,0 мл/мин. Управление системой, сбор данных, анализ и обработку выполняли с использованием программного обеспечения Empower3 (сборка 3471) (Waters Corporation, США).

**Общее содержание, содержание растворимых и нерастворимых пищевых волокон** определяли ферментативно-гравиметрическим методом в соответствии с ASH 3158, ASH 3159 (AOAC).

**Содержание крахмала** определили поляриметрическим методом Эверса LVS EN ISO 10520:2001.

#### **Определение аминокислот**

Массовую долю аминокислот в исследуемых продуктах определяли на системе капиллярного электрофореза «Капель 105 М» (РФ) [137].

Метод основан на разложении проб кислотным или щелочным гидролизом аминокислот в свободные формы, получении фенилизотиокарбамильных производных, дальнейшем их разделении и количественном определении методом капиллярного электрофореза. Детектирование проводили в УФ-области спектра при длине волны 254 нм.

Детектирование и дальнейшую обработку данных проводили программным обеспечением «Эльфран».

Условия анализа:

буфер: β-циклодекстрин; капилляр: Lэфф/Лобщ = 65,75 см, ID = 50 мкм.

Напряжение: + 25 кВ.

Температура: + 30 °С; давление: 0 мбар, 50 мбар.

Детектирование

*Этап 1.* Время – 899 сек, напряжение – 25 кВ, давление – 0 мбар, длина волны – 200 нм.

*Этап 2.* Время – 300 сек, напряжение – 25 кВ, давление – 50 мбар, длина волны – 200 нм.

Метод расчета: Абсолютная градуировка. Градуировку проводили смесью аминокислот.

Массовую долю аминокислоты (X, %) вычисляли по формуле (2.6):

$$X = \frac{100 \cdot V_{\text{гидр}} \cdot V_{\text{KOH}} \cdot C_{\text{изм}}}{1000 \cdot m \cdot V_{\text{ал}}}, \quad (2.6)$$

где X – массовая доля аминокислот в пробе, %;

$V_{\text{гидр}}$  – общий объем гидролизата, см<sup>3</sup>;

$V_{\text{KOH}}$  – объем анализируемого раствора, см<sup>3</sup>;

$C_{\text{изм}}$  – измеренное значение массовой концентрации аминокислоты в подготовленном растворе, мг/дм<sup>3</sup>;

m – масса навески пробы, мг;

$V_{\text{ал}}$  – объем аликвотной порции гидролизата, взятый для получения ФТК-производных, см<sup>3</sup>;

100 – множитель для выражения результатов в процентах;

1000 – коэффициент согласования размерности единиц измерения объема.

**Содержание жирных кислот** определяли по методике, описанной Раденковсом В. и др. [138]. Жирные кислоты готовили для газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС) с использованием 0,5 М раствора гидроксида триметилфениламмония (ГТМФА) в метанольном реагенте для метилирования. Анализ полученных метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) проводили на системе Clarus 600, оснащенной квадрупольным анализатором масс-селективного детектора Clarus 600 С (Perkin Elmer, Ltd., США). Условия ГХ-МС были установлены в соответствии с протоколом, предоставленным Раденковсом В. и др. [138].

## **Определение водорастворимых витаминов методом капиллярного зонного электрофореза**

Определение водорастворимых витаминов в исследуемых продуктах проводили на «Капель 105 М» (РФ) методом капиллярного электрофореза при длине волны 200 нм их электрофоретической подвижности.

В качестве контрольной пробы использовали стандартные растворы витаминов: 1 – тиаминхлорид ( $B_1$ ); 2 – рибофлавин ( $B_2$ ); 3 – никотинамид (РР); 4 – аскорбиновая кислота (витамин С).

Подготовка пробы. На этапе подготовки пробы (образцы измельченных зерен) использовали экстракцию витаминов водным раствором тетрабората натрия в присутствии сульфит-иона. Экстракт обрабатывали в центрифуге со скоростью 5000-6000 об/мин в течение 5 мин с помощью микроцентрифуги MiniSpin plus (Eppendorf-Netheler-Hinz-GmbH, Гамбург) и при необходимости фильтровали через мембранный фильтр Владиопор типа МФАС-Б-4. Так как методика предназначена для измерения массовой доли свободных форм витаминов в премиксах, витаминных добавках, концентратах и смесях, то выполнили подборку массы навесок [139].

Условия анализа: буфер – для определения витаминов в варианте КЗЭ (тетраборат натрия + борная кислота); капилляр – Лэфф/Лобщ = 65/75 см, ID = 50 мкм; напряжение – 25 кВ; температура – 30 °С; давление – 0 мбар, 50 мбар.

### **Детектирование**

*Этап 1.* Время – 899 сек, напряжение – 25 кВ, давление – 0 мбар, длина волны – 200 нм.

*Этап 2.* Время – 300 сек, напряжение – 25 кВ, давление – 50 мбар, длина волны – 200 нм.

Метод расчета: Абсолютная градуировка.

**Содержание микро- и макрокомпонентов** определяли по методике «Определение атомного состава проб атомно-эмиссионным приближенно-количественным методом испарения пробы из канала угольного электрода» ОМГ6-01, утвержденной в Научно-исследовательском институте

стандартизации и метрологии (Кыргызская Республика). Зола набивали в угольный электрод в количестве 40 мг и сжигали в дуге постоянного тока. С помощью дифракционного спектрографа ДФС-8 с дифракционной решеткой 600 штр./мм фотографировали спектры пробы. Оценивали концентрацию по аналитическим линиям определяемых элементов методом сравнения со спектрами образцов сравнения, появления и усиления аналитических линий в спектре пробы. Результаты спектрального анализа полученной золы из проб в весовых процентах приведены в спектрограмме.

Для определения содержания (%) элементов в исходных пробах  $C_{\text{проб}}$  применяли формулу (2. 7):

$$C_{\text{проб}} = C_{\text{зола}} * K_{\text{озол}}, \quad (2.7)$$

где  $C_{\text{зола}}$  – содержание определяемых элементов в золе пробы, %;

$K_{\text{озол}}$  – коэффициент озоления.

#### **2.3.4. Определение содержания летучих соединений**

Для извлечения летучих соединений применили твердофазную микроэкстракцию (ТФМЭ). Использовали биполярное ТФМЭ-волокно с карбоксен/полиметилсилоксановым (КАР/ПМС) покрытием толщиной 85 мкм (Supelco Inc., США).

Для оценки содержания летучих соединений в исследуемых образцах 0,5 г соответствующего образца помещали в пробирку объемом 20 см<sup>3</sup>. Время экстракции – 65 мин (включая предварительную инкубацию без волокна в течение 15 мин) на водяной бане при температуре 40 °С [140].

Летучие соединения из волокна термически десорбировали в инжекторе газового хроматографа масс-спектрометра (ГХ/МС) PerkinElmer 500 (PerkinElmer, Inc., США) с капиллярной колонкой Elite-Wax ETR (60 м × 0,25 мм i.d.; DF 0,25 мкм). Для ГХ/МС анализа были установлены следующие параметры: начальную температуру 40 °С поддерживали в течение 7 минут, затем ее

повышали с 40 °С до 160 °С со скоростью 6 °С/мин, затем повышали со 160 °С до 210 °С со скоростью 10 °С/мин с конечным временем выдержки 15 мин.

Режим ионизации электронным ударом был установлен на 70 эВ, а температура источника ионов и входной линии – на 250 °С. Газ-носитель (гелий) подавался с постоянным расходом 1 мл/мин. Параметры регистрации сканировались в диапазоне  $m/z$  40–400. Соединения идентифицировали путем их сравнения с масс-спектральной библиотекой Nist98. Кроме того, рассчитывали и сравнивали с литературными данными линейные индексы удерживания по времени удерживания алканов (C8-C20).

### **2.3.5. Определение фенольных соединений и антирадикальной активности**

#### *Экстракция фенольных соединений из зерен*

Гомогенизированные образцы зерна (2,0 г) экстрагировали раствором этанол/ацетон/вода (7/7/6 v/v/v) в ультразвуковой ванне YJ5120-1 (Oubo Dental, США) [141] в течение 10 мин при частоте 35 кГц при температуре  $20 \pm 1$  °С. Затем экстракты центрифугировали в центрифуге CM-6MT (ELMI Ltd., Латвия) при  $1660 \times g$  в течение 5 минут (RCF 2300). Остатки повторно экстрагировали по той же методике. Соотношение образца и растворителя составляло 1:10. Экстракцию проводили в трех повторностях.

#### *Экстракция связанных фенольных соединений*

Связанные фенолы (СФ) извлекали после гидролиза щелочью (экстракты СФ-щелочи) и кислотного гидролиза (экстракты СФ-кислоты) в соответствии с методом, описанным Алудаттом и др. [142, 143]. Остатки экстракции свободных фенольных веществ подвергали щелочному гидролизу с использованием 25 см<sup>3</sup> 0,1 М NaOH, pH 12,0 при 30 °С в течение 24 ч на встряхивающей водяной бане для высвобождения связанных фенольных веществ. Освобожденные связанные фенолы из надосадочных жидкостей отфильтровали через фильтровальную бумагу (Whatman #1, Великобритания) и хранили при температуре 2-4 °С до дальнейшего анализа. Остатки экстракции подвергали кислотному гидролизу с

использованием 25 см<sup>3</sup> 0,1 М НСl, рН 2,0 при 30 °С в течение 24 ч на встряхивающей водяной бане для высвобождения оставшихся связанных фенолов. Последние из надосадочных жидкостей отфильтровали через фильтровальную бумагу и хранили при температуре 2–4 °С до дальнейшего анализа.

#### *Определение общего содержания фенольных соединений (ОСФ)*

Содержание ОСФ в экстрактах зерновых продуктов определяли спектрофотометрическим методом Фолина-Чиокальтеу [141, 144]. К 0,5 см<sup>3</sup> экстракта добавляли 2,5 см<sup>3</sup> реактива Фолина-Чиокальтеу (разбавленного в 10 раз водой) и через 3 мин добавляли 2 см<sup>3</sup> водного раствора карбоната натрия (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) (75 г/л). После 30 мин инкубации при комнатной температуре измеряли абсорбцию при 756 нм. Результаты рассчитывали по стандартной кривой галловой кислоты с диапазоном стандарта от 10 мг до 80 мг ГАЭ/л. Общее количество фенолов выражали в эквивалентах галловой кислоты (ГАЭ) на 100 г сухой массы образцов.

#### *Определение активности поглощения радикаловДФПГ*

Антиоксидантную активность экстрактов зерен определяли по ДПФГ-методу, как описано в работе исследователей Университета штата Колорадо [145]. ДФПГ-метод – это метод определения активности по гашению свободных радикалов с использованием реактива 2,2-дифенил-1-пикрилгидрозила. Антиоксидантную реакцию инициировали путем переноса 0,5 см<sup>3</sup> экстракта зерновых продуктов в сосуд для образца, содержащего 3,5 см<sup>3</sup> свежеприготовленного метанольного раствора ДФПГ (0,004 г ДФПГ на 100 см<sup>3</sup> метанола). Абсорбцию измеряли при 517 нм после 30 минут инкубации в темноте при комнатной температуре [141]. Поглощающую способность выражали в мкмоль эквивалентах тролокса (ЭТ) на 100 г сухой массы образцов. Стандартная кривая была построена для концентраций растворов в диапазоне 5-10 мкмоль тролокса.

### *Определение общего содержания флавоноидов*

Общее содержание флавоноидов определяли колориметрическим методом [146] с небольшими изменениями. Использовали тот же экстракционный раствор, что и для ОСФ. К 0,5 см<sup>3</sup> экстракта добавляли 2 см<sup>3</sup> бидистиллированной H<sub>2</sub>O и смешивали с 0,15 см<sup>3</sup> 5% нитрита натрия (NaNO<sub>2</sub>) (50 г/л). Через 5 минут добавили 0,15 см<sup>3</sup> 10%-го раствора хлорида алюминия (AlCl<sub>3</sub>\*6H<sub>2</sub>O). Смеси давали постоять еще 5 мин, а затем добавляли 1 см<sup>3</sup> 1 М гидроксида натрия (NaOH). Реакционный раствор хорошо перемешали. После 15 минут инкубации при комнатной температуре измеряли абсорбцию при 415 нм. Общее количество флавоноидов выражали в катехиновых эквивалентах (КЭ) на 100 г сухой массы исследуемых зерен.

### *Определение снижения активности радикалов*

Снижение активности радикалов определяли по методу *Athukorala* и др. [147]. Один см<sup>3</sup> экстракта смешивали с 2,5 см<sup>3</sup> фосфатного буфера (200 мМ, рН 6,6) и 2,5 см<sup>3</sup> ферроцианида калия (K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]) (30 мМ) и инкубировали при 50 °С в течение 20 минут. После этого к реакционной смеси добавляли 2,5 см<sup>3</sup> трихлоруксусной кислоты (CCl<sub>3</sub>COOH) (600 мМ), центрифугировали 10 минут при 1660 × g. Верхний слой раствора (2,5 см<sup>3</sup>) смешивали с 2,5 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и 0,5 см<sup>3</sup> хлорида железа (FeCl<sub>3</sub>) (6 мМ) и измеряли абсорбцию при 700 нм. Снижение активности радикалов выражали в эквиваленте аскорбиновой кислоты (ЭАК) на 100 г сухой массы исследуемого образца.

## **2.3.6. Определение содержания гидроксиметилфурфурола, акриламида, пестицидов и тяжелых металлов**

### **Определение 5–гидроксиметилфурфурола**

Для определения гидросиметилфурфурола (ГМФ) взвешивали пять граммов образца, к нему добавляли 50 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Магнитной мешалкой перемешивали в течение 20 минут. Затем образцы центрифугировали с помощью Centrifuge Pro-Research (Centurion Scientific Ltd., Великобритания) в

течение 10 минут при скорости 10000 об/мин. Для анализа ВЭЖХ использовали центрифугаты [148]. Объем приготовленного раствора составил 50 см<sup>3</sup>.

Определение 5-ГМФ проводили на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-40 Nexera с использованием автосамплера SIL-40C X3 и фотодиодного матричного детектора SPD-M40 (Shimadzu Manufacturing, США). Анализ проводили с использованием аналитической колонки PerkinElmer C18 (4.6 мм × 250 мм, размер 5 мкм); температура колонки и детектора – 25 °С; подвижная фаза: ацетонитрил (класс ВЭЖХ, Sigma-Aldrich, США) и вода (класс ВЭЖХ). Соотношение ацетонитрила и воды составляло 10:90 (по объему). Условия ВЭЖХ: изократический; скорость потока 1,1 см<sup>3</sup>/мин; объем инъекции 10 мкл.

Длина волны детектирования ГМФ – 280 нм. Время удерживания пиков сравнивали со временем удерживания стандартного раствора ГМФ (класс ВЭЖХ, Sigma-Aldrich, США). Концентрацию ГМФ в мг/кг рассчитывали по формуле (2.8):

$$\frac{\text{концентрация по хроматограмме} \left( \frac{\text{в-мг}}{\text{м}^3} \right) \times \text{объем приготовленного раствора (в см}^3\text{)}}{\text{масса исследуемого образца (в г)}} \quad (2.8)$$

**Определение акриламида проводили по** РВ-39/GC ed. IV of \_\_12.01.2018. J.S. Лаборатория Hamilton Baltic Ltd./Лаборатория J.S. Hamilton Baltic Ltd.

**Определение суммы изомеров ГХЦГ (гексахлорциклогексан) α-, β-, γ-изомеры** – по МУ 2142-80 КР (ТСХ).

**Определение тяжелых металлов.** Определение свинца и кадмия проводили по ГОСТ 33824-2016 (РФ) [149], мышьяка – по ГОСТ 26930-86 [150] и ртути – по ГОСТ 26927-86 [151].

### **2.3.7. Определение микробиологических показателей**

Определение микробиологических показателей осуществляли стандартными методами: количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФНМ) – по ГОСТ 10444.15-94 [152];

бактерии группы кишечных палочек (колиформные) – по ГОСТ 50474-93 [153]; плесени – по ГОСТ 10444.12-88 [154]; патогенную микрофлору, том числе сальмонеллы – по ГОСТ 50480-93 [155]; *B. cereus* – по ГОСТ 10444.8-88 [155].

### **2.3.8. Органолептические методы анализа**

Для оценки воздушных зерен пшеницы с ванилином (ВВ) по гедоническому предпочтению согласно ISO 8587:2006 [156] приняли участие 90 неподготовленных потребителей, набранных из числа студентов и сотрудников КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан: 20 мужчин и 70 женщин в возрасте 17-48 лет), каждый из которых получил по 4 образца. Все потребители были заинтересованными добровольцами. Им было предложено оценить образцы на основе симпатии или антипатии по девятибалльной гедонической шкале, где одна оценка нейтральная, четыре оценки выражают приятные впечатления и четыре неприятные. Они оценивали внешний вид, цвет, вкус, запах, консистенцию и общую приемлемость, проставляя знаки по уровню предпочтения в подготовленной анкете (Приложение А). Образцы были предоставлены случайным образом в пластиковых контейнерах, идентифицированных с помощью трехзначных кодов [157]. Дегустаторы ополаскивали рот питьевой водой между пробами и ели безвкусное печенье для стирания послевкусия. Анализ проведен в отдельных кабинах, при белом освещении и температуре воздуха  $22\pm 2$  °С.

Для проведения органолептического анализа воздушных зерен пшеницы с молочной сывороткой (ВМС) по гедоническому предпочтению принимали участие неподготовленные студенты и сотрудники Технологического института КГТУ им. И. Раззакова. Оценку проводили 60 потребителей (13 мужчин и 47 женщин в возрасте 17-45 лет), каждый из которых получил по 3 образца. Потребители оценивали образцы по девятибалльной гедонической шкале. Они оценивали внешний вид, цвет, запах и вкус, консистенцию и общую приемлемость. Образцы находились в пластиковых контейнерах с крышкой и были промаркированы с помощью трехзначных кодов. Дегустаторам в

случайном порядке подавали закодированные образцы и в качестве очистителя палитры между образцами им давали питьевую воду и безвкусное печенье. Анализ проведен в отдельных кабинах, при белом освещении и температуре воздуха  $22 \pm 2$  °С.

Испытатели по органолептической оценке были отобраны и обучены в соответствии с руководящими принципами отбора, обучения и контроля за работой отобранных испытателей, изложенными в стандарте ISO 8586 [158]. В обучении приняли участие 45 участников (8 мужчин и 37 женщин) – магистрантов и преподавателей Технологического института Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. Обучение испытателей состояло из нескольких этапов. Сначала был проведен отборочный тест. Затем было проведено обучение тому, как правильно проводить оценку и как оценивать внешний вид, цвет, вкус, запах и консистенцию. Испытатели были ознакомлены с требованиями, предъявленными к сухим завтракам на основе воздушной пшеницы с добавками, представленными в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Органолептические характеристики сухих завтраков на основе воздушной пшеницы с добавками

Органолептические показатели	Характеристика
Внешний вид	Продукты в виде воздушных зерен
Цвет	Свойственный соответствующим наименованиям изделий и применяемым добавкам. Допускаются точечные пятна темного цвета, характерные для сырья
Вкус и запах	Свойственные соответствующим наименованиям изделий со вкусом и запахом применяемых добавок, без посторонних привкуса и запаха
Консистенция	Хрустящая, пористая, воздушная

Поскольку исследуемые образцы являются новой продукцией, а используемые добавки оказывают существенное влияние на вкусовые качества, испытатели были дополнительно ознакомлены с требованиями. Оба образца должны напоминать вафли: ВВ – с нежным ванильным вкусом, а ВМС – со вкусом молочного мороженого. В результате для сенсорной оценки были отобраны 12 испытателей (2 мужчин и 10 женщин).

Перед сенсорной оценкой все исследуемые образцы выдерживали до комнатной температуры –  $20 \pm 2$  °С, так как один из образцов хранился при температуре  $4 \pm 2$  °С. Примерно 15 граммов образцов были помещены на пластину и закодированы случайными трехзначными числами. Данные собирали в заранее подготовленные формы. Испытатели последовательно определяли внешний вид, цвет, вкус, запах и консистенцию, используя пятибалльную шкалу, как показано в таблице 2.2. Во время оценки для очистки нёба и предотвращения интерференции вкусов между образцами давали воду и безвкусное печенье.

Таблица 2.2 – Численная однополярная шкала, применяемая при органолептической оценке зерен взорванной пшеницы

Органолептические показатели	Балл	Характеристика
1	2	3
Внешний вид	0	Не соответствует требованиям
	1	Произошло деформирование воздушных зерен
	2	Большинство зерен прилипли друг к другу
	3	Заметно слипание зерен друг с другом
	4	Отвечает требованиям
	5	Максимально соответствует требованиям
Цвет	0	Не соответствует требованиям
	1	Заметно глубокое потемнение зерен
	2	Заметно значительное потемнение зерен

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3
	3	Заметно незначительное потемнение отдельных зерен
	4	Соответствует требованиям
	5	Максимально соответствует требованиям
Вкус и запах	0	Не соответствует требованиям
	1	Выражены заметная горечь и посторонний прогорклый запах
	2	Заметная горечь и малозаметный посторонний запах
	3	Чувствуется горечь и малозаметный посторонний запах
	4	Соответствует требованиям
	5	Максимально выраженный вкус и запах, свойственный продукту
Консистенция	0	Не соответствует требованиям
	1	Мягкая и липкая
	2	Чувствуется липкость
	3	Воздушная, мало хрустящая
	4	Воздушная, хрустящая
	5	Максимально соответствует требованиям

Органолептическую оценку проводили ежемесячно в течение восьмимесячного хранения; указаны средние баллы.

### **2.3.9. Математические методы обработки экспериментальных данных и методика составления математических моделей исследования**

Составление любой математической модели начинается с анализа объекта, построения рабочей гипотезы и выявления всех параметров, характеризующих объект. Под математическим описанием технологического процесса понимается совокупность различных таблиц, графиков, математических формул, отражающих соотношения между параметрами процесса и выбранным критерием его качества. Параметры технологического процесса, обеспечивающие наибольшее или наименьшее значение критерия оптимальности, называют оптимальными [159].

Прежде чем планировать и проводить эксперимент, следует выбрать критерий оптимизации, т.е. параметр, по которому оценивается исследуемый объект и который связывает факторы в математическую модель.

При проведении экспериментальных исследований устанавливают связи между входными факторами, влияющими на протекание процесса, и выходными его параметрами, которые характеризуют свойства процесса. Первые из них – независимые и могут принимать произвольные значения  $x_i$  на технологически возможных интервалах; вторые – зависимые  $Y_i$  (критерий оптимизации), так как их значения определяются свойствами процесса и изменением независимых переменных.

Поскольку задача исследователя состоит в том, чтобы с помощью математической модели минимизировать или максимизировать критерий оптимизации путем соответствующего подбора факторов, действующих на изучаемый объект, то необходимо стремиться к тому, чтобы критерий оптимизации был один, имел ясный физический смысл [160].

Для того, чтобы в течение сравнительно небольшого отрезка времени получить необходимые результаты для формирования обоснованных рекомендаций, необходимо теоретически установить достаточный минимум экспериментов, обеспечивающий получение желаемых результатов.

На этом этапе исследования наиболее широкое распространение получил метод математического планирования экспериментов Бокса-Уилсона [161-163]. По этому методу вблизи оптимальной точки ставится специальным образом спланированная небольшая серия опытов, в которой одновременно варьируются все изучаемые факторы, каждый на двух уровнях: верхнем и нижнем. Перед началом эксперимента факторы кодируют. Кодирование фактора производится по формуле (2.9):

$$x_i = \frac{X_i - X_i^0}{\varepsilon_i}, \quad (2.9)$$

где  $X_i$  – натуральное значение фактора (именованная величина с размерностью);

$X_i^0$  – натуральное значение фактора на нулевом уровне;

$\varepsilon_i$  – натуральное значение интервала варьирования, которое рассчитывается по формуле (2.10):

$$\varepsilon_i = \frac{X_i^B - X_i^H}{2}, \quad (2.10)$$

где  $X_i^B$  – натуральное значение фактора на верхнем уровне;

$X_i^H$  – натуральное значение фактора на нижнем уровне.

В матрице планирования варьирование факторов на двух уровнях обозначается: верхний уровень (+), нижний уровень (–).

В табл. 2.3 показана запись уровней варьирования для  $2^3$  (трех) факторов.

После определения основных факторов технологического процесса составляют план эксперимента, т.е. влияние изменения фактора на критерий оптимизации.

Таблица 2.3 – Уровни варьирования факторов, включаемых в план фактора

Показатель	Кодированное значение	Факторы и их размерность		
		$x_1$	$x_2$	$x_3$
Верхний уровень	+	$X_1^B$	$X_2^B$	$X_3^B$
Нулевой уровень	0	$X_1^0$	$X_2^0$	$X_3^0$
Нижний уровень	–	$X_1^H$	$X_2^H$	$X_3^H$
Интервал варьирования	$\varepsilon$	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$	$\varepsilon_3$

Оформление полного факторного эксперимента типа  $2^2$  процесса приведено в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Матрица полного факторного эксперимента  $2^2$

№ варианта	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Критерий оптимизации		
				$Y_1$	$Y_2$	$\bar{Y}_u$
1	2	3	4	5	6	7
1	–	–	–			
2	+	–	–			
3	–	+	–			
4	+	+	–			
5	–	–	+			
6	+	–	+			
7	–	+	+			
8	+	+	+			

В первом столбце матрицы указываются номера опытов, количество которых определяется из условий  $N = 2^k$ , где  $k$  – количество факторов. Во втором столбце указывают кодированное значение фиктивной переменной ( $x_0$ ), ее оценка дает величину свободного члена ( $b_0$ ) в уравнении регрессии. В следующих столбцах в кодированном виде указаны уровни всех факторов.

Последний столбец предназначен для записи значений критерия оптимизации, которые определяются экспериментально по результатам опытов.

Математическая модель процесса может быть представлена уравнением регрессии (2.11):

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3, \quad (2.11)$$

где  $b_0$  – свободный член в уравнении регрессии, характеризующий средний выход процесса, всегда положительный;

$b_1, b_2, b_3$  – коэффициенты регрессии, показывающие степень влияния факторов на выход процессов.

Свободный член уравнения регрессии определяется по формуле (2.12):

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{Y}_u}{N}, \quad (2.12)$$

где  $\bar{Y}_u$  – среднее значение выхода процесса;

$N$  – количество опытов в матрице.

Коэффициенты регрессии для каждого фактора вычисляются по формуле (2.13):

$$b_1 = \frac{\sum_{u=1}^N (x_1)_u \bar{Y}_u}{N}, \quad (2.13)$$

где  $(x_i)_u$  – значение фактора в кодированной размерности из матрицы.

Оценку достоверности (значимости) полученных коэффициентов регрессии, представляющих собой меру влияния фактора на процесс, проводят по дисперсии воспроизводимости результатов опыта по формуле (2.14):

$$\rho^2(\bar{Y}_u) = \frac{\rho_{yk}^2}{m}, \quad (2.14)$$

где  $\rho^2(\overline{Y_u})$  – средняя дисперсия воспроизводимости процесса

$\rho_{yk}^2$  – дисперсия воспроизводимости единичного результата;

$m$  – число повторений.

Дисперсию коэффициентов уравнения регрессии определяют по формулам (2.15, 2.16, 2.17):

$$\rho_{bi}^2 = \frac{\rho^2(\overline{Y_u})}{N} \Rightarrow \rho_{bi}, \quad (2.15)$$

$$\rho_{bi} = \sqrt{\rho_{bi}^2}, \quad (2.16)$$

$$\rho_{yk}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\overline{Y_u} - Y_1)^2}{N}, \quad (2.17)$$

Находят доверительный интервал ( $\Delta b$ ), т.е. наименьшее возможное абсолютное значение коэффициентов регрессии (2.18):

$$\Delta b = t_p \rho_{bi}, \quad (2.18)$$

где  $t_p$  – табличное значение критерия Стьюдента, который зависит от числа опытов, использованных для определения коэффициентов регрессии в уравнении.

Проверку соответствия уравнения регрессии описанному процессу (проверка адекватности) проводят сопоставлением полученных результатов с результатами эксперимента. Величина этой погрешности определяется дисперсией адекватности и может быть рассчитана по формуле (2.19):

$$\rho_{ad}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\overline{Y_u} - \hat{Y}_u)^2}{N - N'}, \quad (2.19)$$

где  $N$  – число членов в уравнении регрессии;

$N'$  – число степеней свободы.

В случае, если полученная дисперсия адекватности  $\rho_{ad}^2$  не превышает среднюю дисперсию воспроизводимости  $\rho^2(\overline{Y_u})$  более чем в F раз (критерий Фишера, табличный), можно сделать вывод о том, что уравнение регрессии описывает процесс адекватно. Критерий Фишера находят по принятому уровню значимости и числу степеней свободы для обеих дисперсий, а критерий Фишера расчетный определяют по формуле (2.20):

$$F_{\text{расч}} = \frac{\rho_{ad}^2}{\rho^2(\overline{Y_u})} = \rightarrow F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}. \quad (2.20)$$

При решении задачи, целью которой является поиск математического описания объекта исследования, получение адекватной модели означает окончание экспериментальной работы. При решении задачи поиска оптимума после получения адекватной модели переходят к следующему этапу работы – поиску оптимума с помощью найденной модели.

Программа оптимизации процесса заключается в том, что на основе анализа уравнения регрессии составляются условия серии опытов с различными значениями факторов. Каждое последующее изменение значения факторов обеспечивает в соответствии с уравнением регрессии повышение эффективности процесса, проявляющееся в увеличении выхода процесса – критерия оптимизации  $\overline{Y_u}$ .

Порядок составления программы крутого восхождения состоит из следующих операций:

- 1) подсчет произведения  $b_i \varepsilon_i$  для каждого фактора;
- 2) назначение для наиболее сильнодействующего фактора, который можно назвать базовым, шага его изменения по формуле (2.21):

$$\delta_{\text{баз}} = (b_i \varepsilon_i)_{\text{баз}}, \quad (2.21)$$

- 3) определение масштаба  $\mu$  для пересчета значений  $b_i \varepsilon_i$  в соответствии со значением  $(b_i \varepsilon_i)_{\text{баз}}$  (2.22):

$$\mu = \frac{(b_i \varepsilon_i)_{\text{баз}}}{b_i \varepsilon_i}, \quad (2.22)$$

- 4) расчет шагов всех факторов по формуле (2.23):

$$\delta_i = b_i \varepsilon_i \mu_i, \quad (2.23)$$

- 5) округление величин шагов всех факторов до ближайших удобных для проведения эксперимента;  
6) реализация опыта.

### 2.3.10. Расчет температурного коэффициента

Температурный коэффициент ( $Q_{10}$ ) рассчитывали по уравнению (2.24):

$$Q_{10} = \left( \frac{R_1}{R_2} \right)^{\frac{10}{T_2 - T_1}}, \quad (2.24)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – скорости реакции при температуре  $T_1$  и  $T_2$  соответственно.

### 2.3.11. Статистический анализ

Полученные результаты представлены как средние значения  $\pm$  стандартное отклонение.

Экспериментальные данные по пшенице, взорванным зернам и воздушным зернам с добавками были проанализированы с помощью ANOVA и подвергнуты t-тесту с помощью программного обеспечения Microsoft Excel 2016. Достоверность различий между значениями всех показателей определяли при  $p \leq 0,05$ .

## ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1. Влияние технологической обработки на состав и свойства зерен пшеницы

Технология производства взорванных зерен требует шелушения оболочки зерен, увлажнения и высокотемпературной тепловой обработки – «взрывания». Такие технологические процессы влияют на структуру и другие физико-химические свойства зерен пшеницы, включая потерю влаги, желатинизацию крахмала, денатурацию белка, а также значительно улучшают питательные свойства [106]. Летучие соединения, такие как пиразины, фураны легко образуются в результате реакции Майяра, которая при нагревании происходит с восстановлением редуцирующих сахаров и аминокислот, белков и других азотосодержащих соединений [164-166]. Связанные фенольные соединения высвобождаются во время тепловой обработки, тем самым повышая антиоксидантную способность зерен [167-169]. Также известно, что высокотемпературная обработка пищевых продуктов может привести к образованию потенциально вредных соединений. Среди таких процессов, происходящих при термической обработке продуктов, реакция Майяра занимает особое место. Реакция происходит между аспарагином и редуцирующими сахарами (глюкозой, фруктозой) при тепловой обработке (более 120 °С) пищевых продуктов, прежде всего, растительного происхождения (картофель, зерновые) [107]. Это может привести к потере питательной ценности продуктов, образованию акриламида, который является ядовитым веществом и классифицируется Международным агентством по изучению рака как потенциальный канцероген для человека [108]. Европейское управление по безопасности пищевых продуктов (EFSA, 2015, 2017) акриламид и фурановые соединения относит к канцерогенным соединениям, вызывающим рак [109, 110]. Как было отмечено, технологические процессы при получении воздушных зерен способствуют протеканию реакции Майяра и карамелизации, которые приводят

к образованию гидросиметилфурфузола (ГМФ) [111, 112], найденного во многих сухих завтраках [113]. ГМФ образуется при нагревании пищи, он может негативно влиять на здоровье [111].

### 3.1.1. Химический состав

Физико-химические характеристики цельных зерен пшеницы и взорванных зерен представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Сравнительные физико-химические характеристики взорванных и цельных зерен пшеницы

Показатели	Цельные зерна пшеницы	Взорванные зерна пшеницы
Сухие вещества, г/100 г	90,9±0,1 <sup>b</sup>	94,1±0,2 <sup>a</sup>
МТЗ, г	46,4±1,1 <sup>a</sup>	34,3±0,7 <sup>b</sup>
a <sub>w</sub>	0,421±0,001 <sup>a</sup>	0,157±0,004 <sup>b</sup>

Примечание: Среднее (n = 3) ± SD. МТЗ – масса тысячи зерен. Разные буквы в одном ряду указывают на достоверные различия при p ≤ 0,05.

Содержание сухих веществ во взорванных зернах (ВЗ) значительно выше, чем в сырых зернах пшеницы, что объясняется испарением влаги в процессе высокотемпературной обработки.

Масса тысячи зерен (МТЗ) пшеницы больше, чем МТЗ зерен ВЗ, так как при обработке зёрна пшеницы частично потеряли клеточные стенки и влагу, клетки растянулись и стали больше. Это наблюдалось потому, что при достижении заданного давления в «пушке», когда крышка открывается, давление в камере мгновенно падает, но в зерне сохраняется. Из-за возникшей разницы давлений внутри зерна и в окружающей среде воздух под высоким давлением в порах зерна взрывается. В результате зерно расширяется в 4-6 раз, придавая пористую структуру.

Активность воды a<sub>w</sub> определяет потенциал хранения пищевых продуктов, и это важная критическая контрольная точка для анализа рисков, как это указано

концепцией НАССР. Сообщалось, что более высокий показатель  $a_w$  в продукте способствует размножению микроорганизмов. Бактериям обычно требуется значение  $a_w$ , превышающее 0,91, тогда как для роста грибов достаточно 0,6. Результаты исследования показали, что относительно высокое значение  $a_w$ , равное 0,421, наблюдается для цельного зерна пшеницы. В свою очередь, взорванное зерно из-за термической обработки и потери влаги имело более низкий показатель  $a_w$ .

Содержание белков, жиров, углеводов, пищевых волокон и золы исследованных образцов зерен представлено в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Химический состав цельных и взорванных зерен пшеницы

Показатель	Содержание, г/100 г сухого вещества	
	Цельные зерна пшеницы	Взорванные зерна пшеницы
Влажность	9,10±0,11 <sup>a</sup>	5,90±0,15 <sup>b</sup>
Белки	15,09±0,24 <sup>a</sup>	13,70±0,04 <sup>b</sup>
Жиры	1,54±0,09 <sup>a</sup>	0,98±0,06 <sup>b</sup>
Углеводы	66,07±0,11 <sup>b</sup>	72,20±0,07 <sup>a</sup>
Пищевые волокна	15,37±0,09 <sup>a</sup>	11,82±0,11 <sup>b</sup>
Зола	1,93±0,06 <sup>a</sup>	1,30±0,02 <sup>b</sup>

Примечание: Среднее ( $n = 3$ )±SD. Разные буквы в одном ряду указывают на достоверные различия при  $p \leq 0,05$ .

Содержание белков во взорванных зернах пшеницы уменьшилось из-за потери части белков в процессе шелушения. Алейроновый слой, богатый белками, минералами, витаминами, обычно отслаивается вместе с внешними слоями (околоплодником и семенной оболочкой) в процессе шелушения [170]. Содержание золы и сырого жира во взорванных зернах пшеницы было ниже, чем в цельных зернах. Высокотемпературная обработка приводит к гидролизу нейтральных жиров, в результате чего содержание свободных жирных кислот и

глицерина увеличивается, а содержание жира снижается [171]. Технологические процессы удаления оболочек зерен пшеницы и их «взрывание» привели к существенному снижению содержания пищевых волокон в конечном продукте. В результате, относительное содержание углеводов, в частности крахмала, во взорванных зернах пшеницы (ВЗ) значительно увеличилось.

Результаты определения содержания моно- и дисахаридов, крахмала, растворимых и нерастворимых пищевых волокон представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3 – Содержание моно- и дисахаридов, крахмала и растворимых и нерастворимых пищевых волокон в цельных и взорванных зернах пшеницы

Показатель	Содержание, г/100 г сухого вещества	
	Цельные зерна пшеницы	Взорванные зерна пшеницы
1	2	3
Крахмал	64,40±0,1 <sup>b</sup>	71,17±0,1 <sup>a</sup>
Ди- и моносахара, в т.ч.	1,67±0,09 <sup>a</sup>	1,03±0,02 <sup>b</sup>
ксилоза	–	0,06±0,01
арабиноза	–	–
фруктоза	0,04±0,01 <sup>b</sup>	0,35±0,01 <sup>a</sup>
глюкоза	0,07±0,01 <sup>b</sup>	0,11±0,01 <sup>a</sup>
сахароза	1,00±0,03 <sup>a</sup>	0,20±0,01 <sup>b</sup>
мальтоза	0,14±0,01 <sup>b</sup>	0,19±0,01 <sup>a</sup>
лактоза	–	–
неизвестный	0,40±0,14 <sup>a</sup>	0,12±0,01 <sup>b</sup>
Общее количество пищевых волокон (ОПВ), в т.ч.	15,37±0,09 <sup>a</sup>	11,82±0,11 <sup>b</sup>
нерастворимые пищевые волокна (НПВ)	11,72±0,1 <sup>a</sup>	8,41±0,63 <sup>b</sup>

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3
растворимые пищевые волокна (РПВ)	3,65±0,1 <sup>a</sup>	3,41±0,37 <sup>a</sup>

Примечание: Среднее (n = 3)±SD. Разные буквы в строках указывают на достоверные различия между образцами ( $p \leq 0,05$ ).

Удаление оболочки и последующая термическая обработка «взрывание» зерен пшеницы привели к увеличению относительного содержания крахмала в конечном продукте. Согласно данным [172], при переработке цельного зерна пшеницы в крупу содержание крахмала увеличивается на 22%, а содержание пищевых волокон снижается на 61%. Как уже отмечено, при приготовлении взорванных зерен пшеницы общее содержание пищевых волокон уменьшается. Согласно данным табл. 3.3, содержание нерастворимых пищевых волокон во взорванных зернах пшеницы значительно ниже, чем в цельных. Снижение содержания нерастворимых пищевых волокон, играющих важную роль в перистальтике кишечника, является негативным следствием обработки. Хотя содержание растворимых пищевых волокон, таких как бета-глюканы, способствующих снижению уровня холестерина и улучшения усвоения глюкозы [173], остается неизменным.

Исследование показало, что общее содержание моно- и дисахаридов во взорванных зернах пшеницы снизилось. Однако, содержание мальтозы и глюкозы, продуктов распада крахмала, увеличилось. Эти результаты согласуются с данными других авторов [46, 174], которые наблюдали при высокотемпературной обработке зерна процессы желатинизации, деградации и набухания крахмала.

### 3.1.2. Профиль летучих соединений

В результате проведенного исследования состава летучих соединений в цельных и взорванных зернах пшеницы были идентифицированы 21 и 23 летучих соединения соответственно. Эти соединения были объединены в органические классы: углеводороды, спирты, фенолы, эфиры, альдегиды, карбоновые кислоты, сложные эфиры, гетероциклические соединения, азотсодержащие соединения и другие вещества. Наблюдались значительные различия в составе и количестве летучих соединений между цельными и взорванными зернами пшеницы (рис. 3.1).

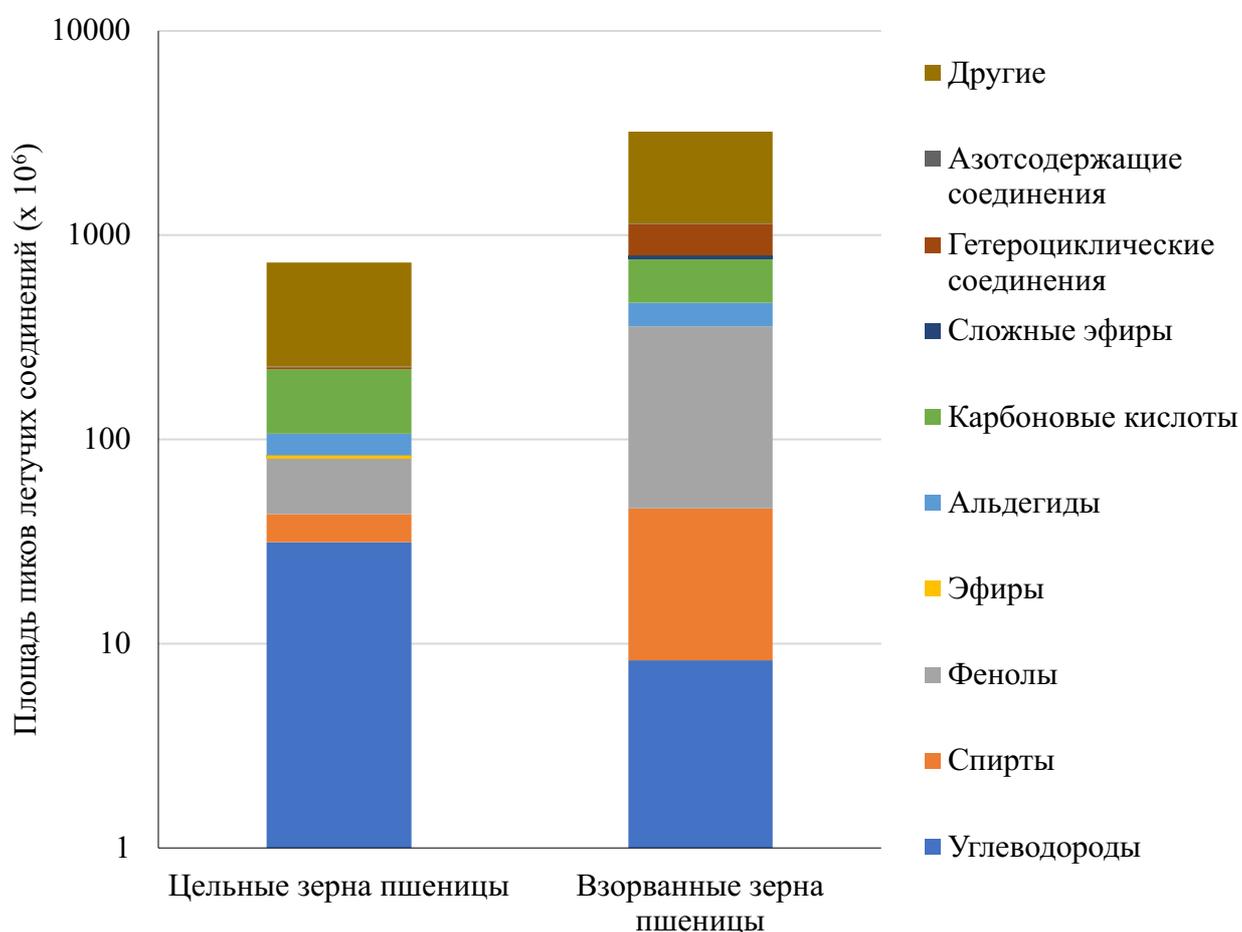


Рисунок 3.1 – Содержание летучих соединений в цельных и взорванных зернах пшеницы

Новые летучие соединения во взорванных зернах пшеницы возможно образовались при взаимодействии образующихся в результате расщепления

белков аминокислот с редуцирующими углеводами. В результате реакции Майяра происходят следующие процессы и явления:

- образование фенолов и карбонильных соединений;
- образование альдегидов [175-178];
- образование пиразинов и фуранов при нагревании с восстановлением редуцирующих сахаров и аминокислот, белков и других азотсодержащих соединений [164-166]. Пиразины (например, метилпиразин и 2,5-диметилпиразин) способствуют появлению аромата обжарки [179].

Во взорванных зернах пшеницы заметно увеличение содержания спиртов, вызванное термической обработкой и протекающими при этом процессами гидролиза. Это подтверждается исследованиями других авторов [140, 179, 180]. Результаты исследования показали, что содержание углеводов, характерных для твердых сортов пшеницы [177-181], во взорванных зернах существенно снижается в результате термоокислительных процессов, протекающих при взрывании.

### 3.1.3. Антиоксидантная активность веществ в составе пшеницы

В результате исследования нами получены данные (табл. 3.4) об общем содержании фенольных соединений (ОСФ) и флавоноидов, а также об их активности по поглощению радикаловДФПГ и снижению активности радикалов в цельных и взорванных зернах пшеницы.

Таблица 3.4 – Антиоксидантная активность веществ в цельных и взорванных зернах пшеницы, на 100 г сухого вещества

Показатель	Образец	
	Цельные зерна пшеницы	Взорванные зерна пшеницы
1	2	3
<b>ОСФ, мг эквивалента галловой кислоты, в т.ч.</b>	229,00±3,68 <sup>a</sup>	239,77±3,84 <sup>a</sup>

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3
свободные	51,75±3,08 <sup>b</sup>	130,70±3,61 <sup>a</sup>
связанные	177,26±4,28 <sup>a</sup>	109,06±4,06 <sup>b</sup>
<b>Общее содержание флавоноидов, мг катехинового эквивалента, в т.ч.</b>	142,26±4,48 <sup>b</sup>	195,20±3,96 <sup>a</sup>
свободные	48,52±4,97 <sup>b</sup>	72,05±4,75 <sup>a</sup>
связанные	93,74±3,99 <sup>b</sup>	123,15±3,17 <sup>a</sup>
<b>Активность по удалению радикалов, мкмоль тролокса, метод ДФПГ, в т.ч.</b>	7,76±0,25 <sup>b</sup>	12,93±0,39 <sup>a</sup>
свободные	2,50±0,31 <sup>b</sup>	4,37±0,60 <sup>a</sup>
связанные	5,26±0,18 <sup>b</sup>	8,56±0,17 <sup>a</sup>
<b>Снижение активности радикалов, мг-эквивалент аскорбиновой кислоты, в т.ч.</b>	164,00±3,99 <sup>b</sup>	484,39±5,06 <sup>a</sup>
свободные	19,94±3,39 <sup>b</sup>	211,13±5,12 <sup>a</sup>
связанные	144,06±4,60 <sup>b</sup>	273,26±4,99 <sup>a</sup>

Примечание: Среднее (n = 9)±SD. ОСФ – Общее содержание фенолов. Разные буквы в одном ряду указывают на достоверные различия между образцами при  $p \leq 0.05$ .

В процессе исследования был определен состав растворимых форм (свободная и связанная) антиоксидантов.

Общее содержание фенолов во взорванных зернах пшеницы не изменилось по сравнению с цельной пшеницей, тогда как количество свободной фенольной фракции значительно увеличилось. Тепловая обработка зерен повлияла на уровень ОСФ и отдельных фенольных соединений [46, 182]. Фенолы, прочно удерживаемые в клеточной стенке ковалентными связями, высвобождаются во время тепловой обработки, увеличивая содержание свободной фенольной фракции и повышая общую антиоксидантную способность зерен. Повышение содержания свободных фенолов увеличивает антиоксидантную способность

зерен, так как свободные фенолы более доступны для взаимодействия с радикалами и нейтрализации их действия [167-169]. Эти вещества полезны для здоровья человека, снижая риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, некоторых видов рака и других хронических заболеваний, связанных с окислительным стрессом [164, 183, 184].

Свободных и связанных форм флавоноидов было больше в составе взорванных зерен пшеницы, чем в цельных. При этом, в обоих образцах преобладала связанная форма флавоноидов. Она, благодаря более медленному высвобождению, оказывает более продолжительное антиоксидантное действие. Основное всасывание связанных антиоксидантов происходит в толстой кишке, где они подвергаются ферментативному гидролизу и способствуют поддержанию восстановительной среды и улучшению ее функционирования [167].

Активность по удалению радикалов, измеренная методомДФПГ, увеличилась во взорванных зернах пшеницы. Высокое содержание флавоноидов и образование веществ в результате высокотемпературной обработки усиливают активность по удалению радикаловДФПГ [98]. Многие исследователи отмечают, что реакция Майяра, помимо влияния на органолептические свойства продуктов, также влияет на антиоксидантный потенциал: продукты реакции показали активность по поглощению 1,1-дифенил-2-пикрилгидразила (ДФПГ) [185, 186].

Антиоксидантная активность по снижению активности радикалов во взорванных зернах пшеницы существенно повысилась по сравнению с цельной пшеницей. Антиоксидантная активность пищевых продуктов определяется их способностью нейтрализовать свободные радикалы за счет наличия антиоксидантов [187]. Редуктоны, в том числе фенольные соединения и флавоноиды, являются основными носителями восстанавливающей способности зерновых и способны отдавать электрон свободным радикалам, тем самым предотвращая окислительные повреждения [188].

### 3.1.4. Содержание 5-ГМФ и акриламида

Органическое соединение 5-гидроксиметилфурфурол (ГМФ) образуется в результате дегидратации сахаров при нагревании по реакции Майяра [189]. Содержание 5-ГМФ в хлебной пшенице составляет 46,3 мг/кг сухого вещества, а во взорванных зернах пшеницы – 66,6 мг/кг сухого вещества [190]. В сухих завтраках на основе пшеницы среднее содержание 5-ГМФ составляет 1,44 мг/100 г [110]. Однако, согласно другим исследованиям [191], это значение может достигать 4,49 мг/100 г. Скорость образования 5-ГМФ зависит от типа сахара. Моно- и дисахара (глюкоза, фруктоза, сахароза) служат предшественниками для образования 5-ГМФ [189]. В зернах ячменя, по сравнению с пшеницей, содержится больше фруктозы, глюкозы и сахарозы [110]. Акриламид, опасный канцероген, образуется в пище при нагревании продуктов, содержащих углеводы и белки, при температуре выше 120 °С. Реакция происходит между редуцирующими сахарами (глюкозой, фруктозой) и аминокислотой аспарагином [192]. Результаты определения 5-ГМФ и акриламида в составе исследуемых образцов представлены в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Содержание 5-ГМФ и акриламида в цельных и взорванных зернах пшеницы

Показатель	Цельные зерна пшеницы	Взорванные зерна пшеницы
5-ГМФ, мг/кг	0,47±0,03	622,98±0,02
Акриламид, мкг/кг	<20 (20±5)	240±60

Примечание: Среднее (n = 3)±SD. 5-ГМФ – 5-гидроксиметилфурфурол.

Допустимые суточные дозы 5-ГМФ, упомянутые в исследованиях [193, 194], составляют от 80 до 100 мг/кг массы тела. Если человек весит 70 кг, то допустимая суточная доза не должна превышать 5600-7000 мг 5-ГМФ. Следовательно, не рекомендуется употреблять взорванные зерна пшеницы в количестве более 8-11 кг в сутки. В случае, если человек весит 20 кг, допустимая

суточная доза не должна превышать 1600-2000 мг 5-ГМФ. При содержании 5-ГМФ в исследуемых образцах взорванных зерен 622,98 мг/кг (табл. 3.5), допустимое суточное потребление взорванных зерен для человека массой 20 кг не должно превышать 250-320 граммов согласно проведенным расчетам.

По результатам исследования, содержание акриламида во взорванных зернах пшеницы составляет  $240 \pm 60$  мкг/кг. Согласно требованиям Регламента Комиссии (ЕС) 2017/2158 [195], допустимая доза акриламида в сухих завтраках, изготовленных из пшеницы, не должна превышать 300 мкг/кг. Следовательно, во взорванных зернах обнаруженное содержание акриламида допустимо. Как показывают данные табл. 3.5, содержание акриламида в пробах необработанной пшеницы ниже 20 мкг/кг. Следует отметить, что содержание аспарагина в зерне, по данным различных исследований [110, 194], подвержено значительным колебаниям в зависимости от года сбора урожая, внесения удобрений, сорта пшеницы и условий хранения. Таким образом, именно значительные колебания содержания аспарагина в зерне определяют потенциал образования акриламида при последующей переработке.

## **Выводы**

Результаты исследований подтвердили, что технологический процесс взрывания зерен пшеницы влияет на их физико-химические характеристики.

При этом увеличивается содержание сухих веществ, объем зерна, определяемого по массе тысячи зерен, снижается активность воды по сравнению с цельным зерном пшеницы.

Технологические процессы производства взорванных зерен пшеницы приводят к снижению в них содержания белков, жиров и золы по сравнению с цельными зернами. Шелушение перед термической обработкой приводит к снижению содержания пищевых волокон и увеличению содержания крахмала, а тепловая обработка увеличивает содержание мальтозы и глюкозы. Во взорванных зернах обнаружены новые летучие соединения, которые, вероятно,

являются результатом реакции Майяра. Взрывание приводит к увеличению содержания альдегидов, карбоновых кислот, гетероциклических соединений, фенолов, спиртов, азотсодержащих соединений и других летучих соединений и к снижению содержания углеводов и эфиров. Образование пиразинов способствует появлению аромата обжарки. Высокотемпературная обработка способствует увеличению общего содержания фенолов и флавоноидов в зернах пшеницы, что повышает их способность улавливать свободные радикалы и снижать окислительный стресс. «Взрывание» также повлияло на образование 5-гидроксиметилфурфурола (5-ГМФ) в количестве 622,9 мг/кг и акриламида в количестве 240 мкг/кг, что находится в пределах допустимых норм, установленных для пищевых продуктов.

### **3.2. Разработка оптимизированной рецептуры и технологии обогащенных сухих завтраков на основе воздушных зерен пшеницы**

В ответ на растущий спрос на здоровую пищу исследователи предлагают новые продукты, которые не только вкусны, но и полезны. В рационе людей разных стран зерновые занимают главное место. Пшеница – один из лидеров по употреблению. Она богата белком, углеводами, особенно клетчаткой, минералами, что делает ее незаменимым продуктом питания [35-37].

Воздушные зерна – удобный и питательный продукт для быстрого утоления голода. Они полезны для детей и взрослых, но в них нет в достаточном количестве незаменимых аминокислот [38, 64]. Чтобы ликвидировать этот недостаток и сделать продукт еще более полезным и вкусным, необходимо разрабатывать новые рецептуры [63]. В целях обогащения сухих завтраков применялись: ликопин, томатный порошок, экстракт шафрана [65]; кокос [66]; гималайский орех (индийский конский каштан) [67]; отруби, сухофрукты [39]; грецкий орех, миндаль, сухое обезжиренное молоко [68]; мука из красной чечевицы, конской фасоли, коричневого гороха [69]; побеги бамбука [70].

Воздушную пшеницу покрывали сиропом, содержащим шоколад, сахар и воду [71]. Ванилин используется в пищевой промышленности в качестве усилителя вкуса благодаря своему натуральному вкусу и противомикробному действию [196]. Согласно исследованиям авторов [197], аромат ванилина усиливает вкус сахара, что позволяет снизить его содержание [198]. Разработка продуктов с пониженным содержанием сахара является одной из обязанностей пищевой промышленности [199], так как сокращение потребления сахара может сыграть значительную роль в борьбе с сердечно-сосудистыми заболеваниями, диабетом и ожирением [200].

Применение молочной сыворотки в разработке новых продуктов питания может не только принести пользу потребителям, но и значительно снизить ее негативное влияние на окружающую среду [6]. В настоящее время сыворотка часто выливается без дополнительной обработки, что приводит к загрязнению рек и водоемов [201]. Сыворотка является хорошим источником минералов, включая натрий и калий, которые необходимы при лечении диареи. Кальций, магний и фосфор присутствуют в растворе и частично связаны с белками. Как было уже упомянуто, в процессе переработки молока витамины B1, B2, B5, B6, B9 и C переходят в сыворотку [202].

### **3.2.1. Выбор и обоснование ингредиентов для производства сухих завтраков на основе воздушной пшеницы**

Сухие завтраки на основе воздушной пшеницы представляют собой популярный продукт питания, особенно среди детей и подростков [203]. Их привлекательность обусловлена не только вкусовыми качествами, но и питательной ценностью. Правильный выбор ингредиентов играет ключевую роль в формировании конечного продукта, определяя его пищевую ценность, текстуру и вкусовые характеристики. В данном разделе рассматриваются основные компоненты, используемые при производстве сухих завтраков на основе воздушной пшеницы, и обоснование их применения.

**Пшеница.** Зерно пшеницы состоит из оболочек, алейронового слоя, мучнистого ядра (эндосперма), околоплодника и зародыша. Снаружи зерно пшеницы покрыто плодовыми и семенными оболочками. Продольный разрез пшеничного зерна представлен на рис. 3.2.

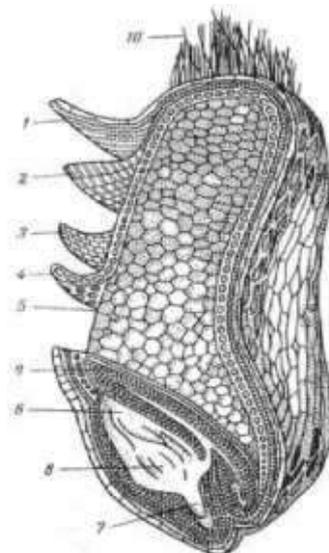


Рисунок 3.2 – Продольный разрез пшеничного зерна [204]

1, 2, 3 – оболочки плодовые и семенные; 4 – алейроновый слой; 5 – эндосперм;  
6 – зародыш; 7 – зачаточный корешок; 8 – почечка; 9 – щиток; 10 – бородка

Плодовые оболочки состоят из нескольких слоев клеток, их содержание в зерне составляет 4-6% от общей массы зерна. Под плодовыми оболочками лежат семенные оболочки. Они тонки, хрупки и составляют 2-2,5% от массы зерна. Эндосперм состоит из крахмалистого эндосперма и алейронового слоя. Крахмалистый эндосперм состоит из крахмала и белков. Алейроновый слой богат белками, минералами, витаминами и обычно отрывается вместе с внешними слоями (околоплодником и семенной оболочкой) в процессе помола. Наружные слои образуют отруби и богаты некрахмальными полисахаридами (арабиноксиланами, целлюлозой и бета-глюканами). Зародыш, находящийся на остром конце зерна, снаружи покрыт семенными оболочками. Масса зародыша 2-3% от массы зерна. Отруби и зародыш относительно богаты белками, жирами, минералами и витаминами группы В [170]. В гранулах крахмала амилопектин

имеет форму двойной спирали, что обеспечивает высокую способность системы удерживать молекулы воды и возможность быстрого расширения [205].

Твердая пшеница содержит больше белков, консистенция зерна в основном стекловидная. Фенольные соединения пшеницы существуют в свободной и связанной формах. Наиболее преобладающими фенольными соединениями являются феруловая и п-кумаровая кислоты, которые обычно встречаются в конъюгированных формах, связанных с полисахаридами клеточной стенки. Эти кислоты выделяются после гидролиза во время тепловой обработки [98, 206-208].

Химический состав пшеницы представлен в табл. 3.6, все данные приведены из расчета содержания в 100 г съедобной части продукта.

Таблица 3.6 – Химический состав пшеницы [209]

Наименование показателя	Содержание
1	2
Вода, г	14,0
Белки, г	13,0
Жиры, г	2,5
Моно- и дисахариды, г	0,8
Крахмал, г	54,5
Клетчатка, г	2,6
Зола, г	1,7
Натрий, мг	8,0
Калий, мг	325,0
Кальций, мг	62,0
Магний, мг	114,0
Фосфор, мг	368,0
Железо, мг	5,3
β-каротин, мг	0,001

Продолжение таблицы 3.6

1	2
В1, мг	0,37
В2, мг	0,10
РР, мг	4,94

Аминокислотный состав пшеницы представлен в табл. 3.7.

Таблица 3.7 – Аминокислотный состав пшеницы, г/100 г [210]

Наименование аминокислоты	Содержание
1	2
<i>Незаменимые</i>	
Валин	0,70
Изолейцин	0,58
Лейцин	1,11
Лизин	0,54
Метионин	0,16
Треонин	0,41
Триптофан	0,14
Фенилаланин	0,89
Гистидин	0,28
<i>Заменимые</i>	
Аланин	0,60
Аргинин	0,57
Аспарагиновая кислота	0,67
Глицин	0,55
Гистидин	0,44
Глутаминовая кислота	4,17
Пролин	2,64

Продолжение таблицы 3.7

1	2
Серин	0,49
Тирозин	0,36
Цистеин	0,13

Белки являются важными компонентами зерна пшеницы. Они традиционно классифицируются на четыре группы: водорастворимые альбумины, солерастворимые глобулины, спирторастворимые глиадины и нерастворимые в спирте глютеины [211]. Глиадины образуют разнообразную группу проламинов пшеницы [212]. Белки глютена разделяются на две группы: мономерные глиадины (проламины) и полимерные глютеины (глютелины), а также на типы белков внутри этих групп: высокомолекулярные и низкомолекулярные субъединицы глютеина и глиадин  $\alpha$ -типа,  $\gamma$ -глиадины и  $\omega$ -глиадины. Белки глютена составляют 80-85% от общего количества белка пшеницы. Глютеин обеспечивает эластичность теста, тогда как глиадин растяжимость [211]. Белки глютена могут вызвать аллергию у людей с целиакией [212]. Заболевание провоцируется генетической предрасположенностью и употреблением в пищу глютена из пшеницы, ячменя и ржи [213]. По аминокислотному составу альбумины и глобулины отличаются от глютена большим количеством лизина. В эндосперме пшеницы альбумины и глобулины содержатся в незначительных пропорциях, что недостаточно для восполнения лизина [214].

Пшеница твердых сортов (*Triticum turgidum*) является основным продуктом питания человека, она широко используется в производстве хлеба, хлебобулочных и макаронных изделий. Часто используется в качестве сырья для приготовления экструдированных продуктов [215]. Пшеница служит основным источником углеводов и белков, обеспечивая калорийность продукта. Зерна пшеницы относительно легко поддаются сбору урожая, транспортировке и хранению [164]. Пищевые продукты, полученные из цельного зерна, с каждым

годом становятся популярными из-за содержания в них фенольных соединений, которые обладают полезными свойствами для организма человека [180, 216, 217]. Пшеница относится к одному из основных стратегических продуктов многих стран [218].

**Подсолнечное масло** представляет собой растительный жир, состоящий преимущественно из триацилглицеринов – сложных эфиров глицерина и жирных кислот. Их молекулярная структура определяет физико-химические свойства масла. В составе подсолнечного масла преобладают следующие жирные кислоты: насыщенные (пальмитиновая и стеариновая), мононенасыщенная (олеиновая) и полиненасыщенная (линолевая) [219]. Жирнокислотный состав подсолнечного масла, полученного методом холодного отжима, представлен в табл. 3.8.

Таблица 3.8 – Жирнокислотный состав подсолнечного масла [220]

Наименование	Содержание, %
Пальмитиновая кислота, C16:0	6,1
Стеариновая кислота, C18:0	3,1
Олеиновая кислота, C18:1n9c	21,5
Линолевая кислота, C18:2n6c	66,4

Соотношение этих кислот в триацилглицеринах определяет функциональные свойства масла и его пищевую ценность. Помимо триацилглицеринов, в масле присутствуют фосфолипиды, токоферолы и свободные жирные кислоты. Высокое содержание витамина Е, в частности,  $\alpha$ -токоферола, делает подсолнечное масло ценным источником антиоксидантов.  $\alpha$ -Токоферол защищает полиненасыщенные жирные кислоты от окисления, тем самым способствуя сохранению свежести масла и оказывая положительное влияние на здоровье человека [221]. Витаминный состав подсолнечного масла представлен в табл. 3.9.

Таблица 3.9 – Витаминный состав подсолнечного масла [220]

Наименование	Содержание, %
Витамин В4	0,205
Витамин Е	0,425
α-токоферол	0,395
β+γ-токоферол	0,015
δ-токоферол	0,025
Витамин К	0,056

Использование метода холодного прессования обеспечивает сохранение термолабильных витаминов группы В, Е, и К. Высокое содержание α-, β-, γ- и δ-токоферолов способствует регенерации крови и оказывает выраженное антиоксидантное действие, замедляя процессы старения.

**Сахарная пудра** представляет собой однородный порошок, который получают путем тщательного измельчения кристаллов белого сахара до частиц размером менее 0,2 мм. В качестве исходного сырья применяют сухую крошку, полученную из кускового или кристаллического сахара с содержанием влаги не более 0,1%. Такая низкая влажность необходима для предотвращения комкования пудры при хранении [220]. Качество сахарной пудры регламентируется ГОСТ 33222-2015.

Сахарная пудра играет важную роль в производстве сухих завтраков, придавая им сладкий вкус, улучшая текстуру и внешний вид. Ее мелкодисперсная структура позволяет равномерно распределяться по поверхности продукта, обеспечивая гладкое покрытие и приятные вкусовые ощущения. Сахарную пудру применяют различными способами: как покрытие для готовых хлопьев и гранул, добавляют в тесто для экструдированных продуктов, используют для создания глазурей.

**Ванилин (4-гидрокси-3-метоксибензальдегид)** представляет собой органическое соединение с молекулярной формулой  $C_8H_8O_3$  [222], получаемый синтетически. Молекула ванилина содержит фенольное кольцо, альдегидную

группу и метоксигруппу. Гидроксильная группа в положении 4 и метоксигруппа в положении 3 придают ванилину специфические свойства. Слабокислый характер ванилина обусловлен наличием фенольной гидроксильной группы [196]. Структурная формула ванилина представлена на рис. 3.3.

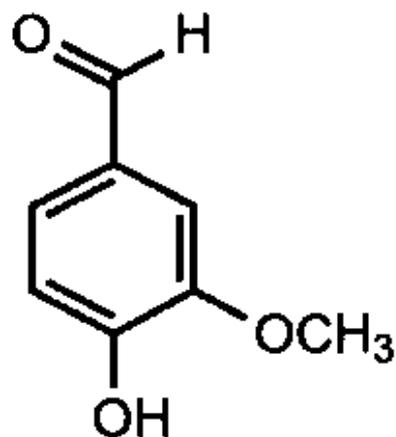


Рисунок 3.3 – Структурная формула ванилина [196]

В чистом виде ванилин образует бесцветные игольчатые кристаллы. Он обладает характерным сладковатым ароматом и умеренно растворим в воде при комнатной температуре, хорошо растворим в горячей воде, спирте и эфире. Ванилин получают синтетическим путем. Основные промышленные методы синтеза ванилина основаны на переработке лигнина.

Помимо своих органолептических свойств, ванилин обладает рядом биологически активных характеристик. Он проявляет антиоксидантные [223], противовоспалительные [224] и антимикробные свойства [225], что делает его перспективным ингредиентом для функциональных продуктов питания [196].

Ванилин – востребованный пищевой ароматизатор, позволяющий производителям создавать продукты с приятным ванильным вкусом и сниженным содержанием сахара [197, 198].

**Молочная сыворотка** содержит белки высокой биологической ценности, которые представляют интерес для улучшения качества питания человека [226]. Сывороточные белки в основном состоят из  $\beta$ -лактоглобулина,  $\alpha$ -лактальбумина, сывороточного альбумина, иммуноглобулина, термостабильных протеозо-

пептонов и лактоферрина [96]. Эти белки имеют высокую биологическую ценность [7]. Сывороточные белки богаты аминокислотами, такими как лизин, метионин и цистеин [201]. Примерно 50% всех сухих веществ молока содержатся в сыворотке. Основную долю сухих веществ сыворотки составляет лактоза, за ней белки, минералы, витамины и другие соединения [201]. Сыворотка является хорошим источником минералов, включая натрий и калий, которые необходимы при выздоровлении от диареи. Кальций, магний и фосфор присутствуют в растворе и частично связаны с белками. В процессе производства витамины, присутствующие в молоке, переходят в сыворотку: 55-75% пантотеновой кислоты (B5) и пиридоксина (B6), 70-80% рибофлавина (B2), 80-90% тиамин (B1), никотиновой кислоты (B3), фолиевой кислоты (B9) и аскорбиновой кислоты (C) [202]. Витамины являются важнейшими биологически активными соединениями, отвечающими за поддержание нормальных физиологических функций организма человека.

Авторы [227] анализировали образцы сухой молочной сыворотки сладкого и кислого типа в течение года. Среднее содержание минералов и витаминов в сухой сладкой и кислой сыворотке представлено в табл. 3.10 и 3.11, аминокислот – в табл. 3.12.

Таблица 3.10 – Среднее содержание витаминов в сухой сыворотке, мг/100 г [228]

Наименование витамина	Сладкая сыворотка	Кислая сыворотка
B <sub>1</sub> (тиамин)	0,51	0,49
B <sub>2</sub> (рибофлавин)	2,14	1,85
B <sub>3</sub> (никотиновая кислота)	1,30	1,16
B <sub>5</sub> (пантотеновая кислота)	11,5	11,4
B <sub>6</sub> (пиридоксин)	0,59	0,62
B <sub>9</sub> (фолиевая кислота)	0,0116	0,0332
C (аскорбиновая кислота)	1,41	0,33
Холин	104	101

Таблица 3.11 – Среднее содержание минеральных веществ в сухой сыворотке [228]

Минерал	Сладкая сыворотка	Кислая сыворотка
Кальций, мг/100 г	878	2404
Фосфор, мг/100 г	1096	1588
Натрий, мг/100 г	1287	1087
Калий, мг/100 г	1855	1915
Магний, мг/100 г	178	224
Цинк, мг/100 г	2,1	8,1
Железо, мг/100 г	0,9	1,3
Медь, мг/кг	2,8	5,3
Йод, мг/кг	6,79	8,64
Свинец, мг/кг	1,15	1,68
Селен, мг/кг	0,064	0,034
Мышьяк, мг/кг	0,77	0,034
Ртуть, мг/кг	0,02	0,03
Кадмий, мг/кг	0,11	0,14

Таблица 3.12 – Среднее содержание аминокислот в сухой сыворотке [229]

Наименование аминокислоты	Сладкая сыворотка, мг/100 г	Кислая сыворотка, мг/100 г
1	2	3
<i>Незаменимые</i>		
Валин	0,73	0,63
Изолейцин	0,74	0,66
Лейцин	1,28	1,26
Лизин	1,10	1,24
Метионин	0,22	0,21
Треонин	0,85	0,59
Триптофан	0,30	0,29

Продолжение таблицы 3.12

1	2	3
Фенилаланин	0,43	0,44
Гистидин	0,25	0,28
<i>Заменяемые</i>		
Аланин	0,58	0,50
Аргинин	0,33	0,33
Аспарагиновая кислота	1,28	1,23
Глицин	0,24	0,20
Глутаминовая кислота	2,23	2,22
Пролин	0,85	0,77
Серин	0,66	0,56
Тирозин	0,34	0,37
Цистеин	0,28	0,26

Во многих странах сухая сыворотка используется как продукт с высокой ценностью в качестве ингредиента при производстве йогуртов, молочных напитков, сухого молока и других продуктов, поскольку ее включение улучшает питательные и реологические свойства продукта: она является прекрасным загустителем с приятным вкусом.

Выделение компонентов сыворотки и производство порошкообразных сывороточных ингредиентов были успешными благодаря развитию технологий переработки, особенно мембранной фильтрации. Для выделения белков используется селективное осаждение, которое в сочетании с центрифугированием и электродиализом позволяет получать чистые белковые фракции [230]. Такие процессы, как микрофильтрация и ультрафильтрация, используются для удаления жира и белков из сыворотки, ионный обмен – для очистки белков и деминерализации, электродиализ – для деминерализации, диализа – для удаления минералов и низкомолекулярных соединений, а нанофильтрация и обратный осмос – для концентрирования. После

концентрирования применяется распылительная сушка для получения высококачественных порошков, используемых в пищевых продуктах [231].

Ароматические летучие соединения, такие как альдегиды (нонаналь, гексаналь, метаналь), кетоны (ацетон, 2,3-бутадион, 2-бутан, ацетоин, 2,3-пентандион, 2-гептанон, 2-нонанон), лактоны, сернистые соединения, индолы вырабатываются в сыворотке различными молочнокислыми бактериями, добавляемыми в молоко при приготовлении сыра [201].

Продукты из сывороточного белка широко представлены на рынке в виде ароматизированных коктейлей, протеиновых батончиков, диетических добавок и экструдированных снеков [94].

Авторы [92] применяли концентрат сывороточного белка для обогащения экструдированного продукта из кукурузного крахмала и экструдированного снека из проса [94]. Другие исследователи также использовали концентрат сывороточного белка в сочетании с кукурузной крупой при приготовлении гранул [232] и в качестве функционального ингредиента при приготовлении индийского блюда чапати [233].

Отсутствуют сведения о применении сухой молочной деминерализованной сыворотки в качестве источника питательных веществ и функциональных ингредиентов при производстве готовых к употреблению сухих завтраков из воздушных зерен пшеницы.

### **3.2.2. Разработка оптимизированной рецептуры сухих завтраков на основе воздушных зерен пшеницы**

#### **3.2.2.1. Воздушная пшеница с ванилином**

Разработка нового продукта осуществлялась в соответствии с разработанной схемой, включающей три этапа [234].

1. Создание экспериментальных рецептур. На основе анализа литературных данных и экспертных оценок были разработаны различные рецептуры, отличающиеся по составу и соотношению ингредиентов.

2. Органолептическая оценка образцов. Полученные образцы подвергались органолептической оценке группой квалифицированных дегустаторов по вкусу (интенсивность, баланс сладости и ванилина), аромату (интенсивность ванильного аромата), текстуре (хрусткость) и внешнему виду (однородность окраски).

3. Потребительские испытания. Для оценки восприятия продукта потребителями была проведена дегустация с участием 90 человек в возрасте от 17 до 48 лет. Дегустация проводилась по 9-балльной гедонической шкале. В результате проведенных испытаний были отобраны четыре наиболее перспективные рецептуры (табл. 3.13), удовлетворяющие требованиям к питательности и органолептическим характеристикам. Выбор компонентов для рецептур осуществлялся на основе литературных данных [110], с акцентом на снижение содержания свободных сахаров.

Таблица 3.13 – Рецептуры воздушной пшеницы с ванилином (ВВ)

Компонент	Образцы			
	ВВ-665	ВВ-742	ВВ-225	ВВ-147
Взорванные зерна пшеницы, г	68	73	78	83
Масло растительное, г	12	12	12	12
Сахарная пудра, г	19,9	14,8	9,8	4,8
Ванилин, г	0,1	0,2	0,2	0,2

Примечание: ВВ – воздушная пшеница с ванилином; трехзначный числовой код представлен случайным набором цифр.

Для приготовления образцов использовался барабанный смеситель (Китай), в котором в течение 4-5 минут перемешивали взорванные зерна пшеницы, подсолнечное масло и сахарную пудру с ванилином. Готовый продукт фасовался в герметичные пакеты из металлизированного полипропилена (metPP) с защитой от света и влаги (по 30 г каждый) и хранился при температуре  $20 \pm 2$  °С, относительной влажности воздуха не более 70%.

*Органолептическая оценка сухих завтраков на основе воздушных зерен  
пшеницы и ванилина*

Средние показатели гедонического теста воздушной пшеницы с ванилином представлены в табл. 3.14.

Таблица 3.14 – Средние показатели гедонического теста воздушной пшеницы с ванилином (по 9-ти балльной шкале)

Образец	Органолептические показатели				
	Внешний вид	Цвет	Вкус и запах	Консистенция	Общая приемлемость
ВВ-665	7,23±1,6 <sup>a</sup>	7,43±1,4 <sup>a</sup>	7,60±1,4 <sup>a</sup>	6,97±1,7 <sup>a</sup>	7,23±1,3 <sup>a</sup>
ВВ-225	7,27±1,3 <sup>a</sup>	7,17±1,3 <sup>a</sup>	6,80±1,8 <sup>c</sup>	6,54±1,9 <sup>b</sup>	6,34±1,8 <sup>b</sup>
ВВ-147	7,29±1,3 <sup>a</sup>	7,16±1,4 <sup>a</sup>	6,40±1,8 <sup>c</sup>	6,23±2,0 <sup>b</sup>	6,16±1,8 <sup>b</sup>
ВВ-742	7,54±1,3 <sup>a</sup>	7,36±1,5 <sup>a</sup>	6,98±1,7 <sup>b</sup>	7,15±1,5 <sup>a</sup>	7,01±1,5 <sup>a</sup>

Примечание: Значения представляют собой среднее значение ± стандартное отклонение из 90 определений. Значения в столбце с одинаковой буквой в верхнем индексе существенно не отличаются друг от друга по t-тесту при  $p \leq 0.05$ . ВВ – воздушная пшеница с ванилином.

Результаты показали, что не было существенной разницы ( $p > 0,05$ ) между внешним видом (7,23-7,54) и цветом (7,16-7,43) всех образцов. Различные концентрации сахарной пудры и ванилина значительно повлияли на вкус, запах, консистенцию и общую приемлемость потребителями. Образец ВВ-665 получил высокую оценку по вкусу, запаху и приемлемости. По консистенции 665 и 742 заслужили одинаково хорошей оценки. Образцы ВВ-225 и ВВ-147 заслужили одинаково ( $p > 0,05$ ) средней оценки по вкусу, запаху, консистенции и общей приемлемости. Оценка, равная или превышающая 7 баллов из 9, может широко использоваться в качестве критерия высокой приемлемости [108]. Результаты гедонического теста показывают, что образец под номером ВВ-665 достиг приемлемых органолептических свойств, признания потребителей и использовался для дальнейшего изучения. При разработке новых продуктов наиболее важными показателями для потребителя являются вкусовые качества

продукта [235, 236]. В органолептическом исследовании авторов [237] вкус был одним из наиболее важных факторов, влияющих на выбор продукта.

### **3.2.2.2. Воздушная пшеница с молочной сывороткой (ВМС)**

Увеличение потребления более рафинированных продуктов связано с появлением дефицита микроэлементов. Изменение образа жизни, связанное с дефицитом витаминов группы В и других микронутриентов, повысило риск развития ожирения, онкологических и сердечно-сосудистых заболеваний [238]. Обогащение продуктов из пшеницы другими продуктами может стать эффективным решением проблемы дефицита витаминов, минералов и других питательных веществ [63, 239]. К таким продуктам относится молочная сыворотка. По данным авторов [228] среднее содержание витаминов на 100 г сухой молочной сыворотки составило: тиамина – 0,51 мг; рибофлавина – 2,14 мг; пантотеновой кислоты – 11,5 мг; пиридоксина – 0,59 мг; аскорбиновой кислоты – 1,41 мг; В12 – 2,4 мг; токоферола – 0,063 мг и ниацина – 1,30 мг.

Из-за высокой пищевой ценности порошок молочной сыворотки используется в разных областях пищевой промышленности (например, производстве напитков, соусов, начинок, сливок, картофельных чипсов, специальных хлебобулочных изделий, макарон, а также суфле и тортов) [7]. Авторы [6] для приготовления экструдированных сухих завтраков (рис, кожура маракуйи, сыворотка) применяли порошок молочной сыворотки в количестве 10%.

Нами проведена оптимизация состава сухих завтраков на основе воздушной пшеницы с сухой молочной сывороткой. Оптимизация рецептуры представляет собой многофакторный процесс, характеризующийся большим количеством взаимосвязанных параметров и переменными свойствами компонентов. Эти параметры оказывают существенное влияние на питательную ценность и другие характеристики конечного продукта.

Для того, чтобы обогащенные сухие завтраки соответствовали требованиям ТР ТС 021/2011 (согласно которому содержание пищевого или

биологически активного вещества должно составлять не менее 5% от суточной потребности в 100 г продукта) [240], были выбраны ключевые факторы, влияющие на содержание витаминов группы В и других биологически активных веществ. К таким факторам отнесли количество порошка молочной сыворотки ( $X_1$ ) и взорванной пшеницы ( $X_2$ ). Эти компоненты являются богатыми источниками витаминов и минералов, что позволяет повысить пищевую ценность готового продукта.

В качестве целевого критерия  $Y$  для оптимизации витаминно-минерального комплекса выбрано содержание пиридоксина (витамина В6). Такой выбор обусловлен тем, что в процессе производства взорванной пшеницы происходит потеря части оболочки и алейронового слоя зерна, которые являются основными источниками витаминов группы В, включая пиридоксин [241]. Учитывая важную роль пиридоксина в обмене веществ и его дефицит, который может привести к серьезным заболеваниям (анемия, ослабление иммунитета) [242], контроль содержания этого витамина в конечном продукте является актуальной задачей.

Экспериментально установлено, что содержание пиридоксина в 100 г взорванной пшеницы составляет 0,003 мг [243]. Для трех образцов с различным соотношением порошка молочной сыворотки и взорванной пшеницы – 12:56, 10:58, 8:60 (табл. 3.15) методом математического моделирования было рассчитано теоретическое содержание пиридоксина ( $Y_1$ ,  $Y_2$ ). При моделировании учитывалось различное содержание пиридоксина в сладкой (0,59 мг/100 г) и кислой (0,62 мг/100 г) сухой молочной сыворотке [228]. При расчетах была учтена способность взорванной пшеницы, обработанной растительным маслом, адсорбировать определенное количество добавок.

Ниже приведен алгоритм оптимизации рецептуры воздушной пшеницы с использованием порошка молочной сыворотки. Уровни варьирования для двух факторов приведены в табл. 3.15.

Таблица 3.15 – Уровни варьирования факторов

Показатель	Кодированное значение	Фактор и размерность	
		$X_1$ , (г)	$X_2$ , (г)
Верхний уровень	+1	12	56
Нулевой уровень	0	10	58
Нижний уровень	-1	8	60
Интервал варьирования	$\varepsilon$	2	2

Для данного процесса использована матрица полного факторного эксперимента  $2^2$ , при этом опыты проводились в двух повторностях (табл. 3.16).

Таблица 3.16 – Матрица полного факторного эксперимента  $2^2$ 

№ опыта	Планирование		Критерий оптимизации		
	$x_1$	$x_2$	Содержание пиридоксина, мг/100 г		
			$Y_1$	$Y_2$	$\hat{Y}_{1,2}$
1	+1	+1	0,072	0,075	0,074
2	-1	+1	0,06	0,05	0,055
3	+1	-1	0,049	0,051	0,05
4	-1	-1	0,037	0,04	0,038

Результаты этого эксперимента можно представить в виде следующего уравнения регрессии (3.1):

$$Y = 0,05 + 0,007x_1 + 0,01x_2 \quad (3.1)$$

Анализ полученных зависимостей показывает, что в 100 г готового продукта среднее содержание пиридоксина варьируется в пределах 0,038 до 0,074 мг.

После построения математической модели (получения уравнения регрессии) проводится ее статистический анализ [162, 244].

Планирование эксперимента и обработка экспериментальных данных связаны с определением нескольких видов ошибок, каждая из которых характеризует определенную стадию работы.

Оценку достоверности полученных коэффициентов регрессии, представляющих собой меру влияния фактора на процесс, проводят по дисперсии воспроизводимости результатов опыта, которую рассчитывают по формулам (2.14), (2.15), (2.16) и (2.17):

$$\rho^2(\bar{Y}_u) = 0,00001525; \rho_{bi}^2 = 0,0000038; \rho_{bi} = 0,0019525; \rho_{yk}^2 = 0,0000305.$$

Результаты и порядок расчета дисперсии воспроизводимости оптимизации рецептуры, где критерием является содержание пиридоксина, представлены в табл. 3.17.

Таблица 3.17 – Расчет дисперсии воспроизводимости оптимизации рецептуры, где критерием является содержание пиридоксина

№ опыта	$Y_1$	$Y_2$	$\bar{Y}_u$	$\bar{Y}_u - Y_1$	$\bar{Y}_u - Y_2$	$(\bar{Y}_u - Y_{1,2})^2$
1	0,072	0,075	0,074	0,002	-0,001	0,000002
2	0,06	0,05	0,055	-0,005	0,005	0,000025
3	0,049	0,051	0,05	0,001	-0,001	0,000001
4	0,037	0,04	0,038	0,001	-0,001	0,000002

После вычисления дисперсии воспроизводимости находят доверительный интервал по формуле (2.18), т.е. наименьшее возможное абсолютное значение коэффициентов регрессии:

$$\Delta b = t_p \rho_{bi} = 2,78 \cdot 0,0019525 = 0,005428$$

где  $t_p = 2,78$  – табличное значение критерия Стьюдента [162].

Сравнивая абсолютные значения коэффициентов регрессии с доверительным интервалом, видим, что все коэффициенты уравнения (3.1) больше доверительного интервала, т.е. значимы.

Проверку соответствия уравнений регрессии (проверка адекватности) проводят, подставляя в уравнение (3.1) кодированные значения факторов для каждой строки в матрице, указанной в табл. 3.16.

$$\begin{aligned}\hat{Y}_1 &= 0,05425 + 0,0075 + 0,01 = 0,07175 \\ \hat{Y}_2 &= 0,05425 - 0,0075 + 0,01 = 0,05675 \\ \hat{Y}_3 &= 0,05425 + 0,0075 - 0,01 = 0,05175 \\ \hat{Y}_4 &= 0,05425 - 0,0075 - 0,01 = 0,03675\end{aligned}\quad (3.2)$$

Сопоставляя полученные результаты с результатами эксперимента, получаем, что уравнение (3.2) воспроизводит результаты с некоторой погрешностью. Величина этой погрешности определяется дисперсией адекватности и может быть рассчитана по формуле (2.19). Результаты расчета дисперсии адекватности процесса приведены в табл. 3.18.

Таблица 3.18 – Расчет дисперсии адекватности воспроизводимости оптимизации рецептуры, где критерием является содержание пиридоксина

№ опыта	$\bar{Y}_u$	$\hat{Y}_u$	$\bar{Y}_u - \hat{Y}_u$	$(\bar{Y}_u - \hat{Y}_u)^2$	$\rho_{ad}^2$
1	0,074	0,07175	0,00175	0,00000306	0,000006125
2	0,055	0,05675	-0,00175	0,00000306	
3	0,05	0,05175	-0,00175	0,00000306	
4	0,038	0,03675	0,00175	0,00000306	

Последним этапом статистического анализа результатов эксперимента является проверка пригодности получаемой математической модели, т.е. тождественность этой абстрактной модели реальному физическому процессу.

Гипотезу об адекватности проверяют с помощью критерия Фишера.

В случае, если полученная дисперсия адекватности  $\rho_{ad}^2$  не превышает среднюю дисперсию воспроизводимости  $\rho^2(\bar{Y}_u)$  более, чем в F раз (критерий Фишера), можно сделать вывод о том, что уравнение регрессии адекватно описывает процесс. Критерий Фишера находят по принятому уровню значимости и числу степеней свободы для обеих дисперсий  $F_{табл} = 4,5$  [162]; а критерий Фишера рассчитанный определяют по формуле (2.20):

$$F_{расч} = \frac{0,000006125}{0,00001525} = 0,402 \rightarrow F_{расч} < F_{табл} \text{ для уравнения (3.1).}$$

Таким образом, полученное уравнение регрессии (3.2) адекватно описывает процесс, так как расчетное значение критерия Фишера меньше его табличного значения.

После получения адекватной модели переходят к следующему этапу работы – поиску оптимума с помощью найденной модели.

Для нахождения движения градиента функций по найденному направлению изменяли факторы пропорционально полученным для них коэффициентам регрессии с учетом их знака.

Результат оптимизации по линейной части уравнения (3.1) приведен в табл. 3.19.

Таблица 3.19 – Оптимизация рецептуры, по содержанию пиридоксина

№	Показатель	Обозначение	Фактор и размерность		Критерий оптимизации $Y, мг$
			$X_1, г$	$X_2, г$	
1	2	3	4	5	6
1	Верхний уровень	+	12	56	-
2	Нулевой уровень	0	10	58	-
3	Нижний уровень	-	2	60	-

Продолжение таблицы 3.19

1	2	3	4	5	6
4	Интервал варьирования	$\varepsilon_i$	2	2	-
5	Коэффициенты регрессии	$b_i$	0,007	0,01	-
6	Произведение	$\varepsilon_i b_i$	0,0014	0,02	-
7	Базовый шаг	$\delta_{\text{баз}}$	2	2	-
8	Масштаб	.	1429	100	-
9	Шаг	$\mu b_i \varepsilon_i$	2	2	-
10	Округленный шаг	$\delta_i$	2	2	-
11	Опыт на нулевом уровне		8	60	0,05
12	Реализованный 1-й опыт		10	58	0,055
13	Реализованный 2-й опыт		12	56	0,074

На основе результатов оптимизации, направленной на достижение рекомендуемого уровня пиридоксина (витамина В6) согласно нормам EFSA [245] для взрослого населения, были приготовлены образцы воздушной пшеницы с молочной сывороткой (ВМС) с оптимизированным содержанием порошка молочной сыворотки.

Рецептура ВМС была скорректирована таким образом, чтобы обеспечить соответствие готового продукта указанным нормам:

$$Y = 0,05 + 0,007x_1 + 0,01x_2 \quad (3.1)$$

При этом оптимальное соотношение массы взорванных зерен пшеницы к массе порошка молочной сыворотки составило 56:12, с содержанием в 100 г

готового продукта 0,074 мг пиридоксина, что составляет более 5% от нормы физиологической потребности в этом витамине.

Помимо пищевой ценности, важными характеристиками готового продукта являются его органолептические свойства (вкус, запах, внешний вид, цвет, консистенция). Для оценки влияния соотношения ингредиентов на органолептические показатели были приготовлены три образца на основе рецептуры воздушной пшеницы с ванилином ВВ-665, ранее получившей высокую оценку потребителей (табл. 3.14). Содержание сахарной пудры (19,9 г/100 г) и ванилина (0,1 г/100 г), положительно влияющих на вкус и аромат изделий, было оставлено неизменным. Содержание подсолнечного масла составило 12 г/100 г. Соотношение взорванных зерен пшеницы и порошка молочной сыворотки варьировалось в следующих пределах: 56:12 (ВМС-450), 58:10 (ВМС-135) и 60:8 (ВМС-222). Кодовые обозначения образцов составлены из случайных цифр.

Для получения продукта в барабанный смеситель загружают взорванные зерна пшеницы, затем, при непрерывном перемешивании, добавляют подсолнечное масло. Продолжая перемешивание, вводят смесь сахарной пудры и ванилина. После 2-3 минут перемешивания добавляют сухую молочную сыворотку с влажностью 2,7%. Общая продолжительность смешивания составляет 7–8 минут. Затем готовый продукт фасуют в герметичные пакеты из металлизированного полипропилена по 30 г каждый и хранят при температуре  $20 \pm 2$  °С и относительной влажности воздуха не более 70%.

Результаты органолептической оценки воздушной пшеницы с молочной сывороткой (ВМС) по гедонической шкале представлены в табл. 3.20.

Различное содержание молочной сыворотки не повлияло на внешний вид и цвет всех образцов, так как не было между ними существенной разницы ( $p > 0,05$ ). Образец ВМС-450 получил наиболее высокий балл по показателю вкуса и запаха ( $7,15 \pm 1,3$ ). Консистенция образцов ВМС-135 и ВМС-450 отличается незначительно, а образец ВМС-222 оценен ниже двух других. По

Таблица 3.20 – Средние показатели органолептического теста воздушной пшеницы с молочной сывороткой

Образец	Органолептический показатель				
	Внешний вид	Цвет	Вкус и запах	Консистенция	Общая приемлемость
ВМС-135	7,43±1,3 <sup>a</sup>	7,50±1,4 <sup>a</sup>	6,23±1,1 <sup>b</sup>	6,90±1,7 <sup>a</sup>	6,18±0,9 <sup>b</sup>
ВМС-450	7,35± 1,4 <sup>a</sup>	7,28±1,3 <sup>a</sup>	7,15±1,3 <sup>a</sup>	7,02±1,5 <sup>a</sup>	7,02±1,3 <sup>a</sup>
ВМС-222	7,22±1,3 <sup>a</sup>	7,20±1,4 <sup>a</sup>	6,43±1,3 <sup>b</sup>	6,47±1,9 <sup>b</sup>	6,16±1,5 <sup>b</sup>

Примечание: Значения представляют собой средние значения ± стандартные отклонения из 60 определений. Значения в столбце с одинаковой буквой в верхнем индексе существенно не отличаются друг от друга по t-тесту при  $p \leq 0,05$ .

общей приемлемости образец ВМС-450 заслужил привлекательную для потребителя оценку: он обладает высокими органолептическими свойствами, имеет приятный нежный запах и вкус, напоминающий вафельное молочное мороженое, и легко разжевывается. Хороший вкус является наиболее важным критерием выбора продуктов питания и необходимым условием выживания продуктов на рынке среди конкурентов [180].

Оптимизированная рецептура сухих завтраков на основе воздушной пшеницы и молочной сыворотки (ВМС), полученная расчетным путем и положительно оцененная органолептически, представлена в табл. 3.21.

Таблица 3.21 – Рецептура сухих завтраков на основе воздушной пшеницы с молочной сывороткой, г

Компонент	Рецептура
Воздушные зерна пшеницы	56,0
Растительное масло	12,0
Сахарная пудра	19,9
Порошок молочной сыворотки	12,0
Ванилин	0,1

Оптимизация рецептуры сухих завтраков на основе воздушной пшеницы путем добавления порошка молочной сыворотки позволила создать продукт, обогащенный незаменимыми нутриентами, в том числе пиридоксином (витамином В6). Благодаря этому, готовый продукт способствует укреплению здоровья, обеспечивая организм важными витаминами, аминокислотами и минералами, обладающими антиоксидантными свойствами. Эти вещества играют ключевую роль в поддержании целостности эритроцитов и снижении риска развития сердечно-сосудистых заболеваний.

### **3.2.3. Технология обогащенных сухих завтраков на основе воздушных зерен пшеницы**

Технологическая схема приготовления сухих завтраков, готовых к употреблению, из воздушных зерен пшеницы представлена на рис. 3.4.

**Очистка.** Очистку зерен твердой пшеницы от различных примесей проводят с помощью зернового сепаратора, оснащенного штампованными ситами с продолговатыми отверстиями. На первом этапе, проходя через приемное сито с ячейками 6,0 мм, зерновая масса освобождается от крупных загрязнений, таких как солома, камни и щепа. Затем, на сортировочном сите с ячейками 4,0 мм, отделяются зерна пшеницы от зерновых и других примесей, превышающих размер зерна пшеницы. На заключительном этапе, проходя через сходовое сито с ячейками 1,0 мм, удаляются мельчайшие примеси, пыль и другие частицы, меньшие по размеру, чем зерна пшеницы.

**Шелушение.** Для отделения семенных оболочек от зерен пшеницы применяют шелушительную машину. Зерно, подаваемое в цилиндр с абразивной поверхностью, подвергается интенсивному трению, в результате чего оболочки отделяются. В технологии получения взорванных зерен операция шелушения является одним из основных этапов технологического процесса. Это напрямую влияет на вздутие зерен во время «взрывания».

**Просеивание.** Полученный продукт просеивают на вибрационном сите с ячейками размером 1,0 мм для удаления мелкой примеси.

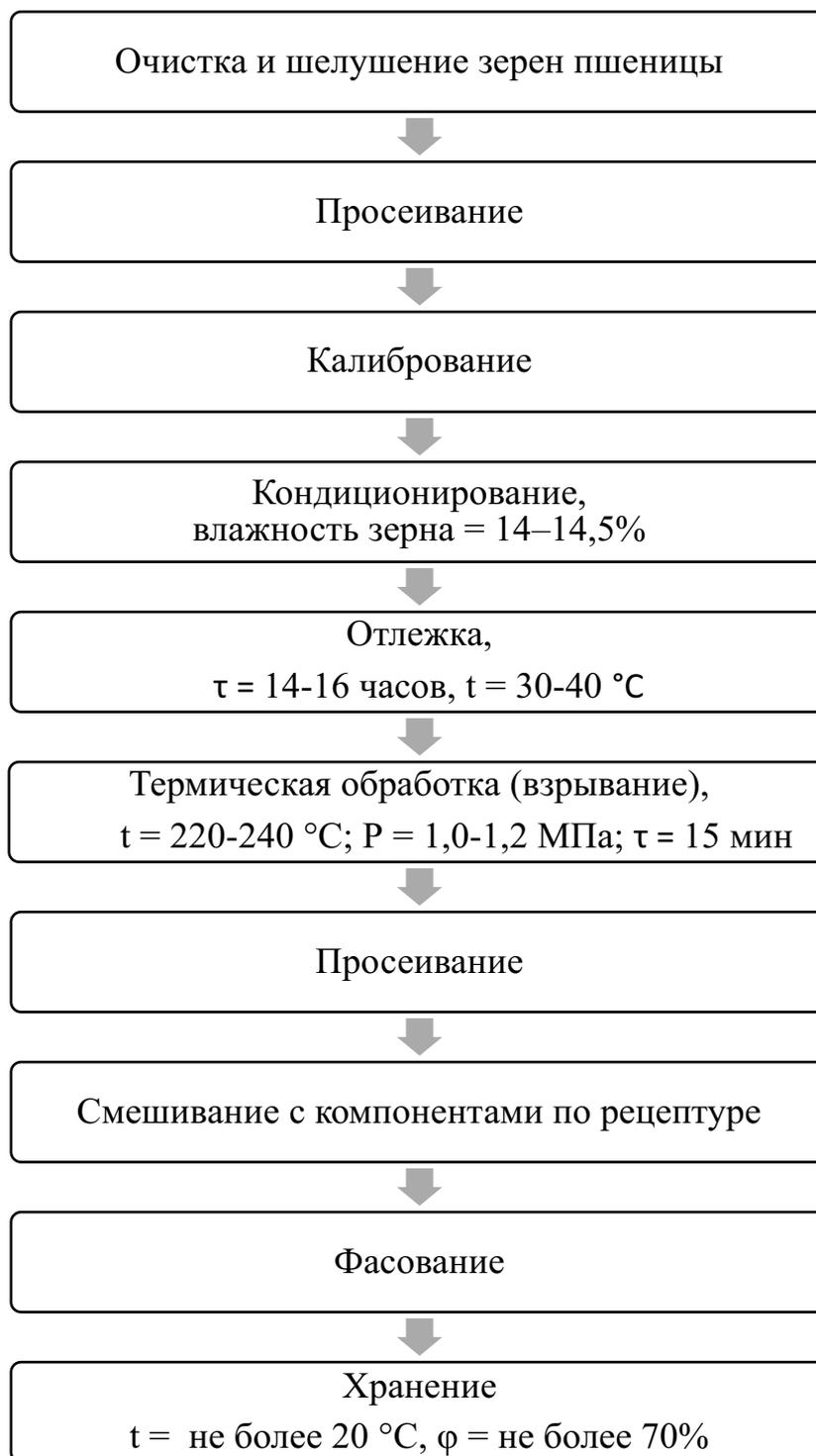


Рисунок 3.4 – Технологическая схема производства сухих завтраков из взорванной пшеницы с добавками

**Калибрование.** Затем крупу, оставшуюся на сите, дополнительно сортируют на ситах с ячейками 3,0 мм для получения однородного продукта.

**Кондиционирование.** Для получения взорванных зерен соответствующего качества термическую обработку необходимо проводить при

определенной влажности [246]. При взрывании крупы с недостаточной влажностью резко возрастает процент невзорвавшихся зерен. Если используется крупа с повышенной влажностью, наблюдается сильное комкование материала после взрыва, обусловленное интенсивным выделением пара при взрывании. Оптимальная влажность пшеничной крупы для взрывания составляет 14-15%. Кондиционирование крупы проводят путем увлажнения зерен теплой водой (35-40 °С) в специальных емкостях. Расчет необходимого количества воды осуществляют с учетом начальной влажности сырья. Для обеспечения равномерного распределения влаги смесь подвергают интенсивному перемешиванию.

**Отлежка.** Увлажненный продукт выдерживают при температуре 35-40 °С в течение 14-16 часов для набухания белков, крахмала и его клейстеризации.

**Термическая обработка (взрывание).** Термическую обработку крупы (взрывание) проводят в специальном аппарате – «пушка». Аппарат для термической обработки зерен В-35М представляет собой вращающийся вокруг горизонтальной оси цилиндр, установленный на специальной станине. С одной стороны цилиндр оборудован герметически закрывающейся крышкой, укрепленной на шарнире, и специально замыкающим затвором. Для нагрева цилиндра служат расположенные под ним газовые горелки [246].

Затем очищенные и отшелушенные зерна загружают в предварительно разогретую «пушку», крышку герметично закрывают специальным затвором. После этого цилиндр аппарата устанавливают с помощью фиксатора в горизонтальном положении, зажигают газовые горелки и включают электродвигатель. Вследствие нагрева сырье в цилиндре начинает испарять влагу, воздух, находящийся в цилиндре, расширяется и давление вследствие этого поднимается. Затем нагревают в течение 15 мин, повышая давление в аппарате до 1,0-1,2 МПа. Температура в аппарате повышается до 220-240 °С. При достижении давления в аппарате 1,0-1,2 МПа прекращают подачу газа и вращение цилиндра, устанавливая его в положение для разгрузки. Затем крышка открывается и крупа из цилиндра давлением выбрасывается в приемный бункер.

При мгновенном падении внешнего давления влага, находящаяся под большим давлением в зерне, мгновенно испаряется, вспучивая клетку.

**Просеивание.** Взорванные зерна для отделения мелочи просеивают через сито из нержавеющей стали диаметром отверстий 5 мм.

**Смешивание с компонентами по рецептуре.** По рецептуре в смеситель барабанного типа загружают взорванные зерна, при перемешивании сначала добавляют растительное масло, затем сахарную пудру и другие ингредиенты. Смешивание компонентов проводят в барабанном смесителе в течение 4–5 минут.

**Фасование.** Готовую продукцию фасуют в запаянные пакеты из металлизированного полипропилена (metPP) по 30 г каждый.

**Хранение.** Пробы в течение одной недели с момента изготовления до проведения анализа хранят при температуре окружающей среды не более  $20 \pm 2$  °С, относительной влажности воздуха не более 70%.

### 3.2.4. Определение показателей качества и некоторых макро- и микронутриентов в составе новых видов сухих завтраков

#### 3.2.4.1. Определение водорастворимых витаминов

В табл. 3.22 представлены результаты определения водорастворимых витаминов в исследуемых образцах ВВ (воздушная пшеница с ванилином), ВМС (воздушная пшеница с молочной сывороткой) и норма физиологической потребности (НФП) в витаминах по EFSA [245].

Таблица 3.22 – Содержание водорастворимых витаминов в сухих завтраках

Витамин	ВВ		ВМС		НФП, мг/сут
	ФС, мг/100 г	ОНФП, %	ФС, мг/100 г	ОНФП, %	
1	2	3	4	5	6
В <sub>1</sub> (тиамин)	0,044±0,009	3,70	0,053±0,011	4,42	1,2
В <sub>2</sub> (рибофлавин)	0,010±0,004	0,80	0,057±0,024	4,38	1,3

Продолжение таблицы 3.22

1	2	3	4	5	6
В <sub>3</sub> (никотиновая кислота)	0,007±0,001	0,04	0,014±0,003	0,09	16,0
В <sub>5</sub> (пантотеновая кислота)	0,006±0,001	0,12	0,005±0,001	0,1	5,0
В <sub>6</sub> (пиридоксин)	0,002±0,0002	0,15	0,067±0,013	5,15	1,3
В <sub>9</sub> (фолиевая кислота)	0,001±0,0002	0,25	0,003±0,0006	0,75	0,4
С (аскорбиновая кислота)	0,044±0,015	0,05	0,08±0,027	0,09	90,0

Примечание: Значения представляют собой средние значения ± стандартные отклонения. ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с порошком молочной сыворотки. ФС – фактическое содержание. ОНФП – обеспечение нормы физиологической потребности. НФП – норма физиологической потребности.

Согласно результатам анализа, ни один из исследованных витаминов в образце ВВ не достигает уровня, рекомендованного для обогащенных пищевых продуктов. Содержание тиамин было относительно выше, в сравнении с другими водорастворимыми витаминами. При этом содержание никотиновой кислоты, пантотеновой кислоты, пиридоксина, фолиевой кислоты и аскорбиновой кислоты оказалось значительно ниже установленных норм.

Добавление порошка молочной сыворотки привело к существенному увеличению содержания пиридоксина в образце ВМС, обеспечив более 5% рекомендуемой суточной нормы при потреблении 100 г продукта, что соответствует требованиям ТР ТС 021/2011 [240]. Однако фактическое содержание пиридоксина оказалось ниже, чем предсказывалось математической моделью. Это может быть связано с влиянием рациона кормления коров на витаминный состав молочной сыворотки, как показано в исследованиях [247]. Содержание витаминов В1 и В2 обеспечивает более 4% уровня суточного потребления. Содержание остальных водорастворимых витаминов в образце ВМС также выросло по сравнению с ВВ. Витамин В1 регулирует использование углеводов в организме человека. Его низкая концентрация вызывает мышечные

расстройства, расстройства пищеварения и работы головного мозга. Витамин В2 играет важную роль антиоксиданта, поддерживает целостность эритроцитов. Витамин В3 важен для метаболизма белков, углеводов и жиров. Дефицит витамина В5 приводит к нарушениям сна, расстройствам пищеварительной системы и неврологическим симптомам [248]. Витамин В6 необходим для профилактики сосудистых заболеваний [241]. Классическим клиническим проявлением дефицита фолиевой кислоты (В9) является мегалобластная анемия [249].

### 3.2.4.2. Аминокислотный и минеральный профиль обогащенных сухих завтраков

Результаты определения аминокислот в ВВ и ВМС представлены в табл.

3.23.

Таблица 3.23 – Содержание незаменимых аминокислот в разработанных сухих завтраках

Аминокислота	ВВ		ВМС		НФП, мг/сут
	ФС, мг/100 г	ОНФП, %	ФС, мг/100 г	ОНФП, %	
Валин	0,10±0,04	0,01	0,078±0,031	0,01	800
Л + И	0,091±0,024	–	0,19±0,05	–	Л – 1100 И – 700
Лизин	0,022±0,008	0,003	0,13±0,044	0,02	800
Метионин	0,11±0,037	0,01	0,29±0,099	0,03	1100
Треонин	0,063±0,025	0,01	0,17±0,07	0,03	500
Триптофан	–	–	–	–	250
Фенилаланин	0,12±0,036	0,01	0,27±0,081	0,02	1100

Примечание: знак «–» означает, что определение не проведено. ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с порошком молочной сыворотки. ФС – фактическое содержание; ОНФП – обеспечение нормы физиологической потребности; НФП – норма физиологической потребности по данным ФАО/ВОЗ; Л – лейцин; ИЛ – изолейцин; определение НФП лейцина и изолейцина не проведено, т.к. использованная методика показала сумму данных аминокислот.

Полученные результаты сравнивали с нормой физиологической потребности (НФП) в незаменимых аминокислотах по данным ФАО/ВОЗ [250]. Добавление порошка молочной сыворотки также повлияло на содержание незаменимых аминокислот в ВМС. Содержание лизина в ней в 6 раз больше, чем в ВВ. Метионина, треонина, фенилаланина и суммы лейцина и изолейцина в ВМС в 2 раза выше, чем в ВВ; концентрация валина осталась практически неизменной. Это особенно важно, учитывая, что незаменимые аминокислоты не синтезируются в организме человека и должны поступать с пищей [251]. Молочная сыворотка, богатая высококачественными белками, является отличным источником этих важных питательных веществ [226].

Минеральный состав исследуемых образцов представлен в табл. 3.24.

Таблица 3.24 – Содержание минеральных веществ в сухих завтраках

Минерал	ФС, мг/100 г		НФП для взрослых, мг/сут.	ВДУП, мг/сут.
	ВВ	ВМС		
Калий	30,0	149,4	2500	Не установлен
Кальций	4,3	143,0	1000	2500
Натрий	4,4	133,3	1300	Не установлен
Фосфор	4,0	15,0	800	Не установлен
Магний	28,8	80,0	400	Не установлен
Железо	0,7	2,0	10–8	Не установлен
Марганец	0,4	1,0	2,0	11
Медь	3,0	1,8	1,0	5
Цинк	0,4	0,8	12	40

ВВ – воздушная пшеница с ванилинов, ВМС – воздушная пшеница с молочной сывороткой; ФС – фактическое содержание; НФП – норма физиологической потребности; ВДУП – верхний допустимый уровень потребления.

Результаты показали, что продукты богаты основными макро- и микроэлементами. Увеличение содержания минералов в образце ВМС связано с

высоким содержанием минеральных веществ в порошке молочной сыворотки. Содержание минералов не превышает верхнего допустимого уровня, указанного в нормах физиологических потребностей [252]. Добавление порошка молочной сыворотки привело к значительному росту содержания минеральных веществ в образце ВМС. Содержание калия составляет 6%, кальция – 14%, магния – 20%, железа – 15%, марганца – 50% и цинка – 6,6% от рекомендуемой суточной нормы потребления [253].

Минеральные элементы имеют важное значение для правильного функционирования организма человека, развития костей и т.д. Калий является регулятором кровяного давления и необходим для жизнедеятельности всех живых организмов [254]. Кальций участвует в формировании клеточной структуры, является структурным компонентом многих ферментов [254]. Натрий участвует в водно-электролитном балансе клеток. Фосфор (в виде фосфатов) участвует в формировании кислотно-щелочного баланса, поэтому является важным компонентом питания человека. Магний является небелковым компонентом многих ферментов, участвующих при синтезе белка, нуклеиновых кислот [254]. Железо помогает транспортировать кислород по всему организму. Низкое потребление железа может вызвать анемию у человека [255]. Марганец входит в состав многих ферментов – гидролаз и трансфераз. Недостаток вызывает нарушение роста, аномалии скелета и нарушение углеводного обмена [256]. Медь участвует в процессе синтеза сложных белков соединительной ткани, кровеносных сосудов, в утилизации кислорода во время клеточного дыхания [256]. Цинк участвует в процессе экспрессии генов, дефицит цинка в рационе увеличивает риск смертности, диареи, задержки роста и других неблагоприятных последствий для здоровья [257].

Важно отметить, что запах и приятный сладкий молочный вкус воздушной пшеницы ВМС являются натуральными благодаря лактозе молочной сыворотки. Обогащение пищевых продуктов порошком молочной сыворотки может улучшить здоровье населения и качество сухих завтраков [258].

## **Выводы**

Разработанные новые сухие завтраки на основе воздушной пшеницы с ванилином и с добавлением сухой молочной сыворотки получили высокую оценку потребителей по органолептическим показателям (вкус, запах). При этом продукт с молочной сывороткой был оценен несколько выше. Хороший вкус является наиболее важным критерием выбора продуктов питания и необходимым условием для выживания продуктов на рынке среди конкурентов.

Обогащение воздушной пшеницы сухой молочной сывороткой позволило создать новый продукт с улучшенным питательным профилем. Благодаря высокому содержанию белка, витаминов группы В (пиридоксина, рибофлавина, тиамина) и минералов (калий, кальций, магний, железо, марганец, цинк) новый продукт может укрепить здоровье и помочь восполнить дефицит микроэлементов. Внесение сухой молочной сыворотки обеспечивает при потреблении 100 г продукта суточную потребность в пиридоксине на 5,15%, тиамине – на 4,42%, рибофлавине – на 4,38%, калии – на 6%, кальции – на 14%, магнии – на 20%, железе – на 15%, марганце – на 50% и цинке – на 6,6%. Обогащение продукта порошком молочной сыворотки может способствовать борьбе с дефицитом питательных микронутриентов, который остается серьезной проблемой в развивающихся странах.

### **3.3. Влияние добавок на состав и свойства готовой продукции**

В данном разделе приведены результаты исследования о влиянии пищевых добавок (подсолнечное масло, сахарная пудра, ванилин, сухая молочная сыворотка) на состав и широкий спектр свойств сухих завтраков: безопасность, текстура, цветность и микроструктура. Такой комплексный подход позволяет оценить всестороннее воздействие пищевых добавок на качество и безопасность готовых продуктов.

### 3.3.1. Химический состав

Химический состав и энергетическая ценность обогащенных сухих завтраков ВВ и ВМС приведен в табл. 3.25.

Таблица 3.25 – Химический состав и энергетическая ценность обогащенных сухих завтраков

Показатели	Содержание	
	ВВ	ВМС
Влага, г/100 г	3,21±0,14 <sup>a</sup>	3,14±0,007 <sup>a</sup>
Белки, г/100 г	7,62±0,17 <sup>a</sup>	6,16±0,03 <sup>b</sup>
Жиры, г/100 г	16,05±0,09 <sup>a</sup>	14,41±0,04 <sup>b</sup>
Углеводы, г/100 г	72,37±0,39 <sup>b</sup>	75,12±0,07 <sup>a</sup>
Зола, г/100 г	0,75±0,03 <sup>b</sup>	1,17±0,04 <sup>a</sup>
Сумма моно- и дисахаридов, г/100 г	25,50±0,27 <sup>b</sup>	30,62±0,44 <sup>a</sup>
Крахмал, г/100 г	39,89±0,21 <sup>a</sup>	38,62±0,25 <sup>a</sup>
ОПВ, г/100 г	6,98±0,39 <sup>a</sup>	5,88±0,07 <sup>b</sup>
НПВ, г/100 г	4,97±2,01 <sup>a</sup>	4,18±2,79 <sup>b</sup>
РПВ, г/100 г	2,01±1,20 <sup>a</sup>	1,69±1,43 <sup>a</sup>
ЭЦ, ккал	464	455

Примечание: Среднее (n=3) ± SD. ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с порошком молочной сыворотки. ОПВ – общие пищевые волокна. НПВ – нерастворимые пищевые волокна. РПВ – растворимые пищевые волокна. ЭЦ – энергетическая ценность. Разные буквы в одном ряду указывают на достоверные различия при  $p \leq 0,05$ .

Влажность в исследованных образцах сухих завтраков существенно не отличается. Содержание белков в образце ВВ было выше, чем в ВМС, поскольку добавление сухой молочной сыворотки снизило процентное содержание взорванного зерна пшеницы в продукте. Таким образом, в воздушный продукт из богатой белком твердой пшеницы была введена меньшая доля белка [259]. Содержание жира также было выше в образце ВВ по сравнению с образцом ВМС.

Количество углеводов было выше в образце ВМС, возможно, из-за лактозы сыворотки, что подтверждает содержание моно- и дисахаридов в ВМС ( $30,62 \pm 0,44$  г/100 г) и ВВ ( $25,50 \pm 0,27$  г/100 г). Зольность также была выше в образце ВМС (зольность характеризует минеральный состав). Крахмала и общих, растворимых и нерастворимых пищевых волокон (ОПВ, НПВ, РПВ) больше в образце ВВ, чем в образце ВМС, что связано с уменьшением процентной доли взорванной пшеницы с добавлением порошка молочной сыворотки. Благодаря содержащейся в молочной сыворотке лактозе, энергетическая ценность образца ВМС выше, чем у образца ВВ.

Физико-химические характеристики разработанных видов сухих завтраков представлены в табл. 3.26.

Таблица 3.26 – Физико-химические характеристики сухих завтраков

Показатели	ВВ	ВМС
Сухие вещества, г/100 г	$96,8 \pm 0,1^a$	$96,9 \pm 0,1^a$
МТЗ, г	$61,6 \pm 0,5^b$	$92,9 \pm 0,1^a$
$a_w$	$0,106 \pm 0,014^b$	$0,159 \pm 0,005^a$

Примечание: Среднее ( $n = 3$ )  $\pm$  SD. МТЗ – масса тысячи зерен, ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с порошком молочной сыворотки. Разные буквы в одном ряду указывают на достоверные различия при  $p \leq 0,05$ .

Внесение добавок привело к увеличению содержания сухих веществ по сравнению со взорванными зернами пшеницы (см. табл. 3.1) (ВВ  $96,8 \pm 0,1$  г/100 г и ВМС  $96,9 \pm 0,1$  г/100 г).

Использование ингредиентов, таких как подсолнечное масло, сахарная пудра, ванилин и сухая молочная сыворотка, привело к увеличению МТЗ в ВВ и ВМС по сравнению со взорванными зернами без добавки (табл. 3.1).

Активность воды образцов ВМС и взорванных зерен пшеницы (табл. 3.1) оказалось практически идентичной. При этом активность воды образца ВВ была значительно ниже. Повышенная активность воды образца ВМС может быть

связана с добавлением порошка молочной сыворотки, который содержит определенное количество связанной воды. Более низкая активность воды образца ВВ может свидетельствовать о его большей стабильности при хранении.

### 3.3.2. Показатели безопасности

Микробиологические и гигиенические показатели безопасности разработанных сухих завтраков представлены в табл. 3.27 и 3.28.

Таблица 3.27 – Микробиологические показатели сухих завтраков

Показатель	Фактическое значение		Допустимый уровень [240]
	ВВ	ВМС	
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г	$<1 \times 10^1$	$<1 \times 10^1$	не более $1 \times 10^4$
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы)	не обнаружены	не обнаружены	не допускаются в 1,0 г продукта
Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы	не обнаружены	не обнаружены	не допускаются в 25,0 г продукта
Плесени, КОЕ/г	не обнаружены	10	не более 50
<i>B.cereus</i>	не обнаружен	не обнаружен	не допускается в 0,1 г продукта

Примечание: ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с порошком молочной сыворотки.

Таблица 3.28 – Показатели безопасности сухих завтраков

Показатель	Фактическое значение		Допустимый уровень [240]
	ВВ	ВМС	
<b>Токсичные элементы, мг/кг</b>			
свинец	0,45	0,45	0,5
мышьяк	не обнаружен	не обнаружен	0,2
кадмий	не обнаружен	не обнаружен	0,1
ртуть	не обнаружен	не обнаружен	0,03
<b>Микотоксины, мг/кг</b>			
афлатоксин В1	0,003	0,003	0,005
<b>Пестициды, мг/кг</b>			
ГХЦГ ( $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -изомеры)	ниже предела обнаружения 0,05	ниже предела обнаружения 0,05	0,01

Примечание: ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с порошком молочной сыворотки. ГХЦГ – гексахлорциклогексан.

Согласно полученным данным [260], содержание мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), плесени, токсичных элементов, афлатоксина В1 и ГХЦГ в исследуемых образцах не превышает допустимые уровни, установленные требованиями ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

### 3.3.3. Текстура

Текстура является ключевым фактором, определяющим органолептическую оценку экструдированных сухих завтраков, особенно готовых к употреблению продуктов, где потребители ценят легкую и воздушную структуру [261]. Значения твердости и хрусткости для взорванных зерен (ВЗ),

воздушной пшеницы с ванилином (ВВ) и порошком молочной сыворотки (ВМС) представлены в табл. 3.29. Анализ не проводился для зерен необработанной пшеницы, так как текстурный анализ по выбранной методике неприменим к объектам с твердой структурой [69].

Таблица 3.29 – Физико-химические характеристики воздушной пшеницы с добавками по сравнению со взорванными зёрнами без добавок

Показатели	ВЗ	ВВ	ВМС
Хрусткость	26±6 <sup>b</sup>	50±1 <sup>a</sup>	47±3 <sup>a</sup>
Твердость, Н	361±42 <sup>a</sup>	295±17 <sup>b</sup>	318±51 <sup>ab</sup>
ИВП, г/г	4,5±0,2 <sup>a</sup>	2,9±0,1 <sup>b</sup>	2,3±0,1 <sup>c</sup>
ИВР, г/кг	34,7±1,3 <sup>c</sup>	52,7±0,9 <sup>b</sup>	62,7±1,3 <sup>a</sup>

Примечание: Среднее (n = 3) ± SD. ИВП – индекс водопоглощения; ИВР – индекс водорастворимости, ВЗ – взорванные зёрна пшеницы без добавок; ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с порошком молочной сыворотки. Разные буквы в одном ряду указывают на достоверные различия при  $p \leq 0,05$ .

Добавление различных ингредиентов, таких как сахарная пудра, ванилин и сухая молочная сыворотка, привело к повышению хрусткости образцов ВМС и ВВ по сравнению с контрольным образцом (ВЗ). Однако введение ингредиентов снизило твердость обоих образцов, что может быть связано с образованием более пластичной корки. Полученные результаты подтверждают литературные данные [262] о том, что содержание влаги оказывает существенное влияние на текстурные характеристики сухих завтраков.

Индекс водопоглощения (ИВП) измеряет количество воды, иммобилизованной частицами воздуха, а индекс водорастворимости (ИВР) представляет собой количество молекул, растворенных в воде [263]. Более высокий ИВП указывает на способность продукта поглощать больше воды из-за повышенной пористости [133]. Нанесение растворимых в воде ингредиентов

(сахар, сухая молочная сыворотка) на поверхность взорванных зерен вызвало снижение уровня ИВП. Это связано с тем, что растворимые компоненты добавок образуют на поверхности зерна пленку, препятствующую проникновению воды внутрь. Одновременно с этим, ИВР образцов ВВ и ВМС увеличился за счет присутствия в добавках водорастворимых веществ. Таким образом, добавление ингредиентов позволяет регулировать способность продукта поглощать и удерживать воду.

### 3.3.4. Цветность

Цветность пищевых продуктов является важным физическим показателем, поскольку она тесно связана с восприятием продукта [264]. В таблице 3.30 представлены цветовые компоненты  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  и значение общей разницы в цвете  $\Delta E$ . Значение  $L^*$  (яркость) характеризует степень потемнения, которое обычно происходит вследствие ферментативных и неферментативных химических реакций [265].

Таблица 3.30 – Цветность цельных и измельченных зерен

Цветовые значения	Пшеница	ВЗ	ВВ	ВМС
1	2	3	4	5
<i>Цельные зерна</i>				
$L^*$	51,82±0,71 <sup>c</sup>	59,9±1,35 <sup>b</sup>	60,08±1,49 <sup>b</sup>	63,43±1,87 <sup>a</sup>
$a^*$	10,47±0,23 <sup>a</sup>	8,77±0,34 <sup>b</sup>	8,52±0,54 <sup>b</sup>	6,73±0,49 <sup>c</sup>
$b^*$	19,39±0,26 <sup>c</sup>	24,64±0,59 <sup>a</sup>	23,26±0,84 <sup>b</sup>	19,7±1,19 <sup>c</sup>
$\Delta E_{\text{пшеница}}$	-	9,78	9,32	12,20
$\Delta E_{\text{ВЗ}}$	-	-	1,41	6,41
<i>Порошок</i>				
$L^*$	76,39±0,14 <sup>a</sup>	75,75±0,15 <sup>b</sup>	70,48±0,37 <sup>d</sup>	71,7±0,55 <sup>c</sup>
$a^*$	4,41±0,06 <sup>d</sup>	5,56±0,14 <sup>c</sup>	6,63±0,13 <sup>a</sup>	6,38±0,08 <sup>b</sup>

Продолжение таблицы 3.30

1	2	3	4	5
b*	14,33±0,06 <sup>c</sup>	19,51±0,45 <sup>b</sup>	21,9±0,33 <sup>a</sup>	21,77±0,21 <sup>a</sup>
ΔE <sub>пшеница</sub>	-	5,34	9,85	9,01
ΔE <sub>ВЗ</sub>	-	-	5,88	4,71

Примечание: Среднее (n=10) ± SD. ВЗ – взорванные зерна без добавок. ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с порошком молочной сыворотки. ΔE<sub>пшеница</sub> – общая разница в цвете по сравнению с зерном пшеницы. ΔE<sub>ВЗ</sub> – общая разница в цвете по сравнению с взорванной пшеницей без добавок. Разные буквы в одном ряду указывают на достоверные различия при  $p \leq 0,05$ .

Цельные взорванные зерна без добавок (ВЗ) и зерна с добавками (ВВ, ВМС) имели более высокие значения L\*, чем зерна пшеницы (Пшеница), поскольку процесс взрывания приводил к образованию пустот, из-за которых зерна выглядели светлее. Значение a\* (краснота) целых зерен пшеницы было выше, чем значения a\* для ВЗ, ВВ и ВМС. Это может быть связано с потерей наружных слоев (эпикарпия) зерен пшеницы, которые были частично удалены до взрывания зерен, а также из-за давления, создаваемого в процессе взрывания в «пушке», так как наружные слои зерен содержат фенольные соединения, ответственные за красный цвет [266].

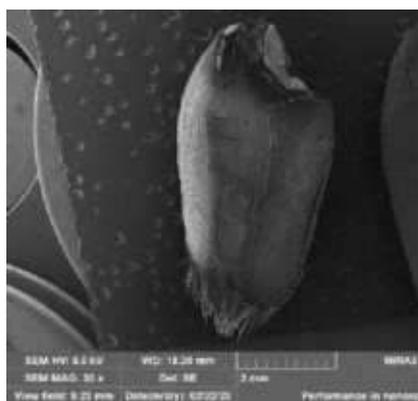
В образцах ВЗ, ВВ и ВМС наблюдалось увеличение значения b\* (желтизна), за счет удаления фракции отрубей и обнажения гиалиновой и алейроновой фракций, содержащих каротиноиды [267]. В измельченной форме образцы взорванного зерна без добавок (ВЗ) и с добавками (ВВ, ВМС) имели более низкое L\* (яркость) и более высокие значения a\* (краснота) и b\* (желтизна) по сравнению с необработанным цельным зерном (Пшеница).

В образце ВВ с добавками значение L\* (яркость) оказалось самым низким по сравнению с другими зернами. В свою очередь значения a\* (краснота) и b\* (желтизна) в этом образце оказались самыми высокими. Порошок молочной сыворотки придает образцу ВМС меньше красных и желтых оттенков. В целом небольшие изменения значений L\* и a\* взорванных зерен по сравнению с

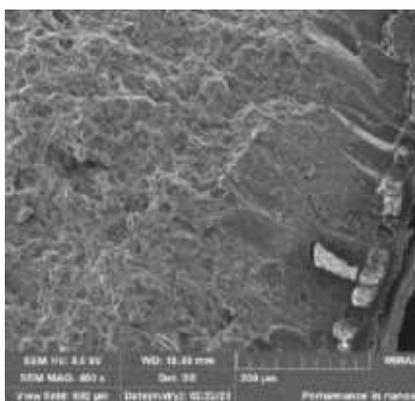
исходной пшеницей указывают на менее глубокую реакцию Майяра и, следовательно, на меньшие потери аминокислот при взрывании при высокой температуре [268].

### 3.3.5. Микроструктура

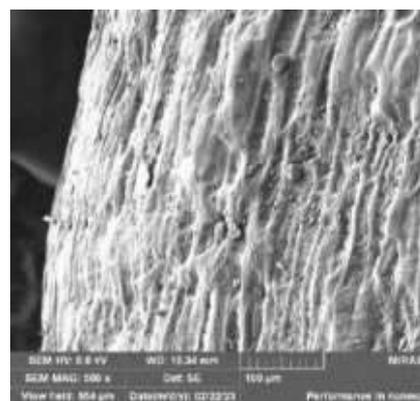
Изучение микроструктуры зерна позволяет оценить влияние различных технологических процессов на его морфологические характеристики. В настоящем исследовании с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) были проанализированы образцы цельного зерна пшеницы и продуктов его переработки. На рис. 3.5 представлены изображения микроструктуры цельной пшеницы (а, б, в), ВЗ (г, д, е), ВВ (ж, з, к) и ВМС (н, л, м).



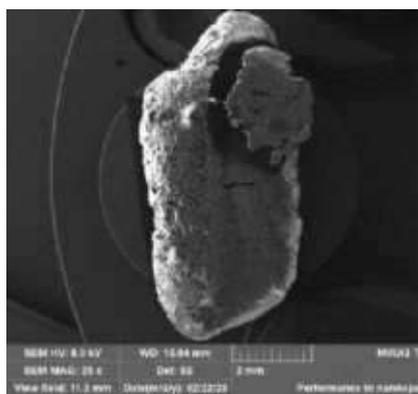
а)



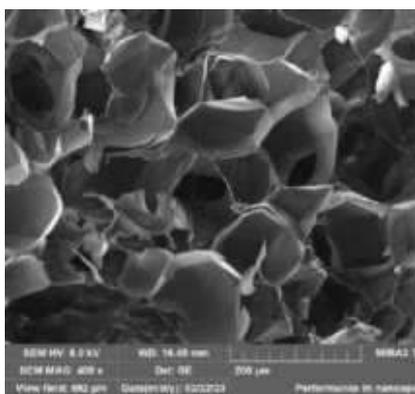
б)



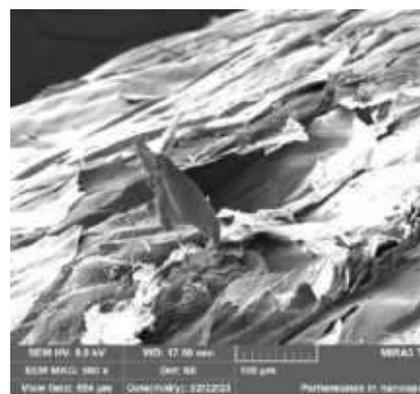
в)



г)



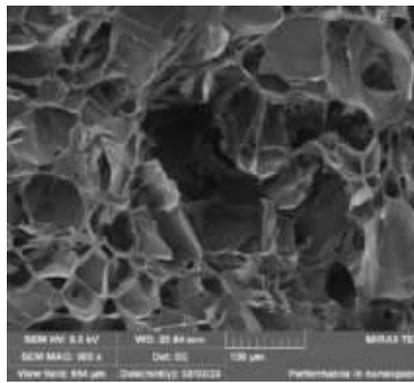
д)



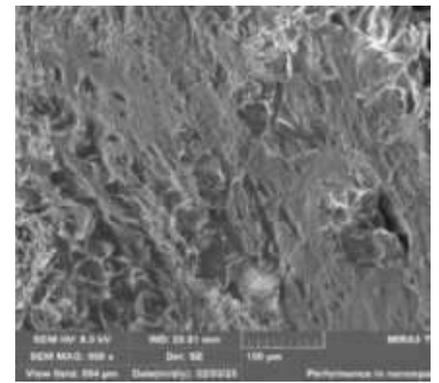
е)



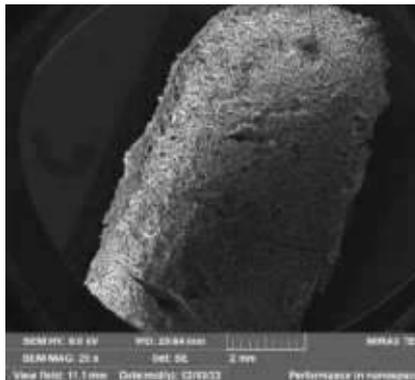
ж)



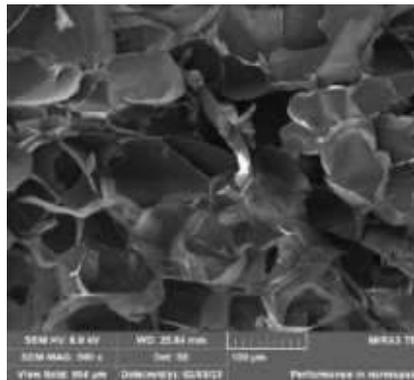
з)



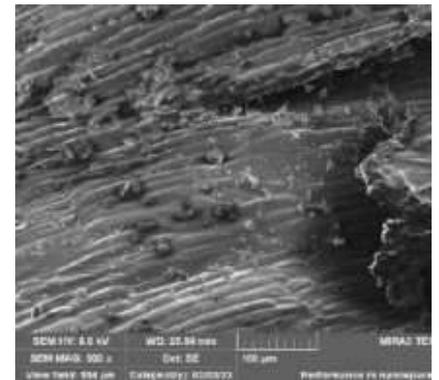
к)



н)



л)



м)

Рисунок 3.5 – Микроструктура цельной пшеницы (а, б, в), взорванной пшеницы (г, д, е), воздушной пшеницы с ванилином (ж, з, к), воздушной пшеницы с порошком молочной сыворотки (н, л, м). Левый столбец показывает вид цельного зерна, средний столбец – поперечное сечение, правый столбец – поверхность соответствующего продукта.

Морфологическая особенность цельного зерна пшеницы представлена на рис. 3.5 (а, б, в). Как видно, в образце цельного зерна наблюдался почти однородный эпидермальный слой без явного растрескивания или разложения (рис. 3.5 в). В крахмалистом эндосперме отмечено наличие крахмальной фракции (рис. 3.5 б), преобладают эллипсоидные крахмальные гранулы размером 20 мкм, образующие прочный каркас, интегрированный в матрикс крахмалистого эндосперма. На микрофотографии также виден плотно прикрепленный алейроновый слой, частично заполненный белковыми телами.

Обработка зерен высоким давлением во время взрывания привела к частичной деградации эпидермального слоя пшеницы, как показано на рисунке

3.5 е. После взрывания в крахмалистом эндосперме видимых признаков крахмала не наблюдается. Наблюдение, сделанное в данном исследовании, поддерживается исследованиями других авторов [267], которые указали на образование декстрина и других растворимых полисахаридов вследствие разложения крахмала. Разрушение высокомолекулярных соединений и разрушение структуры белка частично объясняют относительно более высокий ИВП, наблюдавшийся в предыдущем исследовании.

Технологические процессы подготовки зерен пшеницы к взрыванию приводили к впитыванию влаги, набуханию крахмальных зерен и белков, образованию коллоидного раствора крахмального клейстера. Дальнейшая термическая обработка привела к расширению набухших белков и крахмального клейстера. В результате эндосперм стал пористым, клетки растянулись, некоторые разорвались (рис. 3.5, д). *Charles, Kao и Huang* [269] описали, что зерна пшеничного крахмала гладкие, непористые, круглой или овальной формы и относительно толстые, в то время как зерна желатинизированного крахмала либо набухают, либо ломаются со сколами на поверхности.

Нанесение на поверхность взорванных зерен подсолнечного масла и смеси ванилина с сахаром (ВВ) или порошка молочной сыворотки (ВМС) позволило добиться практически однородной структуры поверхности зерен без видимых признаков растрескивания или разложения эпидермиса (рис. 3.5 к и 3.5 м). Образование лакоподобного покрытия в образцах ВВ и ВМС подтверждено микроскопически. Однако следует также отметить, что внутри зерен не было обнаружено никаких следов добавленных веществ. Как и в зернах без оболочки, в образцах с оболочкой выявлено отсутствие крахмальных гранул. Во всех случаях видно наличие пустот размером  $130 \times 50$  мкм, в которых должны располагаться крахмальные гранулы [270].

## **Выводы**

Добавление в состав продукта сухой молочной сыворотки, ванилина, подсолнечного масла, сахарной пудры привело к изменению соотношения

основных питательных веществ: увеличилось содержание жиров за счет подсолнечного масла и углеводов за счет сухой молочной сыворотки, снизилось содержание белков вследствие уменьшения доли пшеницы. Нанесение на поверхность зерен подсолнечного масла, сахара и сухой молочной сыворотки привело к формированию слоя, препятствующего проникновению воды внутрь продукта и снижающего индекс водопоглощения до  $2,9 \pm 0,1$  г/г (ВВ) и  $2,3 \pm 0,1$  г/г (ВМС). Одновременно, наличие в этом слое растворимых веществ (сахар, сухая молочная сыворотка) обусловило увеличение индекса водорастворимости до  $52,7 \pm 0,9$  г/кг и  $62,7 \pm 1,3$  г/кг соответственно.

Технологические процессы обработки (кондиционирование, взрывание) зерен пшеницы в сочетании с нанесением пищевых добавок позволили получить воздушные зерна с улучшенными текстурными характеристиками. Обработка привела к значительному увеличению объема зерна за счет образования пор, что обусловлено набуханием и клейстеризацией крахмала, а также разрывом клеточных стенок эндосперма. Пористая структура зерна, образовавшаяся в результате обработки, обусловила его повышенную хрусткость и пониженную твердость. Нанесенные ингредиенты создали однородную структуру поверхности зерен, предотвратив их растрескивание и обеспечив привлекательный внешний вид.

Увеличение яркости ( $L^*$ ) взорванных зерен связано с образованием пустот внутри зерна. Потеря наружных слоев зерна привела к снижению красноты ( $a^*$ ). Одновременно наблюдалось увеличение желтизны ( $b^*$ ) за счет обнажения внутренних слоев, богатых каротиноидами. Нанесение добавок, особенно ванилина и молочной сыворотки, привело к дальнейшему изменению цветовых характеристик, что может быть связано как с присутствием пигментов в самих добавках, так и с влиянием на реакции окрашивания в продукте.

Установлено, что разработанные продукты (ВВ и ВМС) соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

### **3.4. Исследование влияния продолжительности хранения на органолептические, физико-химические показатели целевых продуктов и установление срока их годности**

Технологические процессы и хранение пищевых продуктов сопровождаются различными химическими и физическими изменениями, которые зависят от состава продукта и факторов окружающей среды. Наиболее чувствительными компонентами пищевых продуктов являются липиды. Из-за окисления липидов возникает окислительная прогорклость. В таких случаях пищевой продукт становится непригодным к употреблению [271]. Степень ненасыщенности жирных кислот в липидах влияет на образование прогорклости. Особенно склонны к разложению липиды с образованием свободных жирных кислот, которые также в дальнейшем разлагаются, окисляются и образуют специфические летучие органические соединения [116]. Ненасыщенные жирные кислоты могут окисляться с образованием альдегидов и кетонов [117-119].

Кислотное число обычно используется для обозначения ухудшения качества зерна во время хранения, поскольку деградация липидов происходит быстрее, чем деградация белков и крахмала [124]. *Liu* и *Chen* [122] также сообщили, что анализ изменения содержания свободных жирных кислот является хорошим методом оценки качества хранения пшеничной муки.

Помимо химических изменений, важную роль играет оценка органолептических характеристик, таких как внешний вид, вкус, запах, поскольку именно они в первую очередь влияют на восприятие потребителем качества продукта и его привлекательность [4, 125].

При продолжительном хранении зерновых происходят функциональные и физико-химические изменения, такие как технологичность, цветность и текстура зерен, которые приводят к снижению органолептических и пищевых свойств [115].

### **3.4.1. Исследование изменения состава и свойств целевых продуктов в процессе хранения**

*Salman* и *Copeland* [272] использовали количество свободных жирных кислот как меру качества хранения пшеничной муки. Было подтверждено, что чем выше температура хранения, тем быстрее происходит разложение жира, что приводит к увеличению содержания свободных жирных кислот, накопление которых может привести к образованию горечи [273]. Контроль этого процесса имеет важное значение, поскольку позволяет исключить появление постороннего привкуса в хранящейся продукции в течение всего срока годности.

#### **3.4.1.1 Исследование изменения кислотного числа и органолептических показателей целевых продуктов для установления срока их годности**

Для определения срока хранения воздушной пшеницы с ванилином (ВВ) и воздушной пшеницы с молочной сывороткой (ВМС) их упаковали в герметично закрывающиеся пакеты из металлизированного полипропилена (metPP) по 30 г. Определение кислотного числа (рис. 3.6) и органолептический анализ (рис. 3.7) проводили ежемесячно в течение восьми месяцев при различных температурах хранения ( $20 \pm 2$  °C и  $4 \pm 2$  °C).

Результаты исследования (рис. 3.6) показывают, что кислотное число со временем увеличивалось. Согласно Кодексу Алиментариус (CODEX STAN 19-1981, 1981), максимальное кислотное число жиров и масел не должно превышать 4,0 мг КОН/г жира или масла.

Кислотное число образца ВВ, хранившегося при температуре  $20 \pm 2$  °C, достигло значения  $3,8 \pm 0,03$  мг КОН/г на шестом месяце хранения и значения  $4,1 \pm 0,02$  мг КОН/г на седьмом. Кислотное число оставалось в пределах допустимого диапазона в условиях холодильного хранения ( $4 \pm 2$  °C). Кислотное число образца ВМС ( $20 \pm 2$  °C) достигло значения  $3,8 \pm 0,03$  мг КОН/г на пятом месяце хранения и значения  $4,4 \pm 0,02$  мг КОН/г на шестом. При низких температурах хранения этого образца кислотное число находилось в пределах допустимого диапазона даже после восьми месяцев хранения.

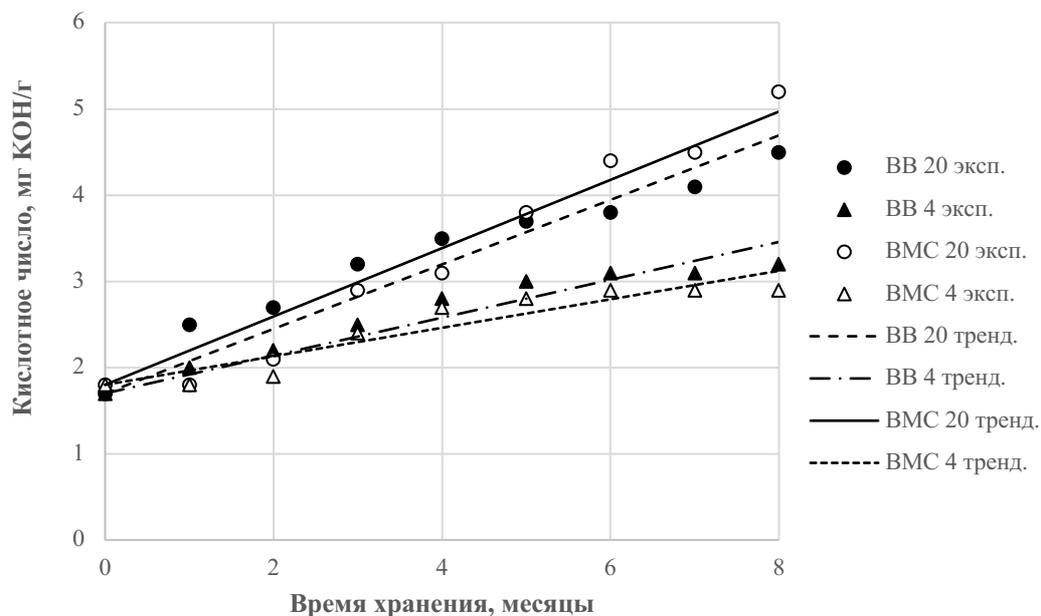


Рисунок 3.6 – Изменение кислотного числа ВВ и ВМС в течение восьми месяцев хранения в зависимости от температуры ( $20 \pm 2$  °С и  $4 \pm 2$  °С). Цифры в обозначениях образцов означают температуру хранения; эксп. – экспериментальные значения; тренд – линия тренда, соответствующая экспериментальным данным.

Более быстрая деградация липидов привела к более заметному увеличению кислотного числа ВМС по сравнению с ВВ, когда железо и другие минералы, присутствующие в продукте, действовали как прооксиданты [274]. Более медленное увеличение кислотного числа ВВ также может быть связано со способностью ванилина действовать как антиоксидант [223]. Анализ данных (рис. 3.6) позволил рассчитать температурный коэффициент  $Q_{10}$ , который показывает, во сколько раз увеличивается скорость реакции на каждые 10 °С. Полученные значения  $Q_{10}$  составили 1,5 и 2,0 для ВВ и ВМС соответственно. Это согласуется с выводами авторов [275], которые сообщили о влиянии температуры и света на скорость гидролиза и окисления.

Органолептическая оценка показала, что в течение первых трех месяцев сенсорные характеристики не изменились. Поэтому данные за первый, второй и третий месяцы не были включены в рис. 3.7. Однако при последующем хранении наблюдались изменения во вкусе, текстуре и внешнем виде.

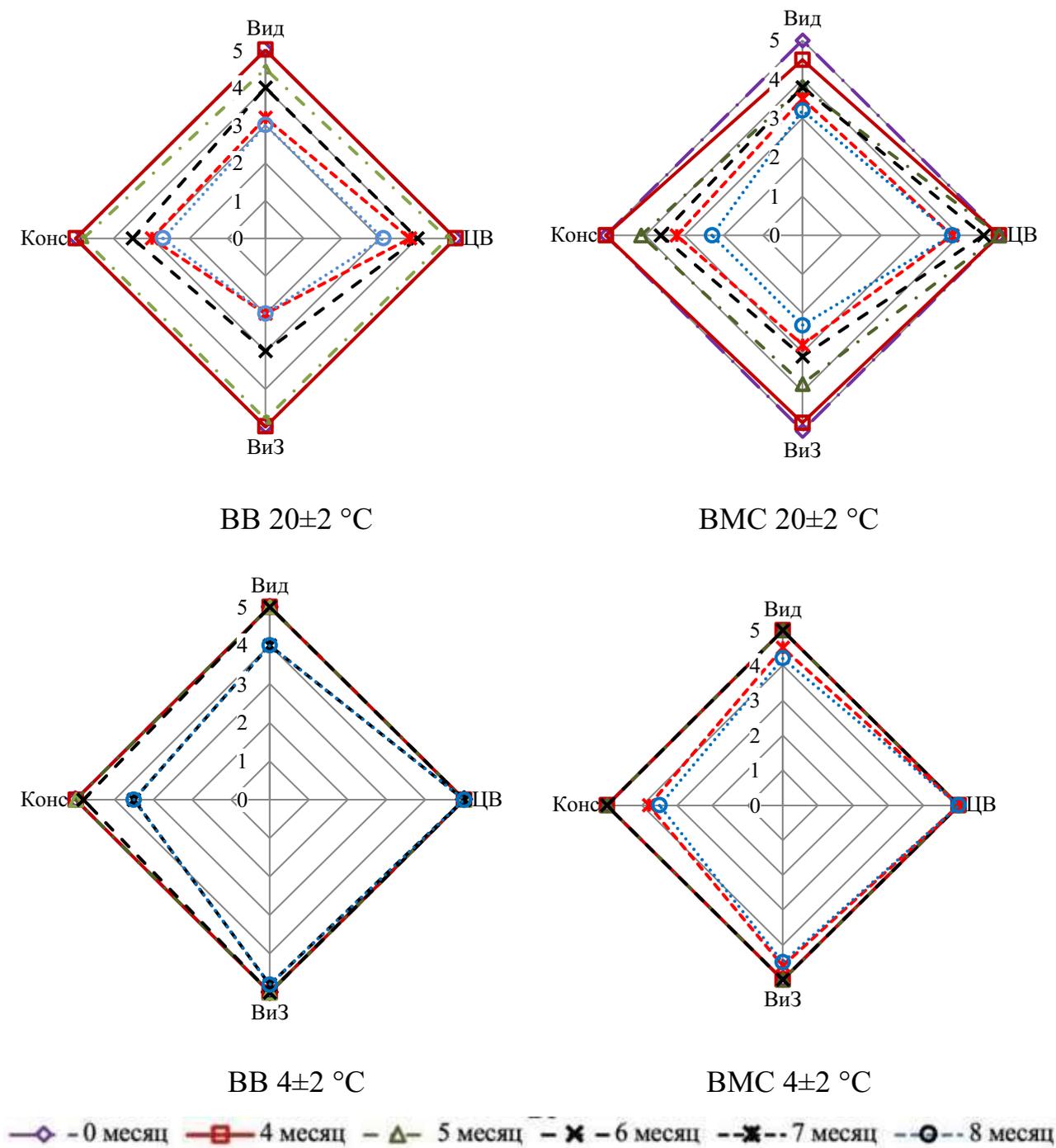


Рисунок 3.7 – Органолептические показатели воздушной пшеницы с ванилином (ВВ) и с молочной сывороткой (ВМС) при восьмимесячном хранении при температуре 20±2 °С и 4±2 °С. Вид – внешний вид; ЦВ – цвет; ВиЗ – вкус и запах; Конс – консистенция.

При хранении в неохлаждаемом помещении (20±2 °С) первые изменения вкуса были заметны у образца ВМС на пятом месяце хранения (3,8 балла).

Первые изменения вкуса образца ВВ наблюдались на шестом месяце хранения, что соответствует 3,5 баллам. Испытатели органолептической оценки подчеркнули, что образец ВВ имел горькие нотки и неприятный привкус. Затем были заметны изменения консистенции, зерна стали менее хрустящими на шестом месяце хранения, а значения текстуры соответствовали 3,5 балла (ВВ  $20\pm 2$  °С) и 3,5 балла (ВМС  $20\pm 2$  °С). У остальных образцов, хранившихся при температуре  $4\pm 2$  °С, изменения вкусовых качеств были менее выражены, но на седьмом месяце хранения зерна стали менее хрустящими, что также является важным показателем качества сухих завтраков на основе зерен воздушной пшеницы и должны быть дополнительно изучены.

Кислотное значение коррелирует с органолептическими показателями. При превышении кислотного числа предельного значения на пятом-шестом месяце хранения общие органолептические показатели получили более низкие оценки, в первую очередь, из-за изменения вкуса и появления неприятного привкуса [276].

Нами изучено влияние длительного хранения на физико-химические показатели, реологические свойства и антиоксидантную активность сухих завтраков на основе воздушной пшеницы с добавками ВВ и ВМС. Образцы во время хранения оценивали по содержанию сухих веществ, показателям активности воды, цветности, текстуры, содержанию общих фенолов, активности по улавливанию радикаловДФПГ, содержанию жирных кислот и летучих соединений.

Исследуемые образцы хранили в течение 5 месяцев при комнатной температуре ( $20\pm 2$  °С). Образцы анализировали сразу после приготовления, через три, четыре и пять месяцев хранения.

#### **3.4.1.2 Содержание сухих веществ**

Содержание влаги в пищевых продуктах является важным параметром, определяющим их качество и срок хранения [114, 277]. Увеличение содержания влаги может создавать условия для развития микроорганизмов, что может

привести к порче сухих продуктов [278]. Водяной пар способен проходить через упаковочный материал в результате сорбции-десорбции и диффузионных процессов [279]. Содержание влаги во время хранения может уменьшиться или увеличиться в зависимости от условий хранения и вида упаковки.

Результаты анализа сухих веществ воздушной пшеницы с ванилином (ВВ) и воздушной пшеницы с молочной сывороткой (ВМС) при хранении в течение 0 – 5 месяцев представлены в табл. 3.31.

Таблица 3.31 – Изменения содержания сухих веществ воздушной пшеницы с добавками ВВ и ВМС во время хранения, г/100 г

	ВВ	ВМС
0 месяц	96,8±0,1 <sup>a</sup>	96,9±0,1 <sup>a</sup>
3 месяц	97,4±0,2 <sup>a</sup>	97,1±0,1 <sup>a</sup>
4 месяц	97,6±0,3 <sup>a</sup>	97,7±0,1 <sup>a</sup>
5 месяц	96,9±0,1 <sup>a</sup>	96,3±0,1 <sup>a</sup>

Примечание: Среднее (n = 3) ± SD. ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с порошком молочной сыворотки. Разные буквы в отдельных столбиках указывают на достоверные различия при  $p \leq 0,05$ .

Исследование показало, что образцы ВВ и ВМС сохранили стабильность по содержанию сухих веществ. Применение металлизированной упаковки обеспечивает более надежную защиту продукта от потери влаги [39].

### 3.4.1.3 Жирнокислотный состав

Несмотря на небольшое содержание жира в пшенице, во время хранения происходят процессы окисления и гидролиза липидов, в результате которых пшеница становится прогорклой [280]. При хранении зерна липиды подвергаются изменению. Происходит окисление липидов с образованием пероксидов и карбонильных соединений, альдегидов и кетонов. Также нейтральные жиры распадаются на глицерин и свободные жирные кислоты [118]. В зародыше пшеницы в среднем содержится 10% масла [281]. Количество

жирных кислот является одним из показателей качества процесса хранения зерновых, по их количеству можно судить о процессе старения зерновых [118].

Нами исследованы изменения, которые происходят в составе жирных кислот в воздушной пшенице с добавками ВВ и ВМС во время их хранения. В таблицах 3.32 и 3.33 представлены результаты исследования жирных кислот в ВВ и ВМС в течение пяти месяцев хранения.

Таблица 3.32 – Изменение состава жирных кислот воздушной пшеницы с ванилином (ВВ) во время хранения

Наименование жирной кислоты	Содержание, %			
	месяц			
	0	3	4	5
1	2	3	4	5
Миристиновая кислота C14:0	0,04	0,30	1,01	0,59
Пантадекановая кислота C15:0	0,06	0,17	0,44	0,24
Пальмитиновая кислота 16:0	6,37	8,06	9,46	9,39
Гептадекановая кислота C17:0	0,05	0,18	0,43	0,24
Стеариновая кислота C18:0	2,37	3,54	4,05	3,87
Пальмитолеиновая кислота C16:1 (c7)	0,04	0,21	0,40	0,24
Цис-11-гексадеценовая кислота C16:1 (c5)	0,10	–	-	-
Арахидиновая кислота C20:0	0,19	0,22	0,46	0,27
Докозановая кислота C22:0	0,68	0,36	0,75	0,63
Олеиновая кислота C18:1 (c9)	23,00	22,74	21,55	23,40
Вакценовая кислота C18:1 (t7)	1,49	0,53	0,72	0,58
Цис-11-эйкозеновая кислота C20:1 (c9)	0,14	0,26	0,49	0,33
$\alpha$ -линолевая кислота C18:2 (c6)	53,48	30,56	32,46	33,57
$\alpha$ -линоленовая кислота C18:3 (c6)	0,08	0,18	0,39	0,22
$\alpha$ -линоленовая кислота C18:3 (c3)	0,13	-	-	-
CLA c9,t11-октадекадиеновая кислота C18:2	5,38	15,60	12,75	12,47
CLA t10,c12-октадекадиеновая кислота C18:2	5,52	15,61	12,54	12,45
CLA t7,t9-октадекадиеновая кислота C18:2	0,13	0,35	0,51	0,31

Продолжение таблицы 3.32

1	2	3	4	5
CLA t9,t11-октадекадиеновая кислота C18:2	0,13	0,88	1,14	0,96
CLA c9,t11,c15-октадекатриеновая кислота C18:3	0,15	0,24	0,46	0,26
<b>НЖК</b>	10,22	12,84	16,59	15,22
<b>МНЖК</b>	24,77	23,74	23,16	24,55
<b>ПНЖК</b>	65,01	63,42	60,25	60,23

Примечание: НЖК – ненасыщенные жирные кислоты; МНЖК – мононенасыщенные жирные кислоты; ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты.

Таблица 3.33 – Изменение состава жирных кислот воздушной пшеницы с молочной сывороткой (ВМС) во время хранения

Жирные кислоты	Содержание, %			
	месяц			
	0	3	4	5
1	2	3	4	5
Миристиновая кислота C14:0	0,08	0,16	0,82	0,69
Пантадекановая кислота C15:0	0,05	0,27	0,39	0,27
Пальмитиновая кислота 16:0	6,70	8,12	8,39	9,37
Гептадекановая кислота C17:0	0,00	0,19	0,39	0,26
Стеариновая кислота C18:0	2,37	3,63	3,93	3,79
Пальмитолеиновая кислота C16:1 (c7)	0,04	0,21	0,37	0,27
Цис-11-гексадеценовая кислота C16:1 (c5)	0,09	–	-	-
Арахидиновая кислота C20:0	0,24	0,21	0,54	0,28
Докозановая кислота C22:0	0,69	0,44	0,82	0,64
Олеиновая кислота C18:1 (c9)	23,77	23,00	22,12	22,80
Вакценовая кислота C18:1 (t7)	0,81	0,54	0,62	0,62
Цис-11-эйкозеновая кислота C20:1 (c9)	0,16	0,25	0,49	0,35
$\alpha$ -линолевая кислота C18:2 (c6)	51,14	30,75	33,06	33,18
$\alpha$ -линоленовая кислота C18:3 (c6)	0,12	0,17	0,37	0,23
$\alpha$ -линоленовая кислота C18:3 (c3)	0,09	-	-	-

Продолжение таблицы 3.33

1	2	3	4	5
CLA c9,t11-октадекадиеновая кислота C18:2	6,13	15,15	12,84	12,90
CLA t10,c12-октадекадиеновая кислота C18:2	6,16	15,28	12,69	12,68
CLA t7,t9-октадекадиеновая кислота C18:2	0,20	0,34	0,45	0,31
CLA t9,t11-октадекадиеновая кислота C18:2	0,17	15,15	1,29	1,09
CLA c9,t11,c15-октадекатриеновая кислота C18:3	0,59	0,23	0,42	0,28
<b>НЖК</b>	10,53	13,02	15,29	15,30
<b>МНЖК</b>	24,88	24,00	23,59	24,02
<b>ПНЖК</b>	64,59	62,98	61,12	60,68

Примечание: НЖК – ненасыщенные жирные кислоты; МНЖК – мононенасыщенные жирные кислоты; ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты.

В исследуемых образцах были идентифицированы 20 жирных кислот. В воздушной пшенице с добавками, соответственно в ВВ и ВМС, содержание насыщенных жирных кислот (НЖК) составляет 10,22% и 10,53%, мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) – 24,77% и 24,88%, а полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) – 65,01% и 64,59%.

Анализ показал, что процесс хранения существенно влияет на количественный состав жирных кислот в исследуемых образцах ВВ и ВМС. Наблюдалось увеличение содержания свободных жирных кислот, что свидетельствует о протекании гидролитических процессов. Содержание НЖК в образце ВВ демонстрировало немонотонное изменение: увеличение в течение первых четырех месяцев хранения с последующим снижением на пятом месяце. В образце ВМС наблюдалось стабильное увеличение содержания НЖК на протяжении всего эксперимента. Полученные результаты частично согласуются с данными исследования [282], где отмечалось увеличение общего содержания жирных кислот в зернах пшеницы при длительном хранении. Немонотонная динамика изменения содержания НЖК в образце ВВ может быть обусловлена несколькими факторами. Во-первых, неравномерное удаление оболочек зерен при шелушении приводит к различной концентрации липидов в отдельных

зерна. Во-вторых, окислительные процессы, протекающие в липидах при хранении, могут приводить к образованию новых соединений, таких как гидропероксиды и альдегиды, что может влиять на количественный состав жирных кислот.

Содержание МНЖК в обоих образцах демонстрировало немонотонную динамику: снижение в течение первых четырех месяцев с последующим увеличением на пятом. Содержание ПНЖК в обоих образцах систематически снижалось на протяжении всего эксперимента. Снижение содержания ПНЖК согласуется с литературными данными. Известно, что двойные связи ненасыщенных жирных кислот подвержены окислению при хранении, что приводит к образованию гидропероксидов, которые не детектируются при газовой хроматографии [278, 283]. Это подтверждается результатами других исследований, показавших, что использование поглотителей кислорода замедляет процесс окисления ПНЖК [284].

#### **3.4.1.4 Профиль летучих соединений**

Летучие соединения являются ключевыми компонентами, определяющими аромат пищевых продуктов [179]. Аромат играет одну из важных функций в формировании органолептических свойств пищевых продуктов. Желание потребителей покупать продукт напрямую зависит от вкуса и аромата продукта [285]. В начале хранения в исследуемых образцах ВВ и ВМС были обнаружены различные летучие соединения. В ВМС были обнаружены 24 летучих соединения, в ВВ – 18. Основными химическими классами были углеводороды, фенолы, альдегиды, сложные эфиры, азотсодержащие соединения, спирты, карбоновые кислоты, гетероциклические соединения, стероидные соединения и другие. В обоих образцах преобладали альдегиды, карбоновые кислоты и гетероциклические альдегиды. Альдегиды являются основным классом соединений, которые образуются в результате реакции Майяра при высокотемпературной обработке зерновых [165].

Влияние продолжительности хранения на содержание летучих соединений показано на рис. 3.8 и 3.9.

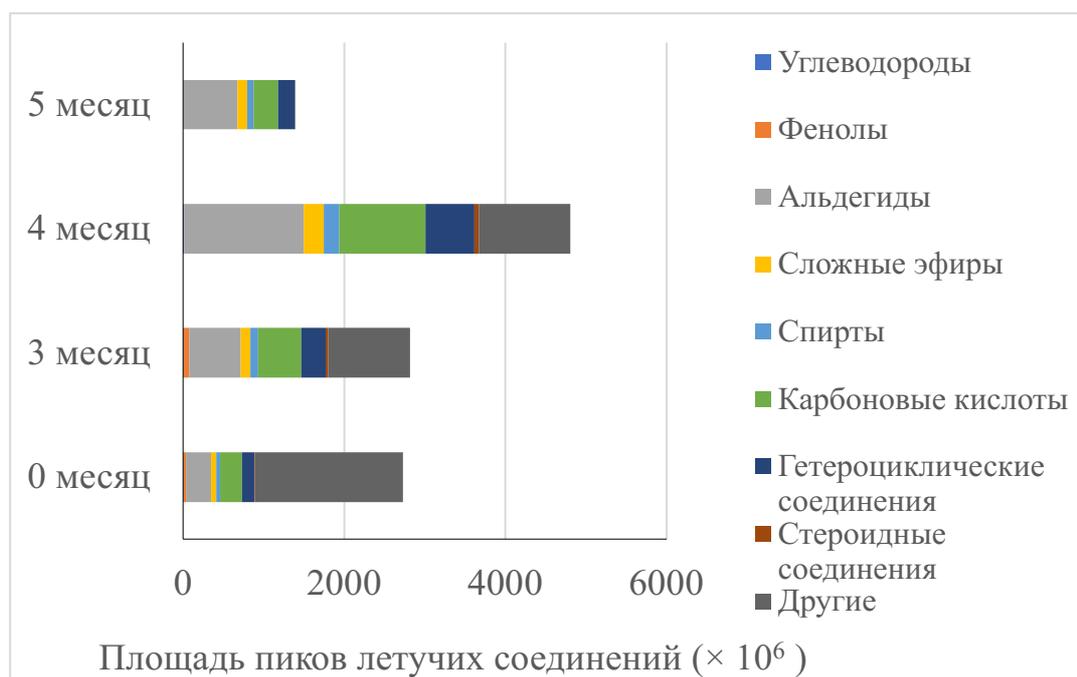


Рисунок 3.8 – Изменение профиля летучих соединений ВВ во время хранения

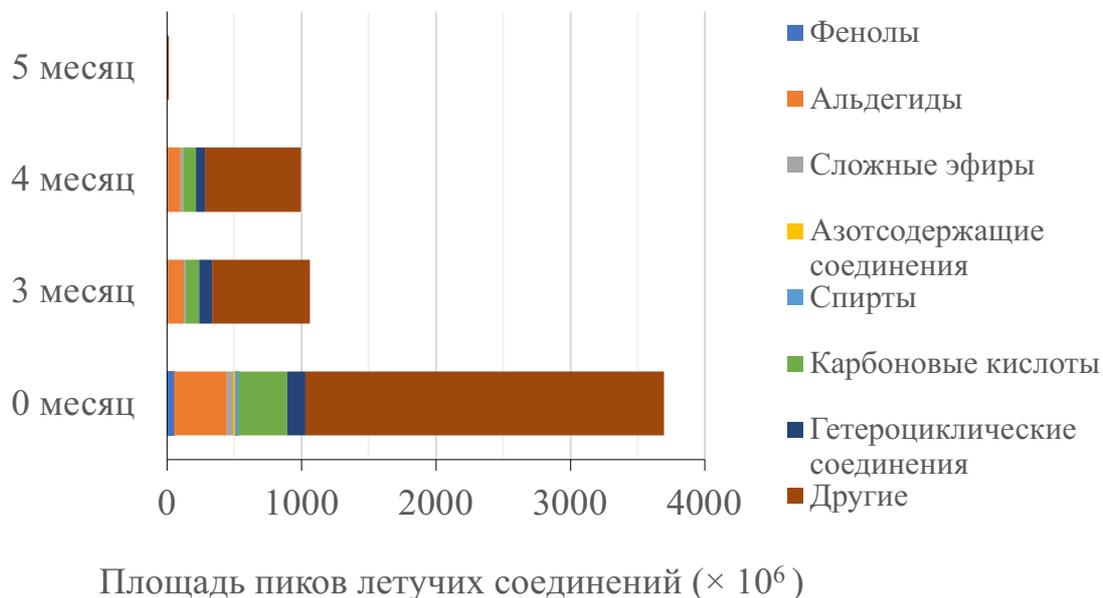


Рисунок 3.9 – Изменение профиля летучих соединений ВМС во время хранения

Анализ летучих соединений в образцах ВВ и ВМС подтверждает протекание липидного окисления. Интенсивное образование альдегидов и сложных эфиров в образце ВВ типично для зерновых продуктов [286].

Альдегиды, такие как гексаналь и ноненаль, образуются в результате окисления олеиновой и линолевой кислот [287, 288]. Ускоренное окисление липидов в образце ВМС обусловлено каталитическим действием ионов железа, содержащихся в молочной сыворотке.

Количество углеводов и стероидных соединений в ВВ увеличилось в течение четырех месяцев хранения, вероятно, в результате начальных стадий окисления липидов. В образце ВМС углеводороды и стероидные соединения не обнаружены изначально, что может указывать на более быстрые темпы окислительных процессов. В начале хранения площадь пика фенолов в ВМС была больше, чем в ВВ. На третьем месяце и в дальнейших исследованиях фенолов в ВМС не было обнаружено. На третьем месяце хранения количество фенолов в ВВ увеличилось, но в дальнейшем они не обнаружены. Азотсодержащие соединения были обнаружены только в образце ВМС в начале хранения, в последующем они не обнаружены. В начале хранения площадь пика спиртов была больше в ВВ, чем ВМС. До пяти месяцев спирты ВВ показали рост, затем снижение до 40%. Спирты ВМС на третьем месяце хранения и в дальнейшем не обнаружены. Площадь пика других летучих соединений также сокращались со временем, и к пятому месяцу их концентрация стала следовой. Вероятно, это связано с окислительной деградацией этих веществ. Образовавшиеся в результате окисления более полярные продукты, возможно, не были детектированы ГХ/МС из-за низкой концентрации или сильной адсорбции на колонке.

Неизбежные окислительные процессы затрагивают липидный состав пищевых продуктов, в результате ухудшаются питательные и органолептические свойства продуктов. Следовательно, этот процесс уменьшает срок годности пищевых продуктов [289].

#### **3.4.1.5 Активность воды ( $a_w$ )**

Активность воды  $a_w$  является одним из наиболее важных показателей качества и продолжительности хранения продуктов питания [114]. Низкие

значения активности воды ( $a_w < 0,6$ ) обеспечивают пищевым продуктам более длительный срок хранения [278] и замедляют рост плесени [290]. При низких показателях  $a_w$  (менее 0,2) скорость окисления липидов выше [291]. В табл. 3.34 представлены изменения показателей активности воды ( $a_w$ ) в процессе хранения образцов ВВ и ВМС.

Таблица 3.34 – Изменение активности воды ( $a_w$ ) сухих завтраков (ВВ и ВМС) во время хранения

	ВВ	ВМС
0 месяц	0,106±0,014 <sup>c</sup>	0,159±0,005 <sup>d</sup>
3 месяц	0,145±0,014 <sup>c</sup>	0,189±0,002 <sup>c</sup>
4 месяц	0,158±0,002 <sup>b</sup>	0,222±0,008 <sup>b</sup>
5 месяц	0,225±0,003 <sup>a</sup>	0,293±0,003 <sup>a</sup>

Среднее ( $n = 3$ ) ± SD. ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с порошком молочной сыворотки. Разные буквы в отдельных столбиках указывают на достоверные различия при  $p \leq 0,05$ .

Статистический анализ показал, что в образце ВВ значение  $a_w$  оставалось стабильным в течение первых трех месяцев хранения ( $p > 0,05$ ), а затем наблюдалось значимое увеличение ( $p < 0,05$ ). В образце ВМС значимое увеличение  $a_w$  наблюдалось на протяжении всего периода хранения ( $p < 0,05$ ). Тем не менее, для обоих образцов значения  $a_w$  всегда оставались в диапазоне, безопасном с точки зрения микробной стабильности.

#### 3.4.1.6 Текстура

Хрусткость продукта часто ассоциируется со свежестью продукта. Многие потребители считают хрустящие продукты привлекательными [292, 293]. Увеличение содержания влаги при хранении влияет на снижение твердости экструдированных продуктов [65]. Текстурные свойства сухих завтраков зависят от их структурных характеристик и влияют на их качество и приемлемость. Они тесно связаны с органолептическими свойствами экструдированных продуктов:

хрусткость – с ячеистой структурой продукта; твердость – с расширением и ячеистой структурой [294].

Результаты анализа текстуры исследуемых образцов ВВ и ВМС представлены в табл. 3.35.

Таблица 3.35 – Изменение текстурных свойств сухих завтраков ВВ и ВМС во время хранения

Показатели	ВВ	ВМС
<i>Хрусткость</i>		
0 месяц	50±1 <sup>a</sup>	47±3 <sup>a</sup>
3 месяц	50±2 <sup>a</sup>	57±3 <sup>a</sup>
4 месяц	52±3 <sup>a</sup>	35±5 <sup>a</sup>
5 месяц	38±9 <sup>a</sup>	21±2 <sup>b</sup>
<i>Твердость, Н</i>		
0 месяц	295±17 <sup>b</sup>	318±51 <sup>a</sup>
3 месяц	377±23 <sup>b</sup>	268±21 <sup>a</sup>
4 месяц	409±32 <sup>b</sup>	273±33 <sup>a</sup>
5 месяц	481±17 <sup>a</sup>	357±25 <sup>a</sup>

Среднее (n = 3) ± SD. ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с порошком молочной сыворотки. Разные буквы в отдельных столбиках указывают на достоверные различия при  $p \leq 0,05$ .

Во время хранения произошли изменения текстурных свойств ВВ и ВМС. Хрусткость образца ВВ была устойчивой, а хрусткость ВМС заметно уменьшилась на пятом месяце хранения. Твердость ВВ на пятом месяце увеличилась, тогда как твердость ВМС оставалась стабильной. Увеличение твердости влияет на потерю органолептических показателей пищевых продуктов [295]. Изменения текстурных показателей ВВ и ВМС можно объяснить изменениями  $a_w$  во время хранения [278], хрусткость продуктов снижается с увеличением активности воды [296].

### 3.4.1.7 Цветность

Изменение цвета является прямым показателем изменения качества зерновых [297]. В табл. 3.36 представлены параметры цвета  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  и  $\Delta E$  цельных и порошкообразных образцов ВВ и ВМС.

Таблица 3.36 – Изменение цветности сухих завтраков (цельных и измельченных) во время хранения

Показатель цветности и месяц	ВВ		ВМС	
	Цельные зерна	Порошок	Цельные зерна	Порошок
1	2	3	4	5
<b><math>L^*</math></b>				
0 месяц	60,08±1,49 <sup>a</sup>	70,48±0,37 <sup>a</sup>	63,43±1,87 <sup>a</sup>	71,7±0,55 <sup>a</sup>
3 месяц	57,50±0,58 <sup>a</sup>	68,67±0,54 <sup>b</sup>	60,94±1,96 <sup>c</sup>	69,00±0,31 <sup>c</sup>
4 месяц	59,42±2,03 <sup>a</sup>	69,70±0,60 <sup>b</sup>	61,94±1,65 <sup>b</sup>	69,62±0,34 <sup>b</sup>
5 месяц	59,03±0,82 <sup>a</sup>	68,01±0,58 <sup>c</sup>	61,94±1,02 <sup>b</sup>	70,07±0,24 <sup>b</sup>
<b><math>a^*</math></b>				
0 месяц	8,52±0,54 <sup>a</sup>	6,63±0,13 <sup>d</sup>	6,73±0,49 <sup>a</sup>	6,38±0,08 <sup>c</sup>
3 месяц	8,95±0,13 <sup>a</sup>	6,85±0,05 <sup>c</sup>	7,05±0,17 <sup>a</sup>	6,46±0,04 <sup>b</sup>
4 месяц	8,67±0,38 <sup>a</sup>	6,95±0,18 <sup>b</sup>	7,49±0,69 <sup>a</sup>	6,53±0,11 <sup>b</sup>
5 месяц	8,72±0,17 <sup>a</sup>	7,18±0,08 <sup>a</sup>	7,51±0,32 <sup>a</sup>	6,66±0,08 <sup>a</sup>
<b><math>b^*</math></b>				
0 месяц	23,26±0,84 <sup>a</sup>	21,9±0,33 <sup>b</sup>	19,7±1,19 <sup>c</sup>	21,77±0,21 <sup>c</sup>
3 месяц	24,56±0,13 <sup>a</sup>	22,1±0,20 <sup>b</sup>	21,22±0,71 <sup>b</sup>	21,11±0,07 <sup>d</sup>
4 месяц	24,03±0,99 <sup>a</sup>	23,00±0,37 <sup>a</sup>	21,87±0,75 <sup>a</sup>	21,82±0,23 <sup>b</sup>
5 месяц	24,57±0,74 <sup>a</sup>	23,27±0,06 <sup>a</sup>	21,65±1,02 <sup>a</sup>	22,56±0,19 <sup>a</sup>
<b><math>\Delta E_{\text{пшеница}}</math></b>				
0 месяц	9,32	9,85	12,20	9,01
3 месяц	7,83	11,22	9,91	10,23

Продолжение таблицы 3.36

1	2	3	4	5
4 месяц	9,08	11,24	10,83	10,30
5 месяц	9,05	12,56	10,78	10,62
<i><math>\Delta E_{ВЗ}</math></i>				
0 месяц	1,41	5,88	6,41	4,71
3 месяц	2,41	7,51	4,00	6,99
4 месяц	0,78	7,12	3,67	6,59
5 месяц	0,87	8,76	3,83	6,54

Примечание: Среднее ( $n = 5$ )  $\pm$  SD. ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с порошком молочной сыворотки.  $\Delta E_{пшеница}$  – общая разница в цвете по сравнению с зерном пшеницы.  $\Delta E_{ВЗ}$  – общая разница в цвете по сравнению с взорванной пшеницей без добавок. Разные буквы в отдельных столбиках указывают на достоверные различия при  $p \leq 0,05$ .

В процессе хранения показатели яркости ( $L^*$ ) цельных ВВ и ВМС уменьшались первые четыре месяца хранения, но в дальнейшем не изменились до конца исследования. Показатели красноты ( $a^*$ ) и желтизны ( $b^*$ ) цельной ВВ оставались постоянными в течение всего периода исследования. Показатели красноты и желтизны цельных ВМС увеличивались первые три месяца, но в дальнейшем не изменились.

Результаты исследования ВВ и ВМС в виде порошка показывают, что показатель яркости ( $L^*$ ) уменьшался в период исследования, показатели красноты и желтизны со временем хранения увеличивались.

Увеличение красноты и желтизны свидетельствует о потемнении продукта, это связано с неферментативными реакциями [171]. По данным авторов [65], во время хранения снеков из цельнозерновой муки до 6 месяцев изменение цветовых значений  $L^*$ ,  $a^*$  и  $b^*$  было незначительным.

Общая разница в цвете ( $\Delta E$ ) продуктов определена по отношению цвета пшеницы и взорванных зерен пшеницы, которые были определены с учетом

цветовых параметров пшеницы и взорванных зерен пшеницы (табл. 3.30). Разница в цвете при  $\Delta E > 2$  может быть замечена только при внимательном наблюдении, при  $\Delta E > 10$  разница заметна сразу для наблюдателя [298]. Согласно полученным данным, разница в цвете ( $\Delta E$ ) для пшеницы всех образцов в течение хранения хорошо заметна. Разница в цвете ( $\Delta E$ ) по отношению к взорванным зернам пшеницы для целых ВВ менее заметна, для ВВ в виде порошка становится более заметной в течение хранения. Для образцов ВМС разница в цвете ( $\Delta E$ ) по отношению взорванных зерен хорошо заметна во всех образцах в течение всего периода хранения.

Исследование показало, что изменения цветовых характеристик образцов в процессе хранения были обусловлены неферментативными реакциями, приводящими к потемнению продукта. Наиболее заметные изменения наблюдались для показателей красноты ( $a^*$ ) и желтизны ( $b^*$ ), особенно в первые три месяца хранения. В целом общая разница в цвете ( $\Delta E$ ) для всех образцов превышала пороговое значение, что свидетельствует о визуально заметных изменениях цвета в течение периода хранения.

#### **3.4.1.8 Антиоксидантные свойства**

В ходе исследования изучалось изменение общего содержания фенолов (ОСФ) и антиоксидантной активности (по методу ДФПГ) в образцах ВВ и ВМС при хранении в течение 5 месяцев. Фенольные соединения, известные своими антиоксидантными свойствами, играют важную роль в профилактике хронических заболеваний, таких как сердечно-сосудистые заболевания, диабет и рак [299, 300].

В табл. 3.37 представлены результаты исследования динамики изменения содержания фенольных соединений в различных формах (свободных и связанных) в образцах ВВ и ВМС в течение периода хранения.

Таблица 3.37 – Изменение количества фенольных соединений в сухих завтраках (ВВ и ВМС) во время хранения, мг-эквивалент галловой кислоты на 100 г сухой массы

Месяц	ВВ	ВМС
<b><i>Свободные фенольные соединения</i></b>		
0 месяц	114,55±1,55 <sup>b</sup>	129,79±2,9 <sup>b</sup>
3 месяц	68,54±2,31 <sup>d</sup>	81,93±2,85 <sup>d</sup>
4 месяц	97,38±0,52 <sup>c</sup>	99,37±1,7 <sup>c</sup>
5 месяц	193,23±9,9 <sup>a</sup>	163,99±4,85 <sup>a</sup>
<b><i>Связанные фенольные соединения</i></b>		
0 месяц	121,37±4,16 <sup>c</sup>	123,97±3,43 <sup>d</sup>
3 месяц	99,32±2,95 <sup>d</sup>	144,76±2,15 <sup>c</sup>
4 месяц	127,91±1,65 <sup>b</sup>	212,99±2,7 <sup>a</sup>
5 месяц	194,00±3,11 <sup>a</sup>	174,96±2,8 <sup>b</sup>
<b><i>Сумма фенольных соединений</i></b>		
0 месяц	235,93±2,86	253,76±3,17
3 месяц	167,86±2,63	226,69±2,5
4 месяц	225,29±1,08	312,36±2,2
5 месяц	387,55±6,25	338,95±3,82

Примечание: Среднее (n = 9) ± SD. ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с порошком молочной сыворотки. Разные буквы в отдельных столбиках указывают на достоверные различия при  $p \leq 0,05$ .

Анализ данных табл. 3.37 показал неоднозначную динамику изменения содержания фенольных соединений в образцах ВВ и ВМС в процессе хранения. Наблюдалось начальное снижение, связанное, вероятно, с окислением фенольных соединений. Подобное явление ранее наблюдалось при хранении риса и овса [301, 302]. Однако, в дальнейшем отмечалось увеличение общего содержания фенолов. Такая тенденция может быть объяснена образованием продуктов окисления токоферолов и других легко окисляемых веществ, которые

вступают в реакцию с реагентом Фолина-Чиокальтеу, приводя к завышению результатов анализа [303, 304].

Определение антиоксидантной активности является одним из методов определения пищевой ценности пищевых продуктов [38]. Антиоксидантную активность измеряли методом ДФПГ. ДФПГ представляет собой свободный радикал, который хорошо растворяется в этиловом спирте, и образовавшийся фиолетовый раствор демонстрирует характерное поглощение при длине волны 517 нм. Когда антиоксидант удаляет свободные радикалы путем отдачи водорода, цвет раствора для анализа ДФПГ становится светло-желтым [305].

В таблице 3.38 представлены результаты измерения антиоксидантной активности исследуемых образцов по улавливанию свободных радикалов ДФПГ.

Таблица 3.38 – Изменение активности по улавливанию радикалов ДФПГ сухих завтраков (ВВ и ВМС) во время хранения, мкмоль тролокса на 100 г сухой массы

Месяц	ВВ	ВМС
0 месяц	2,52±0,09 <sup>d</sup>	2,87±0,08 <sup>c</sup>
3 месяц	2,35±0,03 <sup>c</sup>	2,49±0,05 <sup>b</sup>
4 месяц	2,68±0,05 <sup>b</sup>	2,64±0,06 <sup>c</sup>
5 месяц	4,86±0,11 <sup>a</sup>	4,63±0,04 <sup>a</sup>

Примечание: Среднее (n = 9) ± SD. ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с порошком молочной сыворотки. Разные буквы в отдельных столбиках указывают на достоверные различия при p ≤ 0,05.

Изучение антиоксидантной активности исследованных образцов сухих завтраков выявило неоднозначную динамику ее изменения в процессе хранения. Начальное снижение активности связано с уменьшением содержания фенольных соединений, являющихся основными природными антиоксидантами. Однако, в дальнейшем наблюдалось увеличение активности. Это может быть обусловлено образованием новых антиоксидантов в результате окислительных процессов, протекающих в образцах. Следует учитывать, что метод определения антиоксидантной активности с использованием ДФПГ обладает определенными

ограничениями. Взаимодействие ДФПГ с различными компонентами образца может приводить к изменению окраски раствора и, как следствие, к завышению показателей антиоксидантной активности [303]. Подобная неоднозначная динамика антиоксидантной активности наблюдалась при хранении тайваньского батата, где увеличение активности связывали с развитием микроорганизмов [306].

## **Выводы**

В данном исследовании определялись кислотное число и органолептические показатели сухих завтраков на основе воздушной пшеницы с ванилином (ВВ) и воздушной пшеницы с молочной сывороткой (ВМС) при различных условиях хранения. Изменения вкусовых свойств образца ВМС наблюдались на пятом месяце хранения при температуре  $20 \pm 2$  °С, когда кислотное число достигло  $3,8 \pm 0,03$  мг КОН/г, что близко к критическому пределу. Образец ВВ через шесть месяцев хранения при той же температуре также продемонстрировал заметные изменения вкуса. В последующие месяцы хранения значение кислотного числа достигло  $4,4 \pm 0,02$  мг КОН/г в образце ВМС и  $4,1 \pm 0,02$  мг КОН/г в образце ВВ. Кислотные показатели находились в пределах допустимого диапазона при низких температурах хранения до восьмого месяца хранения. Рассчитанные температурные коэффициенты ( $Q_{10}$ ) показали, что на увеличение кислотного числа ВМС температура влияла сильнее, чем ВВ.

Исследование показало стабильность содержания сухих веществ в исследуемых образцах. Металлизированная упаковка обладает высокими барьерными свойствами против влаги. Активность воды увеличилась во время хранения с  $0,106 \pm 0,014$  до  $0,225 \pm 0,003$  (ВВ) и с  $0,159 \pm 0,005$  до  $0,293 \pm 0,003$  (ВМС), но в целом она находилась в пределах допустимого уровня (менее 0,3).

Хрусткость ВВ во время исследования была устойчивой, а хрусткость ВМС заметно уменьшилась на пятом месяце хранения. С увеличением активности воды хрусткость продуктов снижается. Твердость ВВ на пятом

месяце увеличилась, достигнув  $481 \pm 17$  Н, а твердость ВМС осталась стабильной и равной  $357 \pm 25$  Н. Показатели цветности (краснота, желтизна) порошкообразной формы обоих образцов увеличились во время хранения, что свидетельствует о потемнении продукта в результате неферментативных процессов.

Анализ динамики изменения содержания фенольных соединений и антиоксидантной активности образцов ВВ и ВМС показал, что процессы, происходящие при хранении, носят сложный и неоднозначный характер. Начальное снижение содержания фенолов с  $235,93 \pm 2,86$  до  $167,86 \pm 2,63$  мг-эквивалент галловой кислоты на 100 г сухой массы (ВВ) и с  $253,76 \pm 3,17$  до  $226,69 \pm 2,5$  мг-эквивалент галловой кислоты на 100 г сухой массы (ВМС), вероятно, связано с их окислением, что согласуется с литературными данными. Повышение же общего содержания фенолов по мере хранения до  $387,55 \pm 6,25$  мг-эквивалент галловой кислоты на 100 г сухой массы (ВВ) и  $338,95 \pm 3,82$  мг-эквивалент галловой кислоты на 100 г сухой массы (ВМС) может быть связано с образованием продуктов окисления других соединений, таких как токоферолы, которые также реагируют с реагентом Фолина-Чиокальтеу. Аналогичная неоднозначная динамика антиоксидантной активности исследуемых образцов может быть связана с образованием новых антиоксидантов в результате окислительных процессов, протекающих в образцах.

Проведенное исследование позволило выявить, что хранение воздушной пшеницы с добавками ВВ и ВМС сопровождается существенными изменениями жирнокислотного состава. Содержание НЖК и МНЖК демонстрирует немонотонную динамику, обусловленную, вероятно, как неоднородностью исходного сырья, так и окислительными процессами. Систематическое снижение содержания ПНЖК связано с их окислением, что подтверждается литературными данными.

Во время хранения зерновых может ухудшиться вкус вследствие улетучивания или появления посторонних привкусов. Образование альдегидов, таких как гексаналь и ноненаль, свидетельствует об окислении ПНЖК.

Ускоренное окисление в образце ВМС обусловлено каталитическим действием ионов железа. Содержание фенолов и азотсодержащих соединений снижалось в процессе хранения, что может быть связано с их участием в окислительных процессах или их превращением в более полярные соединения, не детектируемые методом ГХ/МС.

На основании полученных данных рекомендуется хранить образцы ВВ и ВМС при температуре не выше  $20\pm 2$  °С в течение 5 и 4 месяцев соответственно.

### **3.5 Промышленная апробация технологии новых видов сухих завтраков**

#### **3.5.1. Разработка нормативно-технической документации**

На основе проведенных исследований разработаны рецептура и технология новых видов сухих завтраков: воздушная пшеница с ванилином – «Бадырак ванильный» и воздушная пшеница с молочной сывороткой – «Бадырак с молочной сывороткой». Названия продуктов отдают дань традиционному кыргызскому названию взорванных зерен пшеницы. Рецептура воздушной пшеницы с молочной сывороткой оптимизирована по отношению витаминов группы В (пиридоксин). Добавление сухой молочной сыворотки, содержащей витамины, аминокислоты и минеральные вещества, обладающие антиоксидантными свойствами, делает продукт способным поддерживать целостность эритроцитов и предупреждать возникновение сосудистых заболеваний у потребителей.

Промышленная апробация рецептуры и технологии воздушной пшеницы с добавками проводилась на предприятии ОсОО «Макый-Дан» г. Бишкек. Акты производственных испытаний воздушной пшеницы с ванилином «Бадырак ванильный» и с молочной сывороткой «Бадырак с молочной сывороткой» представлены в Приложениях 2 и 3, соответственно.

На воздушные зерна с добавками на основании результатов исследований и производственных испытаний разработана и утверждена техническая документация:

- ТУ 10.61.33 – 001 – 24446338– 2020 «Сухие завтраки. Воздушная пшеница с добавками» (Приложение 4);
- ТИ КР – 579883301.000 - 002 – 2020 по изготовлению сухих завтраков – воздушные зерна с добавками (Приложение 5).

### **3.5.2. Расчет отпускной цены сухих завтраков: воздушной пшеницы с ванилином и воздушной пшеницы с молочной сывороткой**

Полная себестоимость разработанных продуктов из воздушной пшеницы с добавками включает затраты на её производство и расходы, связанные с ее реализацией.

Себестоимость продукции рассчитывали путем сложения затрат на: сырье и вспомогательные материалы; транспортно-заготовительные расходы; топливо, энергию и воду на технические цели; оплату труда; перечисление социального и подоходного налогов; прочих производственных и внепроизводственных расходов.

*Сырье и вспомогательные материалы.* Стоимость сырья и вспомогательных материалов рассчитывают, исходя их потребности на 1000 кг в действующих оптовых ценах. В табл. 3.39 представлен результат расчета стоимости (затрат) сырья и вспомогательных материалов.

*Транспортно-заготовительные расходы* принимаются в размере 5% от стоимости сырья и вычисляются по формуле (3.3):

$$ТЗР = 0,05 \times СОС, \quad (3.3)$$

где ТЗР – транспортно-заготовительные расходы, сом;

СОС – стоимость основного сырья, сом

$$Т_{зр\text{ ВВ}} = 0,05 \times 110480,5 = 5524,0 \text{ сом}$$

$$T_{зрВМС} = 0,05 \times 118793,5 = 5939,7 \text{ сом}$$

Таблица 3.39 – Расчет затрат на сырье и вспомогательные материалы для производства воздушной пшеницы с добавками

Наименование	Ед. изм.	Нормы расхода сырья на 1000 кг	Цена за ед., сом	Сумма, сом
<i>Воздушная пшеница с ванилином (ВВ)</i>				
Пшеница	кг	918	23,5	21573
Подсолнечное масло	кг	121,2	100	12120
Сахарная пудра	кг	201	130	26130
Ванилин	кг	1,01	650	656,5
Упаковка (metPP)	шт	33334	1,5	50001
Итого:				110480,5
<i>Воздушная пшеница с молочной сывороткой (ВМС)</i>				
Пшеница	кг	756	23,5	17766
Подсолнечное масло	кг	121,2	100	12120
Сахарная пудра	кг	201	130	26130
Сухая молочная сыворотка	кг	121,2	100	12120
Ванилин	кг	1,01	650	656,5
Упаковка (metPP)	шт	33334	1,5	50001
Итого:				118793,5

*Топливо, энергия и вода на технологические цели.* Затраты на электроэнергию, газ и воду (включая сточные воды) для технологических целей рассчитываются, исходя из норм расхода на 1000 кг и по действующим тарифам. Результаты расчета представлены в табл. 3.40.

Таблица 3.40 – Расчет стоимости топлива, энергии и воды на технологические цели

Наименование	Количество на 1000 кг, кг	Цена за единицу, сом	Сумма, сом
Электроэнергия, кВт/ч	387,1	3,6	1393,56
Газ, м <sup>3</sup>	193,5	21,79	4216,37
Вода, м <sup>3</sup>	6,5	70	455,0
Итого			6065,93

*Оплата труда.* Для производства воздушной пшеницы с добавками необходимо 4 работника. За 1000 кг выпущенной продукции каждому выплачивается по 1000 сом.

Таким образом рассчитываются затраты на оплату труда по формуле (3.4):

$$ЗП_{\text{общ}} = n \times ЗП_{\text{раб}}, \quad (3.4)$$

где  $ЗП_{\text{общ}}$  – затраты на оплату труда рабочих, сом;

$ЗП_{\text{раб}}$  – заработная плата одного рабочего, сом;

$n$  – число рабочих, необходимых для выработки готового продукта, чел.

Итак,  $ЗП_{\text{общ}} = 4 \times 1000 = 4000$  сом.

*Социальный налог.* Социальный налог рассчитывается по формуле (3.5):

$$СН = n_{\text{псн}} \times ЗП_{\text{общ}}, \quad (3.5)$$

где СН – социальный налог, сом;

$n_{\text{псн}}$  – процентная ставка социального налога,  $n_{\text{псн}} = 17,25\%$ ;

$ЗП_{\text{общ}}$  – затраты на оплату труда рабочих, сом.

Для воздушных зерен с добавками социальный налог составляет:

$$СН = 0,1725 * 4000 = 690 \text{ сом}$$

*Подходный налог.* Подходный налог рассчитывается по формуле (3.6):

$$\text{ПН} = n_{\text{пнн}} \times \text{ЗП общ}, \quad (3.6)$$

где ПН – подоходный налог, сом;

$n_{\text{пнн}}$  – процентная ставка подоходного налога,  $n_{\text{пнн}} = 10\%$ ;

$\text{ЗП}_{\text{общ}}$  – затраты на оплату труда рабочих, сом.

Для воздушных зерен с добавками подоходный налог составляет:

$$\text{ПН} = 0,10 \times 4000 = 400 \text{ сом}$$

Прочие производственные расходы вычисляются по формуле (3.7):

$$\text{Р}_{\text{произ}} = n_{\text{пр}} \times (\text{СОС} + \text{ТЗР} + \text{ТЭ} + \text{ЗП}_{\text{общ}} + \text{СН} + \text{ПН}), \quad (3.7)$$

где  $\text{Р}_{\text{произ}}$  – прочие производственные расходы, сом;

$n_{\text{пр}}$  – отчисления на прочие расходы,  $n_{\text{пр}} = 3\%$ ;

СОС – стоимость основного сырья, сом;

ТЗР – транспортно-заготовительные расходы, сом;

ТЭ – топливно-энергетические расходы, сом.

*Тогда, для ВВ*

$$\text{Р}_{\text{произВВ}} = 0,03 \times (110480,5 + 5524,0 + 6065,93 + 4000 + 690 + 400) = 3814,8$$

сом;

*для ВМС*

$$\text{Р}_{\text{произВМС}} = 0,03 \times (118793,5 + 5939,7 + 6065,93 + 4000 + 690 + 400) = 4076,6$$

сом.

Внепроизводственные расходы вычисляются по формуле (3.8):

$$\text{Р}_{\text{внепр}} = n_{\text{впр}} \times (\text{СОС} + \text{ТЗР} + \text{ТЭ} + \text{ЗП}_{\text{общ}} + \text{СН} + \text{ПН} + \text{Р}_{\text{произ}}), \quad (3.8)$$

где  $\text{Р}_{\text{внепр}}$  – внепроизводственные расходы, сом;

$n_{\text{впр}}$  – отчисления на внепроизводственные расходы,  $n_{\text{впр}} = 3\%$ .

*Для ВВ:*

$$\begin{aligned} \text{Р}_{\text{внепрВВ}} &= 0,03 \times (110480,5 + 5524,0 + 6065,93 + 4000 + 690 + 400 + 3814,9) \\ &= 3929,25 \text{ сом}; \end{aligned}$$

для ВМС

$$R_{\text{внепр}}_{\text{ВМС}} = 0,03 \times (118793,5 + 5939,7 + 6065,93 + 4000 + 690 + 400 + 4076,6) \\ = 4198,9 \text{ сом.}$$

Полная стоимость продукта включает в себя все затраты и рассчитывается по формуле (3.9):

$$ПС = СОС + ТЗР + ТЭ + ЗПобщ + СН + ПН + R_{\text{произ}} + R_{\text{внепр}}, \quad (3.9)$$

где ПС – полная себестоимость основного сырья, сом;

$R_{\text{произ}}$  – прочие производственные расходы, сом;

$R_{\text{внепр}}$  – внепроизводственные расходы, сом.

Тогда,

$$ПС_{\text{ВВ}} = 110480,5 + 5524,0 + 6065,93 + 4000 + 690 + 400 + 3814,9 + 3929,25 = \\ 134904,58 \text{ сом}$$

$$ПС_{\text{ВМС}} = 118793,5 + 5939,7 + 6065,93 + 4000 + 690 + 400 + 4076,6 + 4198,9 = \\ 144164,63 \text{ сом}$$

Прибыль от реализации продукции определяется как произведение полной себестоимости и рентабельности:

$$П = ПС * R/100, \quad (3.10)$$

где П – прибыль, сом;

ПС – полная себестоимость, сом;

R – рентабельность, %.

При R = 20 %:

$$П_{\text{ВВ}} = 134904,58 \times 0,2 = 26980,91 \text{ сом}$$

$$П_{\text{ВМС}} = 144164,63 \times 0,2 = 28832,92 \text{ сом}$$

*Расчет оптовой цены.* Оптовая цена рассчитывается по формуле (3.11):

$$Ц_{\text{опт}} = (ПС + П) * Н, \quad (3.11)$$

где  $C_{\text{опт}}$  – оптовая цена, сом;

$H$  – НДС,  $H = 12\%$  от цены.

$$C_{\text{ВВ}} = (134904,58 + 26980,91) \times 1,12 = 181311,7 \text{ сом}$$

$$C_{\text{ВМС}} = (144164,63 + 28832,92) \times 1,12 = 193757,2 \text{ сом}$$

Оптовая цена в расчете на одну упаковку по 30 г продукта:

$$C_{\text{ВВ}} = 181311,7 / 1000 \times 0,03 = 5,44 \text{ сом}$$

$$C_{\text{ВМС}} = 193757,2 / 1000 \times 0,03 = 5,81 \text{ сом}$$

Результаты расчета цены ВВ и ВМС представлены в табл. 3.41.

Таблица 3.41 – Расчет отпускной цены воздушной пшеницы с добавками, сом

Наименование	ВВ	ВМС
Сырье и вспомогательные материалы	110480,5	118793,5
Транспортно-заготовительные расходы	5524,0	5939,7
Топливо и энергия на технологические цели	6065,93	6065,93
Затраты на оплату труда рабочих	4000	4000
Социальный налог	690	690
Подходный налог	400	400
Прочие производственные расходы	3929,25	4198,9
Полная себестоимость	134904,58	144164,63
Прибыль	26980,91	28832,92
Стоимость 1000 кг (с НДС)	181311,7	193757,2
Отпускная цена за 1 упаковку	5,44	5,81

Примечание: ВВ – воздушная пшеница с ванилином. ВМС – воздушная пшеница с молочной сывороткой.

## Выводы

Разработана и утверждена нормативно-техническая документация на производство сухих завтраков на основе воздушной пшеницы «Бадырак ванильный» и «Бадырак с молочной сывороткой», которая регламентирует

состав, технологический процесс и требования к качеству готовой продукции. Проведен расчет себестоимости и определена оптовая цена продукции. Ожидается, что ее реализация позволит предприятию увеличить объемы продаж и повысить прибыль. Разработка новых продуктов способствует расширению ассортимента здоровых и вкусных продуктов питания на рынке, особенно для детей и людей, ведущих активный образ жизни.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенное комплексное исследование влияния технологических процессов получения взорванных зерен пшеницы на их физико-химические свойства показало, что при взрывании зерен происходит снижение активности воды, что положительно сказывается на стабильности продукта. Увеличение содержания крахмала обусловлено, вероятно, частичным разрушением клеточных стенок и высвобождением крахмальных гранул. Характерная пористая структура образуется в результате набухания и клейстеризации крахмала под действием высокой температуры и давления, а также разрыва клеток эндосперма. Высокотемпературная обработка приводит к росту содержания альдегидов, карбоновых кислот, гетероциклических соединений и других летучих веществ. Установлено повышение общего содержания фенолов и антиоксидантной активности. Однако, наблюдается также образование потенциально опасных соединений, таких как 5-гидроксиметилфурфурол (5-ГМФ) в количестве 622,9 мг/кг и акриламид в количестве 240 мкг/кг, что находится в пределах допустимых норм, установленных для сухих завтраков из пшеницы.

2. Методом математического моделирования разработаны оптимизированные варианты рецептуры и отработаны технологические параметры приготовления новых видов сухих завтраков на основе воздушной пшеницы с ванилином (ВВ) и молочной сывороткой (ВМС). Разработанные продукты высоко оценены потребителями по вкусу, запаху и приемлемости.

3. Доказано, что использование ванилина, который усиливает вкус сахара, позволяет снизить содержание этого компонента в рецептуре, а также повысить антиоксидантную способность целевого продукта. Экспериментально подтверждено, что внесение порошка молочной сыворотки в рецептуру сухих завтраков обеспечивает покрытие суточной потребности в пиридоксине на 5,15 %, тиамине – на 4,42%, рибофлавине – на 4,38%, калии – на 6%, кальции –

на 14%, магнии – на 20%, железе – на 15%, марганце – на 50% и цинке – на 6,6%, а лизина становится в 6 раз больше при потреблении 100 г продукта.

4. В результате определения влияния добавленных пищевых ингредиентов (ванилина, сахара, сухой молочной сыворотки и подсолнечного масла) на реологические, физико-химические параметры и показатели безопасности готовых продуктов установлено, что указанные добавки обеспечили лучшую хрусткость и твердость зерен, создали однородную структуру поверхности воздушных зерен, предотвратив их растрескивание. Деградация крахмала, образование декстринов при взрывании зерен пшеницы явились основным фактором, влияющим на увеличение индекса водопоглощения (ИВП) до  $4,5 \pm 0,2$  г/г и индекса растворимости (ИВР) до  $34,7 \pm 1,3$  г/кг. Нанесение растворимых в воде ингредиентов (сахар, сухая молочная сыворотка) на поверхность взорванных зерен вызвало снижение уровня ИВП до  $2,9 \pm 0,1$  г/г (ВВ) и до  $2,3 \pm 0,1$  г/г (ВМС), это связано с физическими свойствами добавленного сахара, который растворяется в воде в отличие от крахмала и белков, присутствующих в зерне и связывающих воду. Одновременно с этим, ИВР образцов ВВ и ВМС увеличился до  $52,7 \pm 0,9$  г/кг и  $62,7 \pm 1,3$  г/кг соответственно за счет присутствия в добавках водорастворимых веществ. Разработанные сухие завтраки (ВВ и ВМС) по показателям безопасности соответствуют требованиям, установленным ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

5. В комплексном изучении влияния различных условий хранения (температура, продолжительность) на свойства и срок годности готовых продуктов установлено, что изменение вкусовых свойств образца ВМС наблюдалось на пятом месяце хранения при температуре  $20 \pm 2$  °С, когда кислотное число достигло  $3,3 \pm 0,03$  мг КОН/г, что близко к критическому пределу. Образец ВВ при той же температуре после шести месяцев хранения также продемонстрировал заметные изменения вкуса. Содержание сухих веществ осталось неизменным и равным  $96,9 \pm 0,1$  г/100 г (ВВ) и  $96,3 \pm 0,1$  г/100 г (ВМС), активность воды повысилась во время хранения с  $0,106 \pm 0,014$  до  $0,225 \pm 0,003$  (ВВ) и с  $0,159 \pm 0,005$  до  $0,293 \pm 0,003$  (ВМС), что не превышает

допустимый уровень. Хрусткость ВВ не изменилась, а хрусткость ВМС снизилась на пятом месяце хранения. Твердость ВВ на пятом месяце увеличилась, достигнув  $481 \pm 17$  Н, а твердость ВМС осталась стабильной и равной  $357 \pm 25$  Н. Показатели цветности (краснота, желтизна) порошкообразной формы обоих образцов увеличились во время хранения, что свидетельствует о потемнении продукта в результате неферментативных процессов.

Анализ динамики изменения содержания фенольных соединений и антиоксидантной активности образцов ВВ и ВМС показал, что процессы, происходящие при хранении, носят сложный и неоднозначный характер. Начальное снижение содержания фенолов с  $235,93 \pm 2,86$  до  $167,86 \pm 2,63$  мг-эквивалент галловой кислоты на 100 г сухой массы (ВВ) и с  $253,76 \pm 3,17$  до  $226,69 \pm 2,5$  мг-эквивалент галловой кислоты на 100 г сухой массы (ВМС), вероятно, связано с их окислением, что согласуется с литературными данными. Повышение же общего содержания фенолов в последующий период хранения до  $387,55 \pm 6,25$  мг-эквивалент галловой кислоты на 100 г сухой массы (ВВ) и  $338,95 \pm 3,82$  мг-эквивалент галловой кислоты на 100 г сухой массы (ВМС) может быть связано с образованием продуктов окисления других соединений, таких как токоферолы, которые также реагируют с реагентом Фолина-Чиокальтеу. Аналогичная неоднозначная динамика антиоксидантной активности исследуемых образцов может быть связана с образованием новых антиоксидантов в результате окислительных процессов.

6. Хранение исследуемых готовых продуктов ВВ и ВМС приводит к существенным изменениям жирнокислотного состава, что связано с протеканием гидролитических процессов. Содержание НЖК и МНЖК демонстрирует немонотонную динамику, обусловленную, вероятно, как неоднородностью исходного сырья, так и окислительными процессами. Наблюдаемое в процессе всего периода хранения снижение содержания ПНЖК связано с их окислением, в результате которого образуются альдегиды, такие как гексаналь и ноненаль, которые могут влиять на появление посторонних привкусов. Ускоренное окисление в образце ВМС обусловлено каталитическим

действием ионов железа. Содержание фенолов и азотсодержащих соединений снижалось в процессе хранения, что может быть связано с их участием в окислительных процессах или превращением в более полярные соединения, не детектируемые методом ГХ/МС.

На основании полученных результатов были установлены рекомендуемые сроки годности: для воздушной пшеницы с ванилином – 5 месяцев, для воздушной пшеницы с молочной сывороткой – 4 месяца при температуре хранения не выше  $20 \pm 2$  °С.

7. Разработаны технические условия ТУ 10.61.33-001-2446338-2020 «Сухие завтраки. Воздушная пшеница с добавками». Проведена промышленная апробация рецептур и технологии на предприятии ОсОО «Макый-Дан» (г. Бишкек, Кыргызская Республика.) Установлено, что оптовая цена ВВ составляет 5,44 сома, а ВМС – 5,81 сома за 30 грамм.

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

Результаты исследования состава взорванных зерен пшеницы и сухих завтраков на основе воздушной пшеницы с добавками рекомендуется включить в соответствующие справочники химического состава пищевого сырья. Разработана технология производства обогащенных сухих завтраков на основе взорванных зерен пшеницы. На основании проведенных исследований получен патент Кыргызской Республики на изобретение №1469 «Бадырак ванильный». Разработаны и утверждены в установленном порядке технологическая инструкция по изготовлению сухих завтраков – воздушные зерна с добавками; технические условия «Сухие завтраки – воздушная пшеница с добавками», необходимые для производства обогащенных сухих завтраков в промышленном масштабе.

На базе ОсОО «Макый-Дан» проведена опытно-промышленная проверка технологий «Бадырак ванильный» и «Бадырак с молочной сывороткой» с

положительным результатом. После чего был запущен серийный выпуск и организована продажа продукции «Бадырак ванильный».

На основании полученных результатов рекомендуется внедрить технологию производства воздушной пшеницы с молочной сывороткой на пищевых предприятиях для создания новых продуктов с улучшенными вкусовыми качествами и питательной ценностью.

Данные аналитических и экспериментальных исследований использованы при разработке лекционных курсов и методических пособий к практическим работам по дисциплине «Технология консервирования и пищевых концентратов» для студентов вузов пищевого направления.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Svanberg, I.** The use of wild plants as food in pre-industrial Sweden / I. Svanberg – Текст : непосредственный // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. – 2012. – Vol. 81. – № 4. – P. 317-327.
2. Gaps and Potential Opportunities / P. Mkambula, M. Mbuya, L. Rowe [et al.] – Текст : непосредственный // Nutrients. – 2020. – Vol. 12. – № 354. – P. 1-19.
3. Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. / M. A. Brennan, E. Derbyshire, B. K. Tiwari, C. S. Brennan – Текст : непосредственный // International Journal of Food Science & Technology. – 2013. – Vol. 48(5). – P. 893-902.
4. Sustainable production of naturally colored extruded breakfast cereals from blends of broken rice and vegetable flours / V. G. Sebastião, D. Batista, A. P. Rebellato [et al.] – Текст : непосредственный // Food Research International. – 2023. – P. 113078.
5. **Grasso, S.** Extruded snacks from industrial by-products: A review / S. Grasso – Текст : непосредственный // Trends in Food Science and Technology. – 2020. – Vol. 99. – P. 284-294.
6. Use of agricultural by-products in extruded gluten-free breakfast cereals / P. Alonso dos Santos, M. Caliarì, M. Soares Soares Júnior [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2019. – Vol. 297. – P. 124956.
7. **Božanić, R.** Possibilities of whey utilisation / R. Božanić, I. Barukčić, K. Lisak – Текст : непосредственный // Journal of Nutrition and Food Sciences. – 2014. – Vol. 2. – № 7. – P. 1-7.
8. Программа продовольственной безопасности и питания в Кыргызской Республике на 2019-2023 годы. – Текст : электронный // Министерство юстиции Кыргызской Республики : официальный сайт. – 2019. – URL: <https://cbd.minjust.gov.kg/14562/edition/958753/ru>. (дата обращения: 20.02.2024).
9. Challenges and opportunities for increasing the effectiveness of food reformulation and fortification to improve dietary and nutrition outcomes / J. Fanzo,

R. McLaren, A. Bellows, B. Carducci /– Текст : непосредственный / Food Policy. – 2023. – Vol. 119. – P. 102515.

10. Impact of moisture content on microstructural, thermal, and techno-functional characteristics of extruded whole-grain-based breakfast cereal enriched with Indian horse chestnut flour / F. M. Allai, P. M. Junaid, Z. R. A. A. Azad [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry: X. – 2023. – Vol. 20. – P. 100959.

11. Health concerns regarding malnutrition among the older populations: considerations from a Slovenian perspective / M. Brglez, N. Plazar, T. Poklar Vatovec, C. J. W. Meulenbergh – Текст : непосредственный // Health Promotion International. – 2022. – Vol. 37. – № 1. – P. daab097.

12. Micronutrient deficiencies among preschool-aged children and women of reproductive age worldwide: a pooled analysis of individual-level data from population-representative surveys / G. A. Stevens, T. Beal, M. N. N. Mbuya [et al.] – Текст : непосредственный // The Lancet Global Health. – 2022. – Vol. 10. – № 11. – P. e1590-e1599.

13. Global Coverage of Mandatory Large-Scale Food Fortification Programs: A Systematic Review and Meta-Analysis / F. Rohner, J. P. Wirth, W. Zeng [et al.] – Текст : непосредственный // Advances in Nutrition. – 2023. – Vol. 14. – № 5. – P. 1197-1210.

14. A dual food-to-food fortification with moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaf powder and baobab (*Adansonia digitata* L.) fruit pulp increases micronutrients solubility in sorghum porridge / M. Affonfere, Y. E. Madode, F. J. Chadare [et al.] – Текст : непосредственный // Scientific African. – 2022. – Vol. 16. – P. e01264.

15. Home fortification of foods with multiple micronutrient powders for health and nutrition in children under two years of age. / L. M. De-Regil, P. S. Suchdev, G. E. Vist [et al.] – Текст : непосредственный // Evidence-Based Child Health: A Cochrane Review Journal. – 2013. – Vol. 8(1). – P. 112-201.

16. **Мусаева, О. Т.** Основы Здорового Образа Жизни Среди Населения- Главная Критерия Качество Жизни / О. Т. Мусаева, Б. Р. Халилова – Текст : непосредственный // Central Asian Journal of Medical and Natural Science. – 2022.

– Т. 3. – № 5. – С. 223-229.

17. Результаты 4-летнего проспективного наблюдения в исследовании Интерэпид : факторы , влияющие на заболеваемость и смертность популяции в сельских регионах России и Кыргызской Республики / А. В. Концевая, А. О. Мырзаматова, А. Н. Халматов [и др.] – Текст : непосредственный // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2018. – Т. 17(2). – С. 49-56.

18. **Борсокбаева, С. С.** Продовольственная безопасность: Нормы потребления и производства основных продуктов питания / С. С. Борсокбаева – Текст : непосредственный // Медицина Кыргызстана. – 2011. – Т. 3. – С. 58-61.

19. ФАОСТАТ. Страновые показатели – Текст : электронный // Продовольственная и сельскохозяйственная Организация Объединенных Наций (ФАО) : официальный сайт. – 2018. – URL: <https://www.fao.org/faostat/ru/#country/113>. (дата обращения: 12.02.2024).

20. Prévalence des troubles du comportement alimentaire au cours de la période 2000-2018: une revue systématique de la littérature / M. Galmiche, P. Déchelotte, G. Lambert, M. P. Tavalacci – Текст : непосредственный // Nutrition Clinique et Métabolisme. – 2019. – Vol. 33(1). – P. 112.

21. Sustainable snack products: Impact of protein- and fiber-rich ingredients addition on nutritive, textural, physical, pasting and color properties of extrudates / J. Delić, P. Ikonić, M. Jokanović [et al.] – Текст : непосредственный // Innovative Food Science & Emerging Technologies. – 2023. – Vol. 87. – P. 103419.

22. **Kaur, N.** Food fortification strategies to deliver nutrients for the management of iron deficiency anaemia / N. Kaur, A. Agarwal, M. Sabharwal – Текст : непосредственный // Current Research in Food Science. – 2022. – Vol. 5. – P. 2094-2107.

23. What is food-to-food fortification? A working definition and framework for evaluation of efficiency and implementation of best practices. Т. 19 / J. Kruger, J. R. N. Taylor, M. G. Ferruzzi, H. Debelo – Текст : непосредственный // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.– 2020.– Vol. 19, № 6.– P. 3618–3658.

24. **Uvere, P. O.** Production of maize-bambara groundnut complementary foods fortified pre-fermentation with processed foods rich in calcium, iron, zinc and provitamin A / P. O. Uvere, E. U. Onyekwere, P. O. Ngoddy – Текст : непосредственный // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2010. – Vol. 90. – № 4. – P. 566-573.

25. Improving resource conservation, productivity and profitability of neglected and underutilized crops in the breadbasket of India: A review / M. Sharath Chandra, R. Naresh, O. Thenua [et al.] – Текст : непосредственный // The Pharma Innovation Journal. – 2020. – Vol. 9. – № 3. – P. 685-696.

26. **Method, A.** Commentary: Food Fortification: African Countries Can Make More Progress / Method, A., T. H. Tulchinsky – Текст : непосредственный // Advances in Food Technology and Nutritional Sciences - Open Journal. – 2015. – Vol. SE. – № 1. – P. S22-S28.

27. Fortification and Health: Challenges and Opportunities / J. T. Dwyer, K. L. Wiemer, O. Dary [et al.] – Текст : непосредственный // Advances in Nutrition. – 2015. – Vol. 6. – № 1. – P. 124-131.

28. Delivering the Nutritional Needs by Food to Food Fortification of Staples Using Underutilized Plant Species in Africa / E. Teye, C. I. Deha, R. Dadzie, R. L. Macarthur – Текст : непосредственный // International Journal of Food Science. – 2020. – Vol. 2020. – P. 8826693.

29. What is food-to-food fortification? A working definition and framework for evaluation of efficiency and implementation of best practices / J. Kruger, J. R. N. Taylor, M. G. Ferruzzi, H. Debelo – Текст : непосредственный // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2020. – Vol. 19. – № 6. – P. 3618-3658.

30. **Zhongming, Z.** UNEP food waste index report 2021 / L. Zhongming, Z., Linong, L., Xiaona, Y., [et al.] – Текст : электронный // ONU.– 2021.– Vol. 80.– P. 1–10. – URL: <https://www.mendeley.com/catalogue/> (дата обращения: 15.02.2024).

31. Eurostat. Agriculture, forestry and fishery statistics - milk and milk products statistics, December 2020. Luxembourg: Publications Office of the European

Union / Eurostat. – Luxembourg: Publications Office of the European Union., 2020. [сайт]. – URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-statistical-books/-/ks-fk-20-001> (дата обращения: 17.02.2024).

32. Внешняя и взаимная торговля товарами Кыргызской Республики. – Текст : электронный // Национальный статистический комитет Кыргызской Республики : официальный сайт. – 2022. – URL: <https://www.stat.kg/ru/>. (дата обращения: 10.04.2024).

33. **Guimarães, P. M. R.** Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorisation of cheese whey / P. M. R. Guimarães, J. A. Teixeira, L. Domingues – Текст : непосредственный // *Biotechnology Advances*. – 2010. – Vol. 28. – № 3. – P. 375-384.

34. Development of Protein Rich Pregelatinized Whole Grain Cereal Bar Enriched With Nontraditional Ingredient: Nutritional, Phytochemical, Textural, and Sensory Characterization / F. M. Allai, B. N. Dar, K. Gul [et al.] – Текст : непосредственный // *Frontiers in Nutrition*. – 2022. – Vol. 9. – P. 1-12.

35. **Bird, A. R.** High amylose wheat: A platform for delivering human health benefits / A. R. Bird, A. Regina – Текст : непосредственный // *Journal of Cereal Science*. – 2018. – Vol. 82. – P. 99-105.

36. Development of healthy ready-to-eat (RTE) breakfast cereal from popped pearl millet / R. Kumari, K. Singh, R. Singh [et al.] – Текст : непосредственный // *Indian Journal of Agricultural Sciences*. – 2019. – Vol. 89. – № 5. – P. 877-881.

37. **Shewry, P. R.** The contribution of wheat to human diet and health / P. R. Shewry, S. J. Hey – Текст : непосредственный // *Food and Energy Security*. – 2015. – Vol. 4(3). – P. 178-202.

38. Effect of thermal treatment on the physicochemical, ultrastructural and nutritional characteristics of whole grain highland barley / Y. P. Bai, H. M. Zhou, K. R. Zhu, Q. Li – Текст : непосредственный // *Food Chemistry*. – 2021. – Vol. 346. – P. 128657 Contents.

39. Storage Stability of Popped Pearl Millet Based Ready To Eat Breakfast Cereal / R. Singh, K. Singh, M. Singh Nain, R. Singh – Текст : непосредственный //

Indian Journal of Agricultural Sciences. – 2020. – Vol. 90(10). – P. 1915-1920.

40. **Perdon, A. A.** Breakfast cereals and how they are made-Introduction / A. A. Perdon, K. S. Poutanen, S. L. Schonauer // Breakfast Cereals and How They Are Made: Raw Materials, Processing, and Production / edit. A. A. Perdon [et al.]. – Elsevier Inc., 2020. – P. 1-4. – Текст : непосредственный

41. **Jeswani, H. K.** Environmental sustainability issues in the food-energy-water nexus: Breakfast cereals and snacks / H. K. Jeswani, R. Burkinshaw, A. Azaragic – Текст : непосредственный // Sustainable Production and Consumption. – 2015. – Vol. 2. – P. 17-28.

42. **Hess, J. M.** What is a snack, why do we snack, and how can we choose better snacks? A review of the definitions of snacking, motivations to snack, contributions to dietary intake, and recommendations for improvement. / J. M. Hess, S. S. Jonnalagadda, J. L. Slavin – Текст : непосредственный // Advances in Nutrition. – 2016. – Vol. 7(3). – P. 466-475.

43. **Ma, W. J.** Puffing technology and its application in cereal starch products / W. J. Ma, R. Z.R., R. Zhou – Текст : непосредственный // Food Industry. – 2018. – Vol. 39. – № 11. – P. 226-230.

44. **Mishra, G.** Popping and Puffing of Cereal Grains: A Review / G. Mishra, D. C. Joshi, B. Kumar Panda – Текст : непосредственный // Journal of Grain Processing and Storage. – 2014. – Vol. 1. – № 2. – P. 34-46.

45. Пушка для вздувания. – Текст : электронный // AliExpress : [сайт]. 2024. – URL: <https://aliexpress.ru/>– URL: <https://aliexpress.ru/item/1005002547381657> (дата обращения: 10.07.2024).

46. Effect of puffing on ultrastructure and physical characteristics of cereal grains and flours / M. Mariotti, C. Alamprese, M. A. Pagani, M. Lucisano – Текст : непосредственный // Journal of Cereal Science. – 2006. – Vol. 43. – № 1. – P. 47-56.

47. Associations of exposure to green space with problem behaviours in preschool-aged children / J. Liao, S. Yang, W. Xia [et al.] – Текст : непосредственный // International Journal of Epidemiology. – 2021. – Vol. 49. – № 3. – P. 944-953.

48. Effects of explosion puffing on surimi-starch blends: Structural characteristics, physicochemical properties, and digestibility / D. Wang, W. Han, L. Shi [et al.] – Текст : непосредственный // *Lwt.* – 2023. – Vol. 183. – P. 114902.
49. **Boischoot, C.** Factors that influence the microwave expansion of glassy amylopectin extrudates / C. Boischoot, C. I. Moraru, J. L. Kokini – Текст : непосредственный // *Cereal Chemistry.* – 2003. – Vol. 80(1). – P. 56-61.
50. **Luo, S.** Application of physical blowing agents in extrusion cooking of protein enriched snacks: Effects on product expansion, microstructure, and texture / S. Luo, F. Koxsel – Текст : непосредственный // *Trends in Food Science & Technology.* – 2023. – Vol. 133. – P. 49-64.
51. Effects of extrusion process on Fusarium and Alternaria mycotoxins in whole grain triticale flour / E. Janić Hajnal, J. Babič, L. Pezo [et al.] – Текст : непосредственный // *LWT - Food Science and Technology.* – 2022. – Vol. 155. – P. 112926.
52. **Бузоверов С.Ю.** Использование процесса экструдирования для повышения качества зерновых продуктов / Бузоверов С.Ю. – Текст : непосредственный // *International Journal of Humanities and Natural Sciences.* – 2019. – Т. 8-2. – С. 9-12.
53. Extrusion processing: A strategy for improving the functional components, physicochemical properties, and health benefits of whole grains / C. Yi, N. Qiang, H. Zhu [и др.] – Текст : непосредственный // *Food Research International.* – 2022. – Vol. 160. – P. 111681.
54. Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee / J. Bravo, C. Monente, I. Juárez [et al.] – Текст : непосредственный // *Food Research International.* – 2013. – Vol. 50. – № 2. – P. 610-616.
55. **Singh, B.** Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice / B. Singh, K. S. Sekhon, N. Singh – Текст : непосредственный // *Food Chemistry.* – 2007. – Vol. 100. – № 1. – P. 198-202.
56. Quality properties of puffed corn snacks incorporated with sesame seed

powder / F. Hashempour-Baltork, M. Torbati, S. Azadmard-Damirchi, G. P. Savage – Текст : непосредственный // Food Science and Nutrition. – 2018. – Vol. 6(1). – P. 85-93.

57. **Куропаткина, О.В.** Интенсивная инфракрасная обработка при производстве пшеничных хлопьев, готовых к употреблению / В. В. Куропаткина, О.В., Андреева, А.А., Кирдяшкин – Текст : непосредственный // Пищевая промышленность. – 2014. – Т. 6. – С. 38-40.

58. Effect of hybrid drying method on physical, textural and antioxidant properties of pumpkin chips / Ö. Köprüalan, Ö. Altay, A. Bodruk, F. Kaymak-Ertekin – Текст : непосредственный // Journal of Food Measurement and Characterization. – 2021. – Vol. 15. – P. 2995-3004.

59. The role of emerging technologies in the dehydration of berries: Quality, bioactive compounds, and shelf life / M. Pateiro, M. Vargas-Ramella, D. Franco [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry: X. – 2022. – Vol. 16. – P. 100465.

60. Modification of Cell Wall Polysaccharides during Drying Process Affects Texture Properties of Apple Chips / M. Xiao, J. Yi, J. Bi [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Food Quality. – 2018. – Vol. 2018. – P. 4510242.

61. Recent advancements and applications of explosion puffing / R. Kaur, A. Kumar, V. Kumar [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2023. – Vol. 403. – P. 134452.

62. Comparison of flavonoids, phenolic acids, and antioxidant activity of explosion-puffed and sun-dried jujubes (*Ziziphus jujuba* Mill.) / L. J. Du, Q. H. Gao, X. L. Ji [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2013. – Vol. 61(48). – P. 11840-11847.

63. Functional foods development: Trends and technologies / E. Betoret, N. Betoret, D. Vidal, P. Fito – Текст : непосредственный // Trends in Food Science and Technology. – 2011. – Vol. 22. – № 9. – P. 498-508.

64. Promoting the use of locally produced crops in making cereal-legume-based composite flours: An assessment of nutrient, antinutrient, mineral molar ratios,

and aflatoxin content / P. Udomkun, C. Tirawattanawanich, J. Ilukor [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2019. – Vol. 286. – P. 651-658.

65. Effect of extrusion on the physicochemical and antioxidant properties of value added snacks from whole wheat (*Triticum aestivum* L.) flour / N. A. Bhat, I. A. Wani, A. M. Hamdani, A. Gani – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2019. – Vol. 276. – P. 22-32.

66. **Frimpong, T. G.** Development and Sensory Assessment of Ready-to-Eat Breakfast Cereal / T. G. Frimpong, F. D. Wireko-Manu, I. Oduro – Текст : непосредственный // International Journal of Food Science. – 2022. – Vol. 2022. – P. 4566482.

67. Breakfast cereals from whole grain and Indian horse chestnut flours obtained through extrusion: Physical, mechanical and functional characteristics / F. M. Allai, Z. R. A. A. Azad, B. N. Dar [et al.] – Текст : непосредственный // Applied Food Research. – 2022. – Vol. 2(2). – P. 100137.

68. Effect Of Different Antioxidants And Packaging Materials On The Storage Stability Of Breakfast Cereals / M. S. Butt, A. Ali, I. Pasha [et al.] – Текст : непосредственный // Journal Of Food Safety. – 2003. – Vol. 2. – № 1. – P. 1-5.

69. Effect of die configuration on the physico-chemical properties, anti-nutritional compounds, and sensory features of legume-based extruded snacks / M. Costantini, M. Sabovics, R. Galoburda [et al.] – Текст : непосредственный // Foods. – 2021. – Vol. 10. – P. 3015.

70. Antioxidant activity and sensory evaluation of crispy salted snacks fortified with bamboo shoot rich in bioactive compounds / O. Santosh, H. K. Bajwa, M. S. Bisht, N. Chongtham – Текст : непосредственный // Applied Food Research. – 2021. – Vol. 1. – № 2. – P. 100018.

71. **Solís-Morales, D.** Attrition reduction and quality improvement of coated puffed wheat by fluidised bed technology / D. Solís-Morales, C. M. Sáenz-Hernández, E. Ortega-Rivas – Текст : непосредственный // Journal of Food Engineering. – 2009. – Vol. 93. – № 2. – P. 236-241.

72. Investigation of natural food fortificants for improving various properties

of fortified foods: A review / S. Vishwakarma, C. Genu Dalbhat, S. Mandliya, H. Niwas Mishra – Текст : непосредственный // Food Research International. – 2022. – Vol. 156. – P. 111186.

73. Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour / C. Sarawong, R. Schoenlechner, K. Sekiguchi [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2014. – Vol. 143. – P. 33-39.

74. **Suknark, K.** Physical properties of directly expanded extrudates formulated from partially defatted peanut flour and different types of starch / K. Suknark, R. D. Phillips, M. S. Chinnan – Текст : непосредственный // Food Research International. – 1997. – Vol. 30. – № 8. – P. 575-583.

75. **Potter, R.** The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children's diets / R. Potter, V. Stojceska, A. Plunkett – Текст : непосредственный // LWT - Food Science and Technology. – 2013. – Vol. 51(2). – P. 537-544.

76. **Dehghan-Shoar, Z.** The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene / Z. Dehghan-Shoar, A. K. Hardacre, C. S. Brennan – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2010. – Vol. 123(4). – P. 1117-1122.

77. Optimization of pumpkin and feed moisture content to produce healthy pumpkin-germinated brown rice extruded snacks / P. Promsakha na Sakon Nakhon, K. Jangchud, A. Jangchud, C. Charunuch – Текст : непосредственный // Agriculture and Natural Resources. – 2018. – Vol. 52(6). – P. 550-556.

78. Puffing as a novel process to enhance the antioxidant and anti-inflammatory properties of *Curcuma longa* L. (turmeric) / Y. Choi, I. Ban, H. Lee [et al.] – Текст : непосредственный // Antioxidants. – 2019. – Vol. 8. – № 11. – P. 2-4.

79. **Gribova, N.** Development of a scientifically-based formulation and technology of enriched cereal porridge / N. . Gribova, L. G. Eliseeva – Текст : непосредственный // Vestnik VGUIT. – 2021. – Vol. №3 Vol. 83. – P. 135-140.

80. **Бекбулатова, Е.В.** Выпуск зерновых продуктов для завтрака не требующих варки / Бекбулатова Е.В., Тадаева Е.В. – Текст : электронный //

Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – 2020. – Т. 12 (81). – С. 74-76. – URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/vypusk-zernovyh-produktov-dlya-zavtraka-ne-trebuyuschih-varki> (дата обращения: 06.02.2024).

81. **Obatolu, V.** Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture / V. Obatolu, O. Olusola, E. A. Adebowale – Текст : непосредственный // Journal of Food Process Engineering. – 2006. – Vol. 29(2). – P. 149-161.

82. **Nwabueze, T. U.** Effect of process variables on trypsin inhibitor activity (TIA), phytic acid and tannin content of extruded African breadfruit–corn–soy mixtures: A response surface analysis / T. U. Nwabueze – Текст : непосредственный // LWT - Food Science and Technology. – 2007. – Vol. 40. – № 1. – P. 21-29.

83. Formula optimization and storage stability of extruded puffed corn-shrimp snacks / A. R. Shaviklo, M. Azaribeh, Y. Moradi, P. Zangeneh – Текст : непосредственный // LWT - Food Science and Technology. – 2015. – Vol. 63. – № 1. – P. 307-314.

84. Extruded puffed functional ingredient with oat bran and soy flour / L. P. Lobato, D. Anibal, M. M. Lazaretti, M. V. E. Grossmann – Текст : непосредственный // LWT - Food Science and Technology. – 2011. – Vol. 44. – № 4. – P. 933-939.

85. **Alves, R. M. L.** Parâmetros de extrusão para produção de «snacks» de farinha de cará (*Dioscorea alata*) / R. M. L. Alves, M. V. E. Grossmann – Текст : непосредственный // Ciência e Tecnologia de Alimentos. – 2002. – Vol. 22. – № 1. – P. 32-38.

86. Vitamin retention in extruded food products / N. Athar, A. Hardacre, G. Taylor [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Food Composition and Analysis. – 2006. – Vol. 19. – № 4. – P. 379-383.

87. **Lohani, U. C.** Effect of Extrusion Processing Parameters on Antioxidant, Textural and Functional Properties of Hydrodynamic Cavitated Corn Flour, Sorghum Flour and Apple Pomace-Based Extrudates / U. C. Lohani, K. Muthukumarappan – Текст : непосредственный // Journal of Food Process Engineering. – 2017. – Vol. 40.

– № 3. – P. e12424.

88. **Dar, A. H.** Effect of frying time and temperature on the functional properties of carrot pomace, pulse powder and rice flour-based extrudates. / A. H. Dar, H. K. Sharma, N. Kumar – Текст : непосредственный // International Journal of Food Engineering. – 2014. – Vol. 10(1). – P. 139-147.

89. Carrot pomace enhances the expansion and nutritional quality of corn starch extrudates / N. Kaisangsri, R. J. Kowalski, I. Wijesekara [et al.] – Текст : непосредственный // LWT - Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 68. – P. 391-399.

90. Impacts of the particle sizes and levels of inclusions of cherry pomace on the physical and structural properties of direct expanded corn starch / S. Wang, R. J. Kowalski, Y. Kang [et al.] – Текст : непосредственный // Food and Bioprocess Technology. – 2017. – Vol. 10. – P. 394-406.

91. Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. / S. Korkerd, S. Wanlapa, C. Puttanlek [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 53. – P. 561-570.

92. Correlations between the physical properties and chemical bonds of extruded corn starch enriched with whey protein concentrate / C. Yu, J. Liu, X. Tang [et al.] – Текст : непосредственный // RSC Advances. – 2017. – Vol. 7(20). – P. 11979-11986.

93. Quality and nutritional properties of corn snacks enriched with nanofiltered whey powder / A. Makowska, D. Cais-Sokolińska, A. Waśkiewicz [et al.] – Текст : непосредственный // Czech Journal of Food Sciences. – 2016. – Vol. 34(2). – P. 154-159.

94. **Yadav, D. N.** Co-extrusion of pearl millet-whey protein concentrate for expanded snacks / D. N. Yadav, T. Anand-Navnidhi, A. K. Singh – Текст : непосредственный // International Journal of Food Science and Technology. – 2014. – Vol. 49. – № 3. – P. 840-846.

95. Sustainable utilization of dairy waste paneer whey by *Pediococcus*

pentosaceus NCDC 273 for lactic acid production / S. K. Verma, D. Iram, M. S. Sansi [и др.] – Текст : непосредственный // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. – 2023. – Vol. 47. – P. 102588.

96. **Zandona, E.** Whey utilisation: Sustainable uses and environmental approach / E. Zandona, M. Blažić, A. Režek Jambrak – Текст : непосредственный // Food Technology and Biotechnology. – 2021. – Vol. 59. – № 2. – P. 147-161.

97. Application of bioprocessing techniques (sourdough fermentation and technological aids) for brewer's spent grain breads / A. Ktenioudaki, L. Alvarez-Jubete, T. J. Smyth [et al.] – Текст : непосредственный // Food Research International. – 2015. – Vol. 73. – P. 107-116.

98. **Aung, T.** Optimized Roasting Conditions of Germinated Wheat for a Novel Cereal Beverage and Its Sensory Properties / T. Aung, B. R. Kim, M. J. Kim – Текст : непосредственный // Foods. – 2022. – Vol. 11. – № 3. – P. 1-13.

99. Optimisation of puffing naked barley / K. Hoke, M. Houška, J. Průchová [и др.] – Текст : непосредственный // Journal of Food Engineering. – 2007. – Vol. 80(4). – P. 1016-1022.

100. Effect of extrusion processing on the soluble and insoluble fiber, and phytic acid contents of cereal brans / D. G. Gualberto, C. J. Bergman, M. Kazemzadeh, C. W. Weber – Текст : непосредственный // Plant Foods for Human Nutrition. – 1997. – Vol. 51. – № 3. – P. 187-198.

101. Puffing of *Rehmannia glutinosa* enhances anti-oxidant capacity and down-regulates IL-6 production in RAW 264.7 cells / Y. Kwon, S. Yu, G. S. Choi [et al.] – Текст : непосредственный // Food Science and Biotechnology. – 2019. – Vol. 28. – № 4. – P. 1235-1240.

102. Puffing, a novel coffee bean processing technique for the enhancement of extract yield and antioxidant capacity / W. Kim, S.-Y. Kim, D.-O. Kim [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2018. – Vol. 240. – P. 594-600.

103. Effects of moisture content and puffing pressure on extraction yield and antioxidant activity of puffed 21-year-old *Platycodon grandiflorum* roots / A. Y. Kim, W. Kim, D. O. Kim [et al.] / – Текст : непосредственный // Food Science and

Biotechnology. – 2015. – Vol. 24. – № 4. – P. 1293-1299.

104. Effects of Popping on the Endosperm Cell Walls of Sorghum and Maize / M. L. Parker, A. Grant, N. M. Rigby [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Cereal Science. – 1999. – Vol. 30(3). – P. 209-216.

105. **Farahnaky, A.** Popping properties of corn grains of two different varieties at different moistures / A. Farahnaky, M. Alipour, M. Majzoobi – Текст : непосредственный // Journal of Agricultural Science and Technology. – 2013. – Vol. 15. – P. 771-780.

106. **Hidalgo, A.** Technological quality and chemical composition of puffed grains from einkorn (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*) and bread wheat (*Triticum aestivum* L. subsp. *aestivum*) / A. Hidalgo, S. Scuppa, A. Brandolini – Текст : непосредственный // Lwt. – 2016. – Vol. 68. – P. 541-548.

107. **Lineback, D. R.** Acrylamide in foods: A review of the science and future considerations / D. R. Lineback, J. R. Coughlin, R. H. Stadler – Текст : непосредственный // Annual Review of Food Science and Technology. – 2012. – Vol. 3. – № 1. – P. 15-35.

108. IARC (International Agency for Research on Cancer) Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, International Agency for Research on Cancer, World Health Organization. Some naturally occurring substances: food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins. – Текст : электронный // World Health Organization : официальный сайт. – 1993. – P. 397-444 – URL: <https://monographs.iarc.who.int> (дата обращения: 24.04.2023).

109. Journal of Food Composition and Analysis Influence of infant cereal formulation on phenolic compounds and formation of Maillard reaction products / V. Verardo, T. R. Moreno-Trujillo, M. Fiorenza [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Food Composition and Analysis. – 2021. – Vol. 104. – P. 104187.

110. Occurrence of acrylamide, hydroxymethylfurfural and furaldehyde as process contaminants in traditional breakfast cereals: “Bsissa” / T. Ghazouani, A. Atzei, W. Talbi [et al.] – Текст : непосредственный // Food Control. – 2021. – Vol. 124. – P. 107931.

111. Recent advances in processing technology to reduce 5-hydroxymethylfurfural in foods / C. H. Lee, K. T. Chen, J. A. Lin [et al.] – Текст : непосредственный // Trends in Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 93. – P. 271-280.

112. **Rufián-Henares, J. A.** Effect of digestive process on Maillard reaction indexes and antioxidant properties of breakfast cereals / J. A. Rufián-Henares, C. Delgado-Andrade – Текст : непосредственный // Food Research International. – 2009. – Vol. 42. – № 3. – P. 394-400.

113. **Ramírez-Jiménez, A.** Hydroxymethylfurfural and methylfurfural content of selected bakery products / A. Ramírez-Jiménez, B. García-Villanova, E. Guerra-Hernández – Текст : непосредственный // Food Research International. – 2000. – Vol. 33. – № 10. – P. 833-838.

114. Critical conditions accelerating the deterioration of fresh noodles: A study on temperature, pH, water content, and water activity / M. Li, M. Ma, K. X. Zhu [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Food Processing and Preservation. – 2017. – Vol. 41. – № 4. – P. 1-7.

115. Improvement in storage stability of lightly milled rice using superheated steam processing / J. Wu, D. J. McClements, J. Chen [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Cereal Science. – 2016. – Vol. 71. – P. 130-137.

116. **Tananuwong, K.** Changes in volatile aroma compounds of organic fragrant rice during storage under different conditions / K. Tananuwong, S. Lertsiri – Текст : непосредственный // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2010. – Vol. 90 (10). – P. 1590-1596.

117. **Yılmaz, F.** Stabilization of immature rice grain using infrared radiation / F. Yılmaz, N. Yılmaz Tuncel, N. B. Tuncel – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2018. – Vol. 253. – P. 269-276.

118. Quantitative analysis of fatty acid value during rice storage based on olfactory visualization sensor technology / H. Jiang, T. Liu, P. He, Q. Chen – Текст : непосредственный // Sensors and Actuators, B: Chemical. – 2020. – Vol. 309. – P. 127816.

119. Lipid oxidation of brown rice stored at different temperatures / K. Liu, Y. Li, F. Chen, F. Yong – Текст : непосредственный // International Journal of Food Science & Technology. – 2017. – Vol. 52. – № 1. – P. 188-195.
120. **Ohtsubo, K.** Quality control: Chemical components and analysis thereof / K. Ohtsubo – Текст : непосредственный // Rice post-harvest technology / ред. S. Chikubu. – Tokyo : The AEC Corporation, 1995. – P. 450-469.
121. **Hrušková, M.** Changes of wheat flour properties during short term storage / M. Hrušková, D. Machová – Текст : непосредственный // Czech Journal of Food Sciences. – 2002. – Vol. 20. – № 4. – P. 125-130.
122. **Jiang, H.** Dynamic monitoring of fatty acid value in rice storage based on a portable near-infrared spectroscopy system / H. Jiang, T. Liu, Q. Chen – Текст : непосредственный // Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. – 2020. – Vol. 240. – P. 118620.
123. Shelf life characteristics of bread produced from ozonated wheat flour / M. Obadi, K. X. Zhu, W. Peng [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Texture Studies. – 2018. – Vol. 49. – № 5. – P. 492-502.
124. Development of a low-moisture-content storage system for brown rice: Storability at decreased moisture contents / T. Genkawa, T. Uchino, A. Inoue [et al.] – Текст : непосредственный // Biosystems Engineering. – 2008. – Vol. 99(4). – P. 515-522.
125. Valorization of natural colors as health-promoting bioactive compounds: Phytochemical profile, extraction techniques, and pharmacological perspectives / M. Manzoor, J. Singh, A. Gani, N. Noor – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2021. – Vol. 362. – P. 130141.
126. **AACC 44-15A.** Moisture – air – oven methods. Approved methods of the American Association of cereal chemists. St. Paul / AACC 44-15A // Official Methods of Analysis of AOAC International. – Arlington, VA, VA, 2000. – Текст : непосредственный.
127. **ГОСТ Р 52466-2005.** Зерно и продукты его переработки. Метод определения кислотного числа : национальный стандарт Российской Федерации

: издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2005 г. № 484-ст : введен впервые : дата переиздания апрель 2010 г. / разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом зерна и продуктов его переработки Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВНИИЗ Россельхозакадемии). – Москва : Стандартинформ, 2010 – V, 8,105 с. ; 29 см. – экз. – Текст : непосредственный.

128. **Smith, J.** Development of an extruded snack product from the legume *Vicia faba minor* / J. Smith, A. Hardacre – Текст : непосредственный // *Procedia Food Science*. – 2011. – Vol. 1. – P. 1573-1580.

129. Effects of extrusion conditions and nitrogen injection on physical, mechanical, and microstructural properties of red lentil puffed snacks / S. Luo, E. Chan, M. T. Masatcioglu [et al.] – Текст : непосредственный // *Food and Bioproducts Processing*. – 2020. – Vol. 121. – P. 143-153.

130. Effect of Blanching on the Quality of Microwave Vacuum Dried Dill (*Anethum graveolens* L.) / E. Straumite, Z. Kruma, R. Galoburda, K. Saulite – Текст : непосредственный // *World Academy of Science, Engineering and Technology*. – 2012. – Vol. 64(4). – P. 756-762.

131. **Bajaj, S. R.** Effect of extrusion processing and hydrocolloids on the stability of added vitamin B12 and physico-functional properties of the fortified puffed extrudates / S. R. Bajaj, R. S. Singhal – Текст : непосредственный // *LWT - Food Science and Technology*. – 2019. – Vol. 101. – P. 32-39.

132. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks / Q.-B. Ding, P. Ainsworth, G. Tucker, H. Marson – Текст : непосредственный // *Journal of Food Engineering*. – 2005. – Vol. 66. – № 3. – P. 283-289.

133. **Janve, M.** Fortification of puffed rice extrudates and rice noodles with different calcium salts: Physicochemical properties and calcium bioaccessibility / M. Janve, R. S. Singhal – Текст : непосредственный // *LWT - Food Science and Technology*. – 2018. – Vol. 97. – P. 67-75.

134. **AOAC 992.23.** Crude protein in cereal grains and oil seeds / AOAC 992.23 // Official Methods of Analysis of AOAC International. – Arlington, VA, VA, 2019. – Текст : непосредственный.

135. **AOAC 2003.05.** Crude fat in feeds, cereal grains, and forages / AOAC 2003.05 // Official Methods of Analysis of AOAC International. – Arlington, VA, VA : AOAC International, 2006. – P. 40-42. – Текст : непосредственный.

136. **AOAC 923.03-1923.** Ash of flour. Direct method / AOAC 923.03-1923 // Official Methods of Analysis of AOAC International. – 2019. – Текст : непосредственный.

137. **М-04-38-2009.** Корма, комбикорма и сырье для их производства. Методика измерений массовой доли аминокислот методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель» С-Пб.: ООО «Люмэкс» / М-04-38-2009. – 2009. – Текст : непосредственный.

138. An environmentally friendly approach for the release of essential fatty acids from cereal by-products using cellulose-degrading enzymes / V. Radenkovs, K. Juhnevica-Radenkova, J. Kviesis, A. Valdovska – Текст : непосредственный // Biology. – 2022. – Vol. 11. – P. 721.

139. **М-04-41-2005:** Методика выполнения измерений массовой доли свободных форм водорастворимых витаминов в пробах премиксов, витаминных добавок, концентратов и смесей методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель-105».- С-Пб.: / М-04-41-2005: – ООО «Люмэкс, 2005. – Текст : непосредственный.

140. Dynamics of volatile compounds in triticale bread with sourdough: From flour to bread / R. Galoburda, E. Straumite, M. Sabovics, Z. Kruma – Текст : непосредственный // Foods. – 2020. – Vol. 9(12). – P. 1837.

141. **Tomsone, L.** Comparison of different solvents for isolation of phenolic compounds from horseradish (*Armoracia rusticana* L.) leaves / L. Tomsone, Z. Kruma – Текст : непосредственный // Research for Rural Development. – Jelgava : Latvia University of Agriculture, 2013. – Vol. 1. – P. 104-110.

142. Optimisation, characterisation and quantification of phenolic compounds in olive cake / M. H. Alu'datt, I. Alli, K. Ereifej [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2010. – Vol. 123. – № 1. – P. 117-122.

143. Contents, profiles and bioactive properties of free and bound phenolics extracted from selected fruits of the Oleaceae and Solanaceae families / M. H. Alu'datt, T. Rababah, M. N. Alhamad [et al.] – Текст : непосредственный // Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 109. – № 0023-6438. – P. 367-377.

144. **Singleton, V. L.** Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent / V. L. Singleton, R. Orthofer, R. M. Lamuela-Raventós – Текст : непосредственный // Methods in Enzymology. – 1999. – Vol. 29. – P. 152-178.

145. Antioxidant properties of bran extracts from Akron wheat grown at different locations / H. S. Yu L., Haley S. [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2003. – Vol. 51. – P. 1566-1570.

146. **Kim, D.** Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums / D. Kim, S. Weon, C. Y. Lee – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2003. – Vol. 81. – P. 321-326.

147. **Athukorala, Y.** Antiproliferative and antioxidant properties of an enzymatic hydrolysate from brown alga, Ecklonia cava / Y. Athukorala, K. Kim, Y. Jeon – Текст : непосредственный // Food and Chemical Toxicology. – 2006. – Vol. 44. – P. 1065-1074.

148. **Keke, A.** Changes in  $\alpha$ -amylase activity in honey during the freeze-drying process / A. Keke, I. Cinkmanis – Текст : непосредственный // Agronomy Research. – 2020. – Vol. 18(SI3). – P. 1717-1726.

149. **ГОСТ 33824-2016.** Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения содержания токсичных элементов ( кадмия , свинца , меди и цинка ) : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 сентября 2016 г. № 1146-ст : введен впервые : дата введения 2017-07-01 /

разработан Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ). – Москва : Стандартинформ, 2016. – V, 25 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.

150. **ГОСТ 26930-86.** Сырье и продукты. Метод определения мышьяка : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 25 июня 1986 г. № 1772 : переиздан : дата введения март 2010 / разработан Министерством здравоохранения СССР и Государственной комиссией Совета Министров СССР по продовольствия и закупкам. – Москва : Стандартинформ, 2010. – V, 7 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.

151. **ГОСТ 26927-86.** Сырье и продукты пищевые. Методы определения ртути: межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 25 июня 1986 г. № 1755 : переиздан : дата введения март 2010 / разработан и внесен Министерством здравоохранения СССР и Государственной комиссией Совета Министров СССР по продовольствию и закупкам. – Москва: Стандартинформ, 2010. – V, 12 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.152.

**ГОСТ 10444.15-94.** Продукты пищевые. Микроорганизмов, Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 21 февраля 1995 г. № 77: переиздан : дата введения апрель 2010 / разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом консервной и овощесушильной промышленности (ВНИИКОП) и Техническим комитетом по стандартизации ТК 93 «Продукты переработки плодов и овощей». – Москва : Стандартинформ, 2010. – V, 5 с. ; 29 см. – 448 экз. – Текст : непосредственный.

153. **ГОСТ Р 50474-93.** Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных

бактерий) : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 25.01.93 № 18 : введен в первые : дата введения 1997-02-15 / разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом консервной и овощесушильной промышленности (ВНИИКОП) и Техническим комитетом по стандартизации ТК 93 «Продукты переработки плодов и овощей». – Москва : Госстандарт России, 1993. – V, 10 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.

154. **ГОСТ 10444.12-88.** Продукты пищевые. Метод определения дрожжей и плесневых грибов : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Государственным агропромышленным комитетом СССР по стандартам от 21.09.88 № 3208 : переиздан: дата введения апрель 2010 / разработан Государственным агропромышленным комитетом СССР. – Москва: Стандартиформ, 2010. – V, 7 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.

155. **ГОСТ Р 50480-93.** Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella* межгосударственный стандарт : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 26.12.93 № 24 : введены впервые : дата введения 1993-09-15. / разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом консервной и овощесушильной промышленности (ВНИИКОП) и Техническим комитетом по стандартизации ТК 93 «Продукты переработки плодов и овощей». – Москва : Госстандарт России, 1993. – V, 15 с. ; 29 см. – 1157 экз. – Текст : непосредственный.

156. **ISO 8587:2006.** Sensory analysis — Methodology / ISO 8587:2006. – 2002. – Текст : непосредственный.

157. Puffed and Non-Puffed Cereals / R. R. Hayat Bourekoua, Fairouz Djeghim [et al.] – Текст : непосредственный // Processes. – 2023. – Vol. 11. – С. 1-20.

158. **ISO 8586:2023.** Sensory analysis – General guidance for the selection, training and monitoring of assessors / ISO 8586:2023. – 2023. – Текст : непосредственный.

159. **Элеманова, Р. Ш.** Научно-практические основы производства ферментированных молочно-сывороточных напитков в комбинации с зерновыми злаками. / Р. Ш. Элеманова, М. М. Мусульманова. – Б. : Технопарк, 2019. – 122 с. – Текст : непосредственный.

160. **Остапчук, Н. В.** Основы математического моделирования процессов пищевых производств: Учеб. пособие. \_ 2-е изд., перераб. и доп. / Н. В. Остапчук; ред. Л. П. Никитина. – К.: Высш. шк., 1991. – 367 с. ISBN 5-11-002494-4 – Текст : непосредственный.

161. **Налимов, В. В.** Статистические методы планирования экспериментальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. – Москва : «Наука», 1965. – 340 с. – Библиогр.: с. 12–54. – 10000 экз. – Текст : непосредственный.

162. **Панфилов, В. А.** Оптимизация технологических систем кондитерского производства / В. А. Панфилов. – Москва : Пищевая пром-сть, 1980. – 248 с. – Текст : непосредственный.

163. **Маркова, Е. В.** Математическое планирование химического эксперимента (новое в жизни, науке и технике). / Маркова Е.В., Рохваргер А. Н. – Москва : Знание, 1971. – 162 с. – Библиогр.: с. 20–29. – 62500 экз. – Текст : непосредственный.

164. **BeMiller, J. N.** Carbohydrate Chemistry for Food Scientists (second ed.). / BeMiller J. N. – AACCC International, St. Paul, MN, 2007. – 321-346 p. – Текст : непосредственный.

165. Comparison of the molecular properties and volatile compounds of Maillard reaction products derived from animal- and cereal-based protein hydrolysates / J. Hong, M. Ting, Y. Yeo [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2022. – Vol. 383. – P. 132609.

166. Temperature effect on the non-volatile compounds of Maillard reaction products derived from xylose – soybean peptide system : Further insights into thermal degradation and cross-linking / X. Lan, P. Liu, S. Xia [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2010. – Vol. 120(4). – P. 967-972.

167. **Cömert, E. D.** Evolution of food antioxidants as a core topic of food science for a century / E. D. Cömert, V. Gökmen – Текст : непосредственный // Food Research International. – 2018. – Vol. 105. – P. 76-93.

168. Bioaccessibility and transformation pathways of phenolic compounds in processed mulberry (*Morus alba* L.) leaves after in vitro gastrointestinal digestion and faecal fermentation / Y. Yu, B. Zhang, Y. Xia [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Functional Foods. – 2019. – Vol. 60. – P. 103406.

169. Effects of different thermal processing methods on bioactive components, phenolic compounds, and antioxidant activities of Qingke (highland hull-less barley) / Q. Hong, G. Chen, Z. Wang [et al.] – Текст : непосредственный // Food Science and Human Wellness. – 2022. – Vol. 12. – № 1. – P. 119-129.

170. **Aprodu, I.** Antioxidant properties of wheat mill streams / I. Aprodu, I. Banu – Текст : непосредственный // Journal of Cereal Science. – 2012. – Vol. 56. – № 2. – P. 189-195.

171. Comparative volatiles, amino acids, and phenolic compounds and characteristics of roasted germinated wheat (*Triticum aestivum* L.) during beverage preparation / T. Aung, B. R. Kim, S. Kim [et al.] – Текст : непосредственный // Lwt. – 2023. – Vol. 173. – P. 114412.

172. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / И. М. Скурихин, В. А. Тутельян; под редакцией И. М. Скурухина. – Москва : ДеЛи принт, 2002. – 236 с. – Библиогр.: с. 110–124. – 10000 экз. – ISBN 5-94343-028-8. – Текст : непосредственный.

173. In vitro starch digestibility, edible quality and microstructure of instant rice noodles enriched with rice bran insoluble dietary fiber / T. Liu, K. Wang, W. Xue [et al.] – Текст : непосредственный // LWT - Food Science and Technology. – 2021. – Vol. 142. – P. 111008.

174. Effect of twin-xuscrow extrusion combined with cold plasma on multi-scale structure, physicochemical properties, and digestibility of potato starches / X. Sun, Z. Sun, Y. Guo [et al.] – Текст : непосредственный // Innovative Food Science and Emerging Technologies. – 2021. – Vol. 74. – P. 102855.

175. Changes in volatile compound profiles of cold-pressed berry seed oils induced by roasting / S. Mildner-Szkudlarz, M. Róžańska, A. Gaca, H. H. Jeleń – Текст : непосредственный // LWT - Food Science and Technology. – 2021. – Vol. 148. – P. 111718.

176. Study on volatile markers of pasta quality using GC-MS and a peptide based gas sensor array / S. Gaggiotti, B. Shkempi, G. Sacchetti, D. Compagnone – Текст : непосредственный // LWT - Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 114. – P. 108364.

177. Metabolic profiling and analysis of volatile composition of durum wheat semolina and pasta / R. Beleggia, C. Platani, G. Spano [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Cereal Science. – 2009. – Vol. 49. – № 2. – P. 301-309.

178. **Kim, J.-S.** The Effect of pH on the formation of furfural compounds in the glucose and fructose with amino acid enantiomers in Maillard reaction / J.-S. Kim, Y.-S. Lee – Текст : непосредственный // Journal of Food Science and Nutrition. – 2008. – Vol. 13. – P. 54-59.

179. Determination of volatile compounds in heat-treated straight-grade flours from normal and waxy wheats / J. Xu, W. Zhang, K. Adhikari, Y. Shi – Текст : непосредственный // Journal of Cereal Science. – 2017. – Vol. 75. – P. 77-83.

180. Sensory characteristics of wholegrain and bran-rich cereal foods - A review / R. L. Heiniö, M. W. J. Noort, K. Katina [et al.] – Текст : непосредственный // Trends in Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 47. – P. 25-38.

181. **Pizarro, F.** Volatile Organic Compounds at Early Stages of Sourdough Preparation Via Static Headspace and GC / MS Analysis / F. Pizarro, F. Franco – Текст : непосредственный // Current Research in Nutrition and Food Science. – 2017. – Vol. 05. – № 2. – P. 89-99.

182. Effect of extrusion on phenolics from Jizi439 black wheat bran: The profile, structure, and bioactivities / X. Chen, W. Tang, X. Li [et al.] – Текст : непосредственный // LWT - Food Science and Technology. – 2023. – Vol. 177. – P. 114369.

183. **Ryan, L.** Oat-based breakfast cereals are a rich source of polyphenols and high in antioxidant potential / L. Ryan, P. S. Thondre, C. J. K. Henry – Текст : непосредственный // Journal of Food Composition and Analysis. – 2011. – Vol. 24(7). – P. 929-934.

184. **Willcox, J. K.** Antioxidants and prevention of chronic disease / J. K. Willcox, S. L. Ash, G. L. Catignani – Текст : непосредственный // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2004. – Vol. 44(4). – P. 275-295.

185. Sensory attributes and antioxidant capacity of Maillard reaction products derived from xylose, cysteine and sunflower protein hydrolysate model system / K. Eric, L. Virginie, M. Huang [et al.] – Текст : непосредственный // FRIN. – 2013. – Vol. 54. – № 2. – P. 1437-1447.

186. **Sun, L.** Characterization of the Maillard Reaction of Enzyme-Hydrolyzed Wheat Protein Producing Meaty Aromas / L. Sun, Y. Zhuang – Текст : непосредственный // Food and Bioprocess Technology. – 2012. – Vol. 5(4). – P. 1287-1294.

187. **Gujral, H. S.** Effect of sand roasting on beta glucan extractability, physicochemical and antioxidant properties of oats / H. S. Gujral, P. Sharma, S. Rachna – Текст : непосредственный // LWT - Food Science and Technology. – 2011. – Vol. 44(10). – P. 2223-2230.

188. **Omwamba, M.** Antioxidant activity in barley (*Hordeum vulgare* L.) grains roasted in a microwave oven under conditions optimized using response surface methodology. / M. Omwamba, Q. Hu – Текст : непосредственный // Journal of food science. – 2010. – Vol. 75(1). – P. 66-73.

189. **Capuano, E.** Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies / E. Capuano, V. Fogliano – Текст : непосредственный // Lwt. – 2011. – Vol. 44(4). – P. 793-810.

190. Heat damage and in vitro starch digestibility of puffed wheat kernels / S. Cattaneo, A. Hidalgo, F. Masotti [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2015. – Vol. 188. – P. 286-293.

191. Reassessment of acrylamide content in breakfast cereals. Evolution of the

Spanish market from 2006 to 2018 / M. Mesías, L. Sáez-Escudero, F. J. Morales, C. Delgado-Andrade – Текст : непосредственный // Food Control. – 2019. – Vol. 105. – P. 94-101.

192. Investigation and determination of acrylamide in the main group of cereal products using advanced microextraction method coupled with gas chromatography-mass spectrometry / A. Nematollahi, M. Kamankesh, H. Hosseini [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Cereal Science. – 2019. – Vol. 87. – P. 157-164.

193. 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health / U. M. Shapla, M. Solayman, N. Alam [et al.] – Текст : непосредственный // Chemistry Central Journal. – 2018. – Vol. 12. – № 1. – P. 1-18.

194. Occurrence of furosine and hydroxymethylfurfural in breakfast cereals. evolution of the Spanish market from 2006 to 2018 / M. Mesías, L. Sáez-Escudero, F. J. Morales, C. Delgado-Andrade – Текст : непосредственный // Foods. – 2019. – Vol. 8. – P. 158.

195. European Commission. Commission Regulation (EC) 2017/2158 of 20 November 2017 establishing mitigation measures and benchmark levels for the reduction of the presence of acrylamide in food (Text with EEA relevance.) // Official Journal of the European Union, № L 309 (2017), с. 5-12: официальный сайт. – 2017. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/2158/oj> (дата обращения: 10.04.2023).

196. Vanillin: A food additive with multiple biological activities / A. Olatunde, A. Mohammed, M. A. Ibrahim [et al.] – Текст : непосредственный // European Journal of Medicinal Chemistry Reports. – 2022. – Vol. 5. – P. 100055.

197. Aroma-related cross-modal interactions for sugar reduction in milk desserts: Influence on consumer perception / F. Alcaire, L. Antúnez, L. Vidal [et al.] – Текст : непосредственный // Food Research International. – 2017. – Vol. 97. – P. 45-50.

198. Quantitative characterizations of mOR-EG activated by vanilla odorants using advanced statistical physics modeling / I. Ben Khemis, F. Aouaini, L. Bukhari [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2023. – Vol. 415. –

P. 135782.

199. **Ilyasoglu Buyukkestelli, H.** Enhancing sweetness using double emulsion technology to reduce sugar content in food formulations / H. Ilyasoglu Buyukkestelli, S. N. El – Текст : непосредственный // Innovative Food Science & Emerging Technologies. – 2021. – Vol. 74. – P. 102809.

200. Strategies to reduce sugars in food / R. Di Monaco, N. A. Miele, E. K. Cabisidan, S. Cavella – Текст : непосредственный // Current Opinion in Food Science. – 2018. – Vol. 19. – P. 92-97.

201. WHEY - The waste-stream that became more valuable than the food product / P. Tsermoula, B. Khakimov, J. H. Nielsen, S. B. Engelsen – Текст : непосредственный // Trends in Food Science and Technology. – 2021. – Vol. 118. – P. 230-241.

202. Whey and its Utilization / S. R. Macwan, B. K. Dabhi, S. C. Parmar, K. D. Aparnathi – Текст : непосредственный // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 5. – № 8. – P. 134-155.

203. **Сакибаев, К.Ш.** Разработка технологии сухих завтраков с использованием бобового и орехового сырья / К.Ш. Сакибаев, Г.И. Касьянов, В.И. Шипулин – Текст : непосредственный // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2018. – Т. 1. – № 64. – С. 33-39.

204. Пшеница - строение зерна пшеницы, свойства, состав / Google. : электронное – URL: <http://www.bread2010.narod.ru/pshenica.html> (дата обращения: 10.04.2024).

205. Study of the puffing process of amaranth seeds by dielectric spectroscopy / M. Castro-Giráldez, P. J. Fito, J. M. Prieto [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Food Engineering. – 2012. – Vol. 110. – № 2. – P. 298-304.

206. Total phenolic compounds and antioxidant capacity of wheat graded flours by polishing method / P. Van Hung, T. Maeda, K. Miyatake, N. Morita / – Текст : непосредственный // Food Research International. – 2009. – Vol. 42(1). – P. 185-190.

207. **Zhou, K.** Effects of extraction solvent on wheat bran antioxidant activity estimation / K. Zhou, L. Yu – Текст : непосредственный // Lwt. – 2004. – Vol. 37. –

№ 7. – P. 717-721.

208. **Shahidi, F.** Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review / F. Shahidi, P. Ambigaipalan – Текст : непосредственный // *Journal of Functional Foods*. – 2015. – Vol. 18. – P. 820-897.

209. **Скурухин, И.М.** Химический состав пищевых продуктов: Книга 1: Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов / И.М. Скурухин, М.Н. Волгарева – Москва : ВО «Агропромиздат», 1987. – 224 с. – Текст непосредственный.

210. **Рерó, P.** Amino acid compositions in wheat species with different genomes / P. Рерó, Z. Gyori / – Текст : непосредственный / *Cereal Research Communications*. – 2007. – Vol. 35(4). – P. 1685-1699.

211. **Ustunol, Z.** Overview of Food Proteins / Z. Ustunol. – Текст : непосредственный // *Applied Food Protein Chemistry*. – 2014. – Vol. 9781119944 – P. 5-9.

212. **Shewry, P.** Wheat grain proteins: Past, present, and future / P. Shewry – Текст : непосредственный // *Cereal Chemistry*. – 2023. – Vol. 100. – № 1. – P. 9-22.

213. **Heel, D. A. Van.** Recent advances in coeliac disease / D. A. Van Heel, J. West – Текст : непосредственный // *Gut*. – 2006. – Vol. 55. – № 7. – P. 1037-1046.

214. Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat endosperm proteins / M. C. Gianibelli, O. R. Larroque, F. MacRitchie, C. W. Wrigley – Текст : непосредственный // *American Association of Cereal Chemists, Inc.* – 2001. – № January 2001. – P. 1-20.

215. Physical and sensory characteristics of extruded products made from two oat lines with different  $\beta$ -glucan concentrations / N. Yao, J. L. Jannink, S. Alavi, P. J. White – Текст : непосредственный // *Cereal Chemistry*. – 2006. – Vol. 83. – № 6. – P. 692-699.

216. **Zielinski, H.** Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing / H. Zielinski, H. Kozłowska, B. Lewczuk – Текст : непосредственный // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. – 2001.

– Vol. 2. – № 3. – P. 159-169.

217. Bioactive compounds and antioxidant activity of wheat bran and barley husk in the extracts with different polarity / P. López-Perea, F. A. Guzmán-Ortiz, A. D. Román-Gutiérrez [et al.] – Текст : непосредственный // International Journal of Food Properties. – 2019. – Vol. 22(1). – P. 646-658.

218. Reasonable fertilization improves the conservation tillage benefit for soil water use and yield of rain-fed winter wheat: A case study from the Loess Plateau, China / L. Sun, R. Wang, J. Li [et al.] – Текст : непосредственный // Field Crops Research. – 2019. – Vol. 242. – P. 107589.

219. Current advances in sunflower oil and its applications / R. Garcés, E. Martínez-Force, J. J. Salas, M. Venegas-Calderón – Текст : непосредственный // Lipid Technology. – 2009. – Vol. 21. – № 4. – P. 79-82.

220. **Клейменова, Н. Л.** Исследование функционального состава подсолнечного масла, полученного методом холодного прессования / Н. Л. Клейменова – Текст : непосредственный // Ползуновский Вестник. – 2020. – № 2. – С. 23-26.

221. Sunflower Oil: Efficient Oil Source for Human Consumption / T. G. Khan Sheeba, Choudhary Saumya, Pandey Anamika, Khan Mohd Kamran – Текст : непосредственный // Emer Life Sci Res. – 2015. – Vol. 1. – № 1. – P. 1-3.

222. **Gallage, N. J.** Vanillin-bioconversion and bioengineering of the most popular plant flavor and its de novo biosynthesis in the vanilla orchid / N. J. Gallage, B. L. Møller – Текст : непосредственный // Molecular Plant. – 2015. – Vol. 8. – № 1. – P. 40-57.

223. **Tai, A.** Antioxidant properties of ethyl vanillin in vitro and in vivo / A. Tai, T. Sawano, F. Yazama – Текст : непосредственный // Bioscience, Biotechnology and Biochemistry. – 2011. – Vol. 75. – № 12. – P. 2346-2350.

224. **Dhingra, D.** Evaluation of antidepressant-like activity of glycyrrhizin in mice mice / D. Dhingra, A. Sharma – Текст : непосредственный // Indian J Pharmacol. – 2005. – Vol. 37. – № 6. – P. 390-394.

225. **Fuqua, C., & Greenberg, E. P.** Listening in on bacteria: acyl-homoserine

lactone signalling / E. P. Fuqua, C., & Greenberg – Текст : непосредственный // Nature reviews Molecular cell biology. – 2002. – Vol. 3 (9). – P. 685-695.

226. **Rankin, D.** Dietary protein in an endurance exercise recovery beverage—what is the value of whey. / D. Rankin, A. Darragh – Текст : непосредственный // Proceedings of the 4th International Whey Conference. – Chicago: American Dairy Products Institute., 2006. – P. 36-46.

227. El suero en la elaboración de leches fermentadas / J. Camejo, T. Rodríguez, M. Otero [et al.] – Текст : непосредственный // Alimentaria. – 1999. – Vol. 303. – P. 131-134.

228. **Glass, L.** Nutritional Composition of Sweet- and Acid-type Dry Wheys. II. Vitamin, Mineral, and Calorie Contents / L. Glass, T. I. Hedrick – Текст : непосредственный // Journal of Dairy Science. – 1977. – Vol. 60(2). – P. 190-196.

229. **Glass, L.** Nutritional Composition of Sweet- and Acid-Type Dry Wheys. I. Major Factors Including Amino Acids / L. Glass, T. I. Hedrick – Текст : непосредственный // Journal of Dairy Science. – 1977. – Vol. 60. – № 2. – P. 185-189.

230. Whey and whey powders: Production and uses / Ó. L. Ramos, R. N. C. Pereira, R. M. M. Rodrigues [et al.] – Текст : непосредственный // Encyclopedia of Food and Health. – Elsevier, 2016. – P. 498-505.

231. Whey valorization: current options and future scenario—a critical review / A. Panghal, R. Patidar, S. Jaglan [et al.] – Текст : непосредственный // Nutrition & Food Science. – 2018. – Vol. 48(3). – P. 520-535.

232. Physical and sensory characteristics of pellets elaborated with different levels of corn grits and whey protein concentrate / A. F. Fernandes, R. A. V. Madeira, C. W. P. Carvalho, J. Pereira – Текст : непосредственный // Ciência e Agrotecnologia. – 2016. – Vol. 40. – № 2. – P. 235-243.

233. **Krishnaswamy Gomathi, G.** Evaluation of buckwheat flour addition on the sensory, nutritional and materialistic properties analysis of Indian flat bread / G. Krishnaswamy Gomathi, S. Parameshwari – Текст : непосредственный // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 66. – P. 988-995.

234. **Naes, T.** Creative design—an efficient tool for product development / T. Naes, T. E. Nyvold – Текст : непосредственный // Food Quality and Preference. – 2004. – Vol. 15(2). – P. 97-104.

235. **Молчанова, Е. Н.** Маркетинговое исследование предпочтений потребителей мучных кондитерских изделий / Е. Н. Молчанова, М. Г. Шипарева, М. Г. Карушева – Текст : непосредственный // Кондитерское производство. – 2012. – Т. 5. – С. 28-32.

236. **Молчанова, Е. Н.** Методы органолептического анализа для оценки новых продуктов / Е. Н. Молчанова, М. Г. Шипарева, В. Г. Аитов. – 2013. – 60-62 с. – Текст : непосредственный.

237. Exploring consumer beliefs about fortified foods: A focus group study with UK consumers / R. Embling, L. Neilson, C. Mellor [et al.] / – Текст : непосредственный // Appetite. – 2023. – Vol. 189. – P. 106700.

238. **Wolters, M.** В vitamin status and concentrations of homocysteine and methylmalonic acid in elderly German women<sup>2</sup> / M. Wolters, S. Hermann, A. Hahn – Текст : непосредственный // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2003. – Vol. 78. – № 4. – P. 765-772.

239. **Eyidemir, E.** The effect of apricot kernel flour incorporation on the physicochemical and sensory properties of noodle / E. Eyidemir, M. Hayta – Текст : непосредственный // African Journal of Biotechnology. – 2009. – Vol. 8(1). – P. 085-090.

240. **ТР ТС 021/2011.** Комиссия Таможенного союза. Технический Регламент Таможенного Союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) : [утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880] – 2011. 242 с. – Текст : непосредственный.

241. **Çatak, J.** The effect of in vitro simulated gastrointestinal digestive system on the biodegradation of B group vitamins in bread / J. Çatak, M. N. Gizlici – Текст : непосредственный // Heliyon. – 2022. – Vol. 8. – № 10. – P. e11061.

242. **Кравцова М.Н.** Значение пиридоксина в кормлении пушных зверей / Кравцова М.Н. – Текст : непосредственный // Вестник Курской

государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – Т. 18. – С. 170-171.

243. **Конкубаева Н.У.** Анализ содержания витаминов и минералов в сухих завтраках «Бадырак» ванильный и «Бадырак» с молочной сывороткой / Конкубаева Н.У. – Текст : непосредственный // Материалы научно-технической конференции. – 2019. – С. 376-378.

244. **Элеманова, Р. Ш.** К вопросу оптимизации параметров процесса разжижения при производстве напитка «Бозо» / Р.Ш. Элеманова, Д. А. Коджегулова – Текст : непосредственный // Вестник КГТУ им. И. Раззакова. – 2011. – Т. 22. – С. 318-321.

245. European Food Safety Authority (EFSA). Dietary reference values for nutrients summary report. – Текст : непосредственный // EFSA Supporting Publications.– 2017.– Vol. 14, № 12.– P. e15121E.

246. **Бачурская, Л. Д.** Пищевые концентраты / Л. Д. Бачурская, В. Н. Гуляев; ред. Головкина В.Н. – Москва : Пищевая пром-сть, 1976. – 335 с. – Текст : непосредственный.

247. Effect of Diet on the Vitamin B Profile of Bovine Milk-Based Protein Ingredients / J. B. Magan, T. F. O. Callaghan, J. Zheng [et al.] – Текст : непосредственный // Foods. – 2020. – Vol. 9(5). – P. 578.

248. Profiles of vitamin B and E in wheat grass and grain of einkorn (*Triticum monococcum* spp. *monococcum*), emmer (*Triticum dicoccum* ssp. *dicoccum* Schrank.), durum (*Triticum durum* Desf.), and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars by LC-ESI-MS/MS analysis / F. Pehlivan Karakas, C. N. Keskin, F. Agil, N. Zencirci – Текст : непосредственный // Journal of Cereal Science. – 2021. – Vol. 98. – P. 103177.

249. **Miller, J. W.** Folate/folic acid / J. W. Miller // Encyclopedia of Human Nutrition (Fourth Edition) / editor B. Caballero. – Oxford : Academic Press, 2023. – P. 247-258.

250. Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition. T. 35 / WHO technical report series ; no. 935. – Geneva, Switzerland, 2002. – 1-13 p. – Текст : непосредственный.

251. **Elango, R.** Protein and amino acids: key players in modulating health and disease. / R. Elango, A. Laviano – Текст : непосредственный // *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*. – 2017. – Vol. 20(1). – P. 69-70.

252. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации Методические рекомендации в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. – Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 36 с. – 500 экз. – Текст : непосредственный.

253. **Конкубаева Н.У.** Минеральный состав и безопасность воздушной пшеницы «Бадырак ванильный» / Конкубаева Н.У., Усубалиева А.М. – Текст : непосредственный // *Наука и новые технологии*. – 2014. – Т. 4. – С. 46-48.

254. **Ikem, A.** Elemental composition of cereal grains and the contribution to the dietary intake in the Nigerian population / A. Ikem, P. O. Odumosu, I. Udousoro – Текст : непосредственный // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2023. – Vol. 118. – P. 105207.

255. **Ramota, O.** Proximate, Mineral and Sensory Qualities of ‘ Amala ’ Prepared from Yam flour fortified with Moringa leaf powder / O. Ramota, R. M. Ojo – Текст : непосредственный // *Food Science and Quality Management*. – 2013. – Vol. 6088. – P. 10-23.

256. **Organization, W. H.** Trace elements in human nutrition and health World Health Organization / W. H. Organization – Текст : непосредственный // *World Health Organization*. – 1996. – P. 360.

257. Mainstreaming grain zinc and iron concentrations in CIMMYT wheat germplasm / V. Govindan, R. P. Singh, P. Juliana [et al.] – Текст : непосредственный // *Journal of Cereal Science*. – 2022. – Vol. 105. – P. 103473.

258. **Day, L.** Functionality of protein-fortified extrudates / L. Day, B. G. Swanson / – Текст : непосредственный / *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2013. – Vol. 12(5). – P. 546-564.

259. **Yuksel, F.** Effects of addition of stale bread flour on the acrylamide, fatty

acid composition, resistant starch content, and in vitro glycemic index in wheat chips production using response surface methodology / F. Yuksel, A. Kayacier – Текст : непосредственный // LWT - Food Science and Technology. – 2022. – Vol. 161. – P. 113354.

260. **Конкубаева Н.У.** Изучение состава, показателей качества и безопасности взорванной пшеницы «Бадырак с молочной сывороткой» / Конкубаева Н.У. – Текст : непосредственный // East European Scientific Journal. – 2017. – Т. 3 (19). – С. 61-66.

261. **Paula, A. M.** Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks / A. M. Paula, A. C. Conti-Silva – Текст : непосредственный // Journal of Food Engineering. – 2014. – Vol. 121. – P. 9-14.

262. Extruded flour improves batter pick-up, coating crispness and aroma profile / L. Román, J. Pico, B. Antolín [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2018. – Vol. 260. – P. 106-114.

263. Application of image analysis to measure screw speed influence on physical properties of corn and wheat extrudates / K. Mezreb, A. Goullieux, R. Ralainirina, M. Queneudec – Текст : непосредственный // Journal of Food Engineering. – 2003. – Vol. 57(2). – P. 145-152.

264. Physicochemical properties and protein structure of extruded corn gluten meal: Implication of temperature / Y. Zhang, Z. He, M. Xu [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2023. – Vol. 399. – P. 133985.

265. **Li, X.** Physical and functional properties of wheat flour extrudates produced by nitrogen injection assisted extrusion cooking / X. Li, M. T. Masatcioglu, F. Koksel – Текст : непосредственный // Journal of Cereal Science. – 2019. – Vol. 89. – P. 102811.

266. Effects of region and cultivar on alkylresorcinols content and composition in wheat bran and their antioxidant activity / A. Gunenc, M. HadiNezhad, L. Tamburic-Plincic [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Cereal Science. – 2013. – Vol. 57(3). – P. 405-410.

267. Effects of explosion puffing on the nutritional composition and

digestibility of grains / R. Huang, X. Pan, J. Lv [et al.] – Текст : непосредственный // International Journal of Food Properties. – 2018. – Vol. 21. – № 1. – P. 2193-2204.

268. **Singhornart, S.** Influence of germination and extrusion with CO<sub>2</sub> injection on physicochemical properties of wheat extrudates / S. Singhornart, S. Edou-Ondo, G. H. Ryu – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2014. – Vol. 143. – P. 122-131.

269. **Charles, A. L.** Physical investigations of surface membrane-water relationship of intact and gelatinized wheat-starch systems / A. L. Charles, H. M. Kao, T. C. Huang – Текст : непосредственный // Carbohydrate Research. – 2003. – Vol. 338(22). – P. 2403-2408.

270. Effect of Coating on Physico-Chemical Characteristics of Puffed Wheat Grains / N. Konkubaeva, K. Juhnevica-Radenkova, V. Radenkovs, R. Galoburda – Текст : непосредственный // Rural Sustainability Research. – 2023. – Vol. 49. – № 344. – P. 19-26.

271. **Rosentrater, K. A.** Biochemical, functional, and nutritive changes during storage / K. A. Rosentrater – Текст : непосредственный // Storage of cereal grains and their products / ред. К. А. Rosentrater. – Duxford, Cambridge, Kidlington : Woodhead Publishing, 2022. – P. 443-501.

272. **Salman, H.** Effect of storage on fat acidity and pasting characteristics of wheat flour / H. Salman, L. Copeland – Текст : непосредственный // Cereal Chemistry. – 2007. – Vol. 84 (6). – P. 600-606.

273. Fatty acids composition and rheology properties of wheat and wheat and white or brown rice flour mixture / N. Nikolić, N. Radulović, B. Momcilović [et al.] – Текст : непосредственный // European Food Research and Technology. – 2008. – Vol. 227. – P. 1543-1548.

274. **Noon, J.** The use of natural antioxidants to combat lipid oxidation in O/W emulsions / J. Noon, T. B. Mills, I. T. Norton – Текст : непосредственный // Journal of Food Engineering. – 2020. – Vol. 281. – P. 110006.

275. Ageing of stored rice: Changes in chemical and physical attributes / Z. Zhou, K. Robards, S. Helliwell, C. Blanchard – Текст : непосредственный //

Journal of Cereal Science. – 2002. – Vol. 35(1). – P. 65-78.

276. Effect of Storage Period on Acid Value and Sensory Attributes of Puffed Wheat Grains ‘Badyrak Vanilla’ and ‘Badyrak with Whey’ / N. Konkubaeva, A. Kulmyrzaev, A. Deydiev [et al.] – Текст : непосредственный // Rural Sustainability Research. – 2023. – Vol. 49. – № 344. – P. 40-47.

277. Water activity and water content in Slovenian honeys / H. Abramovič, M. Jamnik, L. Burkan, M. Kač – Текст : непосредственный // Food Control. – 2008. – Vol. 19. – P. 1086-1090.

278. Effects of storage temperature and packaging material on physico-chemical, microbial and sensory properties and shelf life of extruded composite baby food flour / S. F. Forsido, E. Welelaw, T. Belachew, O. Hensel – Текст : непосредственный // Heliyon. – 2021. – Vol. 7. – № 4. – P. e06821.

279. Aerogel based nanoporous fibrous materials for thermal insulation / M. Venkataraman, R. Mishra, J. Militky, L. Hes – Текст : непосредственный // Fibers and Polymers. – 2014. – Vol. 15. – № 7. – P. 1444-1449.

280. A compendium of wheat germ: Separation, stabilization and food applications / F. Boukid, S. Folloni, R. Ranieri, E. Vittadini – Текст : непосредственный // Trends in Food Science & Technology. – 2018. – Vol. 78. – P. 120-133.

281. **Mahmoud, A. A.** Wheat Germ: An Overview on Nutritional Value, Antioxidant Potential and Antibacterial Characteristics / A. A. Mahmoud, A. A. A. Mohdaly, N. A. A. Elneairy – Текст : непосредственный // Food and Nutrition Sciences. – 2015. – Vol. 06. – № 02. – P. 265-277.

282. Effect of storage and reheating on textural properties of rice in dairy dessert as related to its pasting properties and microstructure / S. G. Borad, A. A. Patel, A. K. Singh [et al.] – Текст : непосредственный // LWT. – 2017. – Vol. 80. – P. 485-491.

283. Effect of oxygen absorber on accumulation of free fatty acids in brown rice and whole grain wheat during storage / W. Tsuzuki, Y. Suzuki, S. Yamada [et al.] – Текст : непосредственный // Lwt. – 2014. – Vol. 58. – № 1. – P. 222-229.

284. **Liu, K.** Comparison of lipid content and fatty acid composition and their distribution within seeds of 5 small grain species / K. Liu – Текст : непосредственный // Journal of Food Science. – 2011. – Vol. 76(2). – P. C334-C342.

285. Response of yield, grain quality, and volatile organic compounds of aromatic rice to vermicompost application / S. Ruan, J. Qi, F. Wu [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Cereal Science. – 2023. – Vol. 109. – P. 103620.

286. **Jiang, H.** Quantitative detection of fatty acid value during storage of wheat flour based on a portable near-infrared (NIR) spectroscopy system / H. Jiang, T. Liu, Q. Chen – Текст : непосредственный // Infrared Physics and Technology. – 2020. – Vol. 109. – P. 103423.

287. Production and characterization of functional biscuits obtained from purple wheat / A. Pasqualone, A. M. Bianco, V. M. Paradiso [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2015. – Vol. 180. – P. 64-70.

288. Influence of drying conditions on volatile compounds of pasta / A. Pasqualone, V. M. Paradiso, C. Summo [et al.] – Текст : непосредственный // Food and Bioprocess Technology. – 2014. – Vol. 7. – P. 719-731.

289. Evaluation of different natural antioxidants as affecting volatile lipid oxidation products related to off-flavours in corn flakes / V. M. Paradiso, C. Summo, A. Pasqualone, F. Caponio – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2009. – Vol. 113. – № 2. – P. 543-549.

290. Effect of extrusion barrel temperatures on residence time and physical properties of various flour extrudates. / S. L. Sue, R. Sulaiman, M. Sanny, Z. A. Hanani – Текст : непосредственный // International Food Research Journal. – 2015. – Vol. 22(3). – P. 965-972.

291. **Rahman, M. S.** Food stability determination by macro–micro region concept in the state diagram and by defining a critical temperature / M. S. Rahman – Текст : непосредственный // Journal of Food Engineering. – 2010. – Vol. 99(4). – P. 402-416.

292. **Szczesniak, A. S.** Texture contrasts and combinations: a valued consumer attribute. / A. S. Szczesniak, E. L. Kahn – Текст : непосредственный // Journal of

Texture Studies. – 1984. – Vol. 15(3). – P. 285-301.

293. Critical evaluation of crispy and crunchy textures: A review / M. H. Tunick, C. I. Onwulata, A. E. Thomas [et al.] – Текст : непосредственный // International Journal of Food Properties. – 2013. – Vol. 16(5). – P. 949-963.

294. Physicochemical and nutritional properties of extruded products from cereals of the Triticeae tribe – A review / P. G. Boakye, A. Y. Okyere, R. Bharathi [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry Advances. – 2023. – Vol. 3. – P. 100379.

295. Shelf-life prediction of gluten-free rice-buckwheat cookies / M. Sakač, M. Pestorić, A. Mandić [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Cereal Science. – 2016. – Vol. 69. – P. 336-343.

296. Relationship between water activity, deformation speed, and crispness characterization. / E. M. Castro-Prada, C. Primo-Martín, M. B. Meinders [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Texture Studies,. – 2009. – Vol. 40(2). – P. 127-156.

297. Detoxification of DON by photocatalytic degradation and quality evaluation of wheat / S. Wu, F. Wang, Q. Li [et al.] – Текст : непосредственный // RSC Advances. – 2019. – Vol. 9. – № 59. – P. 34351-34358.

298. **Mokrzycki, W. S.** Colour difference  $\Delta E$  - A survey Mokrzycki / W. S. Mokrzycki, M. Tatol – Текст : непосредственный // Machine Graphics and Vision. – 2011. – Vol. 20. – № 4. – P. 383-411.

299. **Tapas, AR.** Flavonoids as nutraceuticals: A review / AR Tapas, DM Sakarkar, RB Kakde – Текст : непосредственный // The Science of Flavonoids. – 2008. – Vol. 7 (3). – P. 1089-1099.

300. Effect of extrusion and turmeric addition on phenolic compounds and kafirin properties in tannin and tannin-free sorghum / C. T. dos S. D'Almeida, H. Mameri, N. dos S. Menezes [et al.] – Текст : непосредственный // Food Research International. – 2021. – Vol. 149. – P. 110663.

301. The impact of storage on the primary and secondary metabolites, antioxidant activity and digestibility of oat grains (*Avena sativa*) / S. Rakić,

S. Janković, M. Marčetić [et al.] – Текст : непосредственный // Journal of Functional Foods. – 2014. – Vol. 7. – P. 373-380.

302. Phenolics, flavonoids, proanthocyanidin and antioxidant activity of brown rice with different pericarp colors following storage / Z. Zhou, X. Chen, M. Zhang, C. Blanchard – Текст : непосредственный // Journal of Stored Products Research. – 2014. – Vol. 59. – P. 120-125.

303. **Prior, R. L.** Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements / R. L. Prior, X. Wu, K. Schaich – Текст : непосредственный // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2005. – Vol. 53(10). – P. 4290-4302.

304. Changes in the content of phenolic compounds in flaxseed oil during development / W. Herchi, F. Sakouhi, D. Arráez-Román [et al.] – Текст : непосредственный // JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society. – 2011. – Vol. 88. – № 8. – P. 1135-1142.

305. Effect of vapors from fractionated samples of propolis on microbial and oxidation damage of rice during storage / G. Atungulu Griffiths, U. Toshitaka, T. Fumihiko, H. Daisuke – Текст : непосредственный // Journal of Food Engineering. – 2008. – Vol. 88. – № 3. – P. 341-352.

306. Effects of storage temperatures on the antioxidative activity and composition of yam / S. T. Chou, B. H. Chiang, Y. C. Chung [et al.] – Текст : непосредственный // Food Chemistry. – 2006. – Vol. 98. – № 4. – P. 618-623.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

# Приложение 1

Виды: \_\_\_\_\_ Вид: \_\_\_\_\_

### Гедонический анализ

Пожалуйста, оцените образцы сушек (зерышек). Укажите насколько Вам нравится или не нравится органолептические свойства каждого образца – внешний вид, цвет, запах, консистенция и общая приемлемость, отметив (X или V) в соответствующую колонку предпочтения.

**КОД 125**

Уровень предпочтения	Числовое значение уровня	Органолептические показатели				
		Внешний вид	Цвет	Запах и вкус	Консистенция	Общая приемлемость
Очень желательный	9					
Весьма желательный	8					
Желательный	7					
Менее желательный	6					
Нейтральный	5					
Слегка нежелательный	4					
Нежелательный	3					
Весьма нежелательный	2					
Очень нежелательный	1					

**КОД 141**

Уровень предпочтения	Числовое значение уровня	Органолептические показатели				
		Внешний вид	Цвет	Запах и вкус	Консистенция	Общая приемлемость
Очень желательный	9					
Весьма желательный	8					
Желательный	7					
Менее желательный	6					
Нейтральный	5					
Слегка нежелательный	4					
Нежелательный	3					
Весьма нежелательный	2					
Очень нежелательный	1					

**КОД 147**

Уровень предпочтения	Числовое значение уровня	Органолептические показатели				
		Внешний вид	Цвет	Запах и вкус	Консистенция	Общая приемлемость
Очень желательный	9					
Весьма желательный	8					
Желательный	7					
Менее желательный	6					
Нейтральный	5					
Слегка нежелательный	4					
Нежелательный	3					
Весьма нежелательный	2					
Очень нежелательный	1					

**КОД 148**

Уровень предпочтения	Числовое значение уровня	Органолептические показатели				
		Внешний вид	Цвет	Запах и вкус	Консистенция	Общая приемлемость
Очень желательный	9					
Весьма желательный	8					
Желательный	7					
Менее желательный	6					
Нейтральный	5					
Слегка нежелательный	4					
Нежелательный	3					
Весьма нежелательный	2					
Очень нежелательный	1					

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ОсОО «Макый-Дан»  
Асылбек уулу Бакай

«25» 11 2020г



**АКТ**

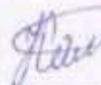
внедрения в производство  
воздушной пшеницы с ванилином «Бадырак ванильный»

Мы, нижеподписавшиеся, представители ОсОО «Макый-Дан» генеральный директор Асылбек уулу Бакай, заведующий производством Шергазы уулу Камчыбек, КТУ Манас д.т.н., профессор Кулмырзаев А.А. и КГТУ им. И. Раззакова старший преподаватель кафедры «Технология консервирования» Конкубаева Н.У. провели производственные испытания рецептуры и технологии воздушной пшеницы с ванилином «Бадырак ванильный», разработанной на кафедре «Технология консервирования» КГТУ им. И. Раззакова.

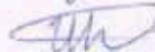
Выработанные взорванные зерна имели оптимальные физико-химические, органолептические и реологические показатели. Также наблюдалось повышение антиоксидантной активности и уменьшение сахара при использовании ванилина.

По результатам испытаний воздушная пшеница с ванилином можно рекомендовать для производства в условиях, как в крупных, так и в мелких предприятиях на поточно-механизированных линиях.

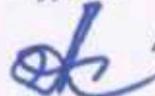
Генеральный директор

 Асылбек уулу Б.

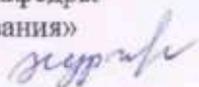
Заведующий производством

 Шергазы уулу К.

Профессор КТУ Манас

 А.А. Кулмырзаев

Старший преподаватель кафедры  
«Технология консервирования»  
КГТУ им. И. Раззакова

 Н.У. Конкубаева

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ОсОО «Макый-Дан»  
Асылбек уулу Бакай

« 18 » 09 2023 г



АКТ

внедрения в производство  
воздушной пшеницы с молочной сывороткой «Бадырак с молочной сывороткой»

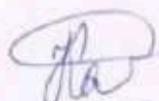
Мы, нижеподписавшиеся, представители ОсОО «Макый-Дан» генеральный директор Асылбек уулу Бакай, заведующий производством Шергазы уулу Камчыбек, КТУ Манас д.т.н., профессор Кулмырзаев А.А. и КГТУ им. И. Раззакова старший преподаватель кафедры «Технология консервирования» Конкубаева Н.У. провели производственные испытания рецептуры и технологии воздушной пшеницы с молочной сывороткой «Бадырак с молочной сывороткой», разработанной на кафедре «Технология консервирования» КГТУ им. И. Раззакова.

Производственные испытания проходили в производственном цехе взорванных зерен.

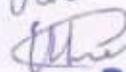
Выработанные взорванные зерна имели оптимальные физико-химические, органолептические и реологические показатели. Также наблюдалось повышение биологической ценности при добавлении сухой деминерализованной молочной сыворотки.

По результатам испытаний воздушная пшеница с молочной сывороткой можно рекомендовать для производства в условиях, как в крупных, так и в мелких предприятиях на поточно-механизированных линиях.

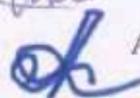
Генеральный директор

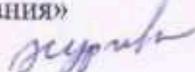
 Асылбек уулу Б.

Заведующий производством

 Шергазы уулу К.

Профессор КТУ Манас  
Старший преподаватель кафедры  
«Технология консервирования»  
КГТУ им. И. Раззакова

 А.А. Кулмырзаев

 Н.У. Конкубаева

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
"МАКЫЙ-ДАН" (МАКУЙ-DAN)

ОКПД 2 10.61.33.140  
ОКП 919606

ОКС 67.060 (Группа Н34)

УТВЕРЖДАЮ  
Генеральный директор  
ОсОО «Макый-Дан»  
Асылбек уулу Бакай  
« 22 » 2020



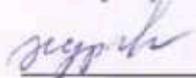
**СУХИЕ ЗАВТРАКИ  
ВОЗДУШНАЯ ПШЕНИЦА С ДОБАВКАМИ**

Технические условия

ТУ 10.61.33 – 001 – 24446338– 2020

Утвержден впервые  
Дата введения в действие – 10.10.2020

РАЗРАБОТАНО  
Кыргызский государственный технический  
университет им. И.Раззакова  
ст. преподаватель кафедры «Технология  
консервирования»

 Н. У. Конкубаева

Бишкек 2020

ТИ КР – 24446338 – DA 15.61.3 - 002 - 2020

ОсОО «Макый-Дан»

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ОсОО

«Макый-Дан»

Асылбек уулу Б.

2020 г.



**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ**

по изготовлению сухих завтраков – воздушные зерен с добавками

ТИ КР – 24446338 – DA 15.61.3 - 002 – 2020

Введена впервые

Дата введения в действие « 10 » / 11 / 2020 года

РАЗРАБОТАНО

ст. преп. кафедры

«Технология консервирования»

КГТУ им. И.Раззакова

Н. У. Конкубаева

10 » / 11 / 2020 года





