

Г. А. Сейдуалиева

**АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ РЕЦИКЛИНГА
ВТОРИЧНЫХ МОЛОЧНЫХ РЕСУРСОВ:
МАТРИЦА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Методическое пособие

Белгород
2026

Автор-составитель
Сейдуалиева Г. А. – индивидуальный предприниматель “Seidoo”
(Астана, Казахстан; nurbekova.g@mail.ru)

Сейдуалиева Г. А.
С 28 Адаптивная модель рециклинга вторичных молочных ресурсов:
матрица принятия решений для малых и средних производств :
методическое пособие / Г. А. Сейдуалиева. – Белгород : ООО
«Эпицентр», 2026. – 28 с.

ISBN 978-5-6055702-5-7

В методике рассматривается адаптивная модель рециклинга вторичных молочных ресурсов для малых и средних молочных предприятий. Актуальность подхода обусловлена ростом экологических ограничений, высокой долей кислой творожной сыворотки в стоках МСП и недоступностью капиталоемких технологий её переработки при одновременном запросе на ESG-ориентированные, безотходные решения. Целью разработки является теоретическое обоснование и формализация в виде матрицы принятия решений алгоритма 100%-й утилизации сыворотки через биокоррекцию её свойств региональным растительным сырьём Северного Казахстана. Научная новизна методики заключается в переходе от парадигмы химической нейтрализации к управляемому формированию супрамолекулярных комплексов «сыворотка – растительные биополимеры», а также в интеграции технологических, коллоидно-химических, сенсорных и экономических критериев в единую адаптивную архитектуру. Матрица описывает сценарии переработки высоко- и среднекислой сыворотки (десертная и напиточная группы), дополненные «Калькулятором технолога» для оценки рентабельности, и демонстрирует достижение показателей безотходности до 95–98% при сохранении стабильных физико-химических и органолептических характеристик продуктов, подтверждённых экспериментальной валидацией.

Методика будет полезна технологам и руководителям молочных МСП, разработчикам функциональных продуктов и специалистам по устойчивому развитию пищевых производств.

ББК 46я73

ISBN 978-5-6055702-5-7

© Сейдуалиева Г. А., 2026

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. Теоретическая модель адаптивного рециклинга.....	6
1.1. Классификация вторичных ресурсов и ограничений МСБ	6
1.2. Концепция «Матрицы био-коррекции»	8
1.3. Архитектура Матрицы принятия решений	10
Глава 2. Технологический алгоритм и сценарии производства	13
2.1. Сценарий А: «Высокая кислотность» (Десертная группа)	13
2.2. Сценарий Б: «Средняя кислотность» (Напиточная группа)	15
2.3. Калькулятор технолога: расчет экономической целесообразности	17
Глава 3. Валидация методики и оценка эффективности	20
3.1. Физико-химическая стабилизация системы	20
3.2. Органолептический профиль и потребительская оценка	21
3.3. Эффект безотходности и масштабируемость.....	22
Заключение	24
Литература	26

Введение

В современной парадигме глобальной пищевой индустрии вопросы рационального использования ресурсов трансформировались из плоскости экономической целесообразности в категорию императивов устойчивого развития [1]. Фундаментальный сдвиг в подходах к управлению производственными потоками, обусловленный внедрением принципов циркулярной экономики и ESG-стандартов (Environmental, Social, and Governance), диктует необходимость пересмотра статуса побочных продуктов переработки молока [2]. Вторичные молочные ресурсы (ВМР), и в первую очередь молочная сыворотка, долгое время рассматривались как отход, подлежащий утилизации, однако их биохимический потенциал позволяет классифицировать их как стратегическое сырье для создания продуктов с высокой добавленной стоимостью. Особую остроту данная проблематика приобретает в контексте деятельности малых и средних предприятий (МСБ), которые, в отличие от индустриальных гигантов, ограничены в доступе к капиталоемким технологиям глубокой переработки, таким как нанофильтрация, электродиализ или распылительная сушка [3].

Актуальность разработки адаптивных моделей рециклинга для сегмента МСБ обусловлена диспропорцией между объемами образующейся кислой (творожной) сыворотки и существующими мощностями по ее переработке. Творожная сыворотка, составляющая значительную долю в структуре ВМР предприятий, специализирующихся на производстве ферментированных продуктов, характеризуется специфическим физико-химическим профилем: высокой титруемой кислотностью, низким значением рН, повышенным содержанием минеральных солей и молочной кислоты [4]. Эти параметры создают существенные технологические барьеры. Высокая кислотность инициирует коррозионные процессы оборудования, затрудняет процессы концентрации из-за риска пригорания (реакция Майяра) и делает невозможным использование сыворотки в нативном виде в большинстве традиционных рецептур из-за резкого, несбалансированного вкуса. В результате, значительные

объемы этого ценного ресурса, содержащего сухие вещества исходного молока, включая лактозу, сывороточные белки, витамины и микроэлементы, сбрасываются в системы водоотведения, нанося ущерб окружающей среде и генерируя значительные финансовые потери в виде экологических штрафов и платежей за эмиссии [5].

Проблема усугубляется из-за того, что существующие технологические решения или экономически недоступны для малых производств из-за высокого порога входа (CAPEX), либо, подобно случаю с химической нейтрализацией кислотности гидрокарбонатом натрия или гидроксидом кальция, приводят к деградации органолептических характеристик готового продукта, появлению «мыльного» или горького привкуса [6]. Следовательно, существует острая потребность для разработки альтернативных, низкочастотных методов валоризации кислой сыворотки. Эти методы должны быть научно обоснованными, основываться на биотехнологических принципах, и применять нативные свойства природных компонентов, но не на химической модификации.

Целью настоящей работы является разработка и теоретическое обоснование полноценной академической методики – адаптивной модели рециклинга, формализованной в виде «Матрицы принятия решений». Данный инструмент призван обеспечить технологов малых и средних производств четким, воспроизводимым алгоритмом действий, позволяющим достичь 100% переработки творожной сыворотки в ликвидные продукты питания. Методика ориентирована на исключение сложных IT-внедрений и дорогостоящего оборудования, предлагая вместо этого интеллектуальную систему управления потоками сырья на основе его физико-химических параметров.

Глава 1. Теоретическая модель адаптивного рециклинга

1.1. Классификация вторичных ресурсов и ограничений МСБ

Для построения эффективной модели рециклинга необходимо детальное понимание природы вторичных молочных ресурсов и специфики ограничений, накладываемых форматом малого и среднего бизнеса. В молочной промышленности сыворотка классифицируется по способу коагуляции казеина на сладкую (подсырную), получаемую при сычужном свертывании, и кислую (творожную, казеиновую), образующуюся при кислотной или смешанной ферментации [8].

Анализ состава кислой сыворотки, проведенный на основе литературных данных и предварительных исследований, демонстрирует, что она является сложной дисперсной системой. Содержание сухих веществ варьируется в диапазоне 5,0–6,5%, при этом доминирующим компонентом является лактоза (3,5–4,2%). Белковая фракция (0,5–0,8%) представлена преимущественно сывороточными белками – β -лактоглобулином и α -лактальбумином, которые обладают высокой биологической ценностью, содержат полный спектр незаменимых аминокислот, включая разветвленные (BCAA), и иммуноглобулины [9]. Однако, в отличие от сладкой сыворотки, кислая содержит повышенное количество молочной кислоты (до 0,8%) и растворимых минеральных солей, в частности кальция, который переходит из мицеллярной формы в сыворотку при снижении рН ниже изоэлектрической точки казеина.

Именно этот химический состав формирует основные технологические барьеры для МСБ. Высокая концентрация ионов водорода и лактат-ионов делает сыворотку термически нестабильной: при нагревании выше 77°C возрастает риск коагуляции сывороточных белков и их осаждения на теплообменных поверхностях, что снижает эффективность теплопередачи и усложняет санитарную обработку оборудования [10]. Традиционные методы деминерализации (электродиализ, ионный обмен) и концентрирования (обратный осмос, нанофильтрация), широко применяемые на крупных

комбинатах для производства сухой деминерализованной сыворотки (D90) или изолятов (WPI), требуют капитальных вложений, исчисляемых миллионами долларов, и наличия высококвалифицированного инженерного персонала, что недостижимо для предприятий с объемом переработки 1–10 тонн молока в сутки [9].

Более того, «упрощенные» методы переработки, такие как химическая нейтрализация, часто применяемые в кустарных условиях, приводят к необратимому ухудшению качества продукта. Добавление гидрокарбоната натрия или гидроксида натрия для повышения pH запускает реакции омыления жиров и образования лактатов натрия, которые придают продукту выраженный солено-горький, «мыльный» привкус, делая его непригодным для использования в пищевых целях без глубокой маскировки [11]. Таким образом, сектор МСБ оказывается в ловушке: экологические нормативы запрещают сброс неочищенных стоков с высоким БПК/ХПК, а доступные технологии не обеспечивают рентабельности [12]. Выходом из этой ситуации является применение био-подхода, основанного на синергии молочных и растительных компонентов. Классификация вторичных молочных ресурсов и ключевые ограничения переработки кислой сыворотки для МСБ приведены в таблице 1.

Таблица 1. Классификация вторичных молочных ресурсов и ключевые ограничения переработки кислой сыворотки для МСБ

Параметр	Основные факты	Ограничение для МСБ / следствие
Классификация сыворотки	Сладкая (сычужная) / кислая (кислотная/смешанная)	Для МСБ критична кислая (больше кислот/солей → сложнее переработка)
Кислая сыворотка: состав	СВ 5,0–6,5%; лактоза 3,5–4,2%; белки 0,5–0,8%; молочная к-та до 0,8%; ↑минералы (Са)	Низкая концентрация + высокая кислотность/минерализация → нужна «умная» технология, иначе плохая экономика
Технобарьер	Термически нестабильна: при >77°C риск коагуляции белков и отложений	Падает эффективность теплообмена, сложнее мойка, выше издержки

Параметр	Основные факты	Ограничение для МСБ / следствие
Недоступные “большие” технологии	Электродиализ/ионный обмен; ОО/нанофильтрация; продукты D90/WPI	Высокий CAPEX + нужен персонал → не подходит при 1–10 т/сут
Плохие “простые” решения	Нейтрализация $\text{NaHCO}_3/\text{NaOH}$ → лактаты/омыление	«Мыльный», солено-горький вкус → непищевое качество
Контекст и выход	Запрет сброса стоков с высоким БПК/ХПК	МСБ «в ловушке» → перспективен био-подход (молочные + растительные компоненты)

1.2. Концепция «Матрицы био-коррекции»

Предлагаемая методика базируется на авторской концепции «Матрицы био-коррекции». Суть данной концепции заключается в отказе от попыток механического или химического удаления «нежелательных» компонентов сыворотки (кислоты, воды) в пользу их функциональной трансформации через взаимодействие с растительными биополимерами. Растительные компоненты в данной модели перестают быть просто вкусоароматическими добавками и приобретают статус функциональных стабилизаторов и текстурантов.

Теоретическим фундаментом концепции служит принцип комплементарности и взаимодополняемости физико-химических свойств творожной сыворотки и экстрактов ягод северного региона (ирга, арония, облепиха) [13]. Рассмотрим ключевые механизмы взаимодействия в рамках этой системы.

Во-первых, механизм электростатической стабилизации. В кислой среде (рН 4,2–4,6) сывороточные белки (преимущественно β -лактоглобулин) несут суммарный положительный заряд, так как находятся ниже своей изоэлектрической точки ($pI \approx 5,2$). В то же время, пектины (высокомолекулярные полисахариды), содержащиеся в значительном количестве в ягодах ирги и аронии, содержат карбоксильные группы галактуроновой кислоты [14]. Даже в кислой среде часть этих групп остается диссоциированной, сообщая молекуле пектина локальный отрицательный заряд. Это создает термодинамические предпосылки для электростатического

притяжения между положительно заряженными доменами белков и отрицательно заряженными цепями пектина, приводящего к формированию растворимых протеин-полисахаридных комплексов. Такие комплексы образуют защитный слой вокруг белковых глобул («шубу»), препятствуя их агрегации и выпадению в осадок при тепловой обработке, что критически важно для обеспечения термостабильности напитков [15]. Стерический фактор стабилизации, обусловленный разветвленной структурой пектиновых молекул (особенно «волосатых» областей рамногалактуронана-I), дополнительно предотвращает сближение частиц дисперсной фазы.

Во-вторых, механизм органолептической маскировки и связывания влаги. Творожная сыворотка обладает высокой активностью воды и низкой вязкостью. Ягоды, используемые в Матрице (особенно их жмых), богаты нерастворимыми пищевыми волокнами (целлюлоза, гемицеллюлоза) и протопектином. Эти биополимеры обладают высокой водоудерживающей способностью, физически связывая свободную влагу и увеличивая вязкость системы без добавления синтетических загустителей [16]. С точки зрения сенсорики, присутствие таннинов (полифенолов) в черноплодной рябине и ирге играет роль модулятора вкуса. Таннины обладают вяжущим эффектом, который, взаимодействуя с белками слюны (пролин-богатými белками), изменяет восприятие кислотности [17]. Кислота сыворотки, вместо того чтобы восприниматься как резкая и уксусная, интегрируется в сложный вкусовой профиль, где она уравнивается сладостью ягодных сахаров и терпкостью полифенолов, создавая гармоничный «тело» (body) продукта.

Таким образом, «Матрица био-коррекции» использует естественные химические средства компонентов для решения технологических проблем: кислотность сыворотки способствует экстракции пектина и антоцианов из растительного сырья, а растительные биополимеры, в свою очередь, стабилизируют белки и структурируют водную фазу сыворотки.

1.3. Архитектура Матрицы принятия решений

Для перевода теоретической концепции в плоскость практического применения разработана «Матрица принятия решений». Это алгоритмическая модель, которая позволяет технологу МСБ детерминировать оптимальный производственный сценарий на основе оперативных данных о качестве сырья. Матрица исключает субъективизм и минимизирует риски технологического брака.

Архитектура Матрицы, показанной на рисунке 1, базируется на логике «Вход - Обработка - Выход» и оперирует следующими переменными.

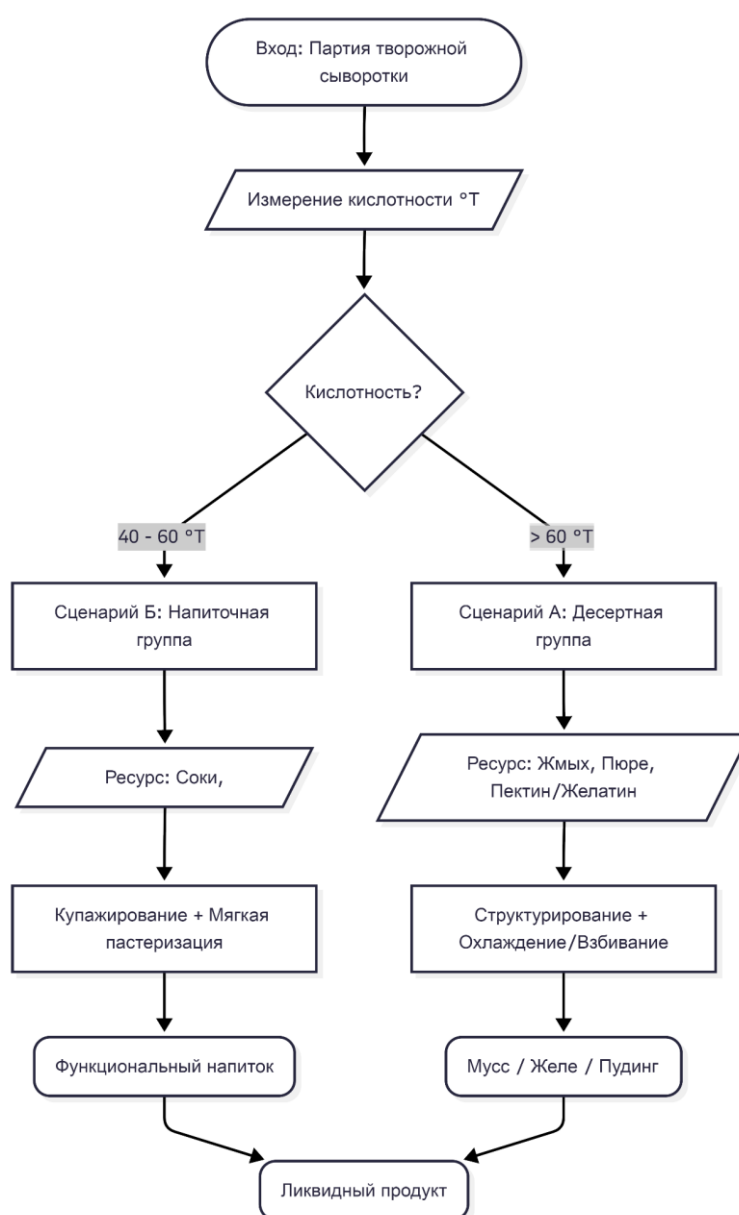


Рис. 1. Архитектура Матрицы принятия решений для рециклинга творожной сыворотки

К входным переменным относятся кислотность сыворотки, выраженная в градусах Тернера ($^{\circ}\text{T}$), и доступное фито-сырье. Кислотность сыворотки рассматривается как критический параметр, поскольку именно она задает буферную емкость системы и определяет ее пригодность для выполнения конкретных технологических операций. Доступное фито-сырье описывает наличие специфических региональных ресурсов, к которым относятся соки, пюре, а также сухие выжимки или жмых, и одновременно учитывает их ключевые характеристики, включая содержание сахара и пектина.

Выходной переменной является тип продукта, то есть категория конечного изделия, которая обеспечивает наилучшую валоризацию сырья при заданных параметрах. В рамках данной постановки выделяются три возможные категории: напиток, желеобразный десерт и мусс.

Распределение потоков внутри Матрицы задается набором правил и пороговых значений, которые связывают кислотность сыворотки с предпочтительным направлением переработки и с типом используемых фито-компонентов. Для диапазона средней кислотности 40–60 $^{\circ}\text{T}$ этот интервал определяется как оптимальный для производства продукции напитокной группы (Сценарий Б). При такой кислотности сыворотка сохраняет относительно мягкий вкус, поэтому не требует чрезмерного внесения подсластителей. Белки при этих значениях находятся в состоянии, близком к нативному, что позволяет стабилизировать систему за счет гидроколлоидов сока. В рамках данного сценария приоритет отдается жидким фито-компонентам, таким как осветленные соки ирги и экстракты трав, поскольку их применение позволяет сохранить питьевую консистенцию.

Для диапазона высокой кислотности, превышающей 60 $^{\circ}\text{T}$, сыворотка описывается как непригодная для напитков вследствие органолептических дефектов; такие значения часто характерны для сырья, получаемого при переработке кислого творога, или могут возникать при нарушениях температурных режимов сквашивания. В этой ситуации Матрица направляет сырье в десертную группу (Сценарий А). Высокая кислотность

интерпретируется как технологическое преимущество, поскольку она способствует процессам желирования при наличии пектина или желатина и формированию яркого вкусового профиля, типичного для фруктовых десертов. Для маскировки кислотности и одновременного создания структуры используются более плотные фито-компоненты, прежде всего пюре и микронизированный жмых (выжимки), которые характеризуются высокой влагосвязывающей способностью.

Данная архитектура обеспечивает гибкость производства: в зависимости от суточных колебаний параметров сыворотки (которые неизбежны на малых предприятиях), технолог может переключать производственные линии между выпуском напитков и десертов, обеспечивая 100% переработку поступающего сырья без потерь.

Глава 2. Технологический алгоритм и сценарии производства

2.1. Сценарий А: «Высокая кислотность» (Десертная группа)

Сценарий А разработан для глубокой переработки сыворотки с титруемой кислотностью выше 60 °Т. Это «проблемное» сырье трансформируется в продукты с высокой добавленной стоимостью - структурированные десерты (муссы, желе, самбуки). Технологическая стратегия здесь строится на использовании текстурообразующего потенциала кислой среды и водоудерживающих свойств растительных волокон.

Технологический алгоритм начинается с подготовки сывороточной основы. Сыворотку фильтруют для удаления казеиновой пыли, поскольку ее присутствие способно нарушать однородность формирующегося геля. При необходимости проводят сепарирование, чтобы снизить жирность до уровня менее 0,05%. Далее выполняют пастеризацию при температуре 72–76 °С с выдержкой 15–20 секунд, что обеспечивает инактивацию нативной микрофлоры и ферментов. После тепловой обработки сыворотку охлаждают до температуры внесения структурообразователей, составляющей 40–45 °С.

Следующим этапом является подготовка модуля «Био-корректор» в логике безотходного цикла. В качестве ключевого элемента используется вторичный продукт переработки ягод - выжимки (жмых), остающиеся после получения соков для Сценария Б, что позволяет выстроить замкнутый цикл производства. Жмых ирги и черноплодной рябины сушат при температуре 60–70 °С в течение 6 часов до остаточной влажности 31%, тогда как жмых облепихи сушат при тех же температурных условиях в течение 8 часов до влажности 28%. Высушенный жмых затем подвергают микронизации, то есть тонкому помолу, до размера частиц 0,4–0,5 мм. В результате получают порошок, обозначаемый как «ягодная мука», который характеризуется высоким содержанием клетчатки, пектиновых веществ и антоцианов.

После подготовки компонентов формируют композицию продукта. В предварительно подогретую сыворотку при постоянном перемешивании последовательно вносят предварительно набухший структурообразователь,

которым может служить желатин или пектин; при этом желатин рассматривается как предпочтительный вариант для муссов, так как он образует эластичные гели с выраженным эффектом «таяния во рту». Затем добавляют микронизированный ягодный жмых в расчетном количестве. Для коррекции сладости без увеличения калорийности вводят подсластитель, например стевию в сухом виде. Дополнительно могут вноситься биологически активные добавки, например цветочная пыльца, с целью обогащения продукта микронутриентами.

На этапе структурообразования и аэрации смесь гомогенизируют, чтобы обеспечить равномерное распределение нерастворимых частиц жмыха в объеме. При производстве муссов смесь подвергают взбиванию, то есть аэрации, в процессе охлаждения при температуре 20–25 °С. Насыщение массы пузырьками воздуха придает продукту легкость, а формирующийся белково-полисахаридный каркас выполняет стабилизирующую функцию по отношению к пенной структуре.

Завершающий этап включает желирование и созревание. Продукт фасуют в потребительскую тару и направляют в холодильные камеры при температуре 4 ± 2 °С на 4–6 часов, чтобы завершить формирование гелевой сетки. Полный алгоритм сценария А показан на рисунке 2.

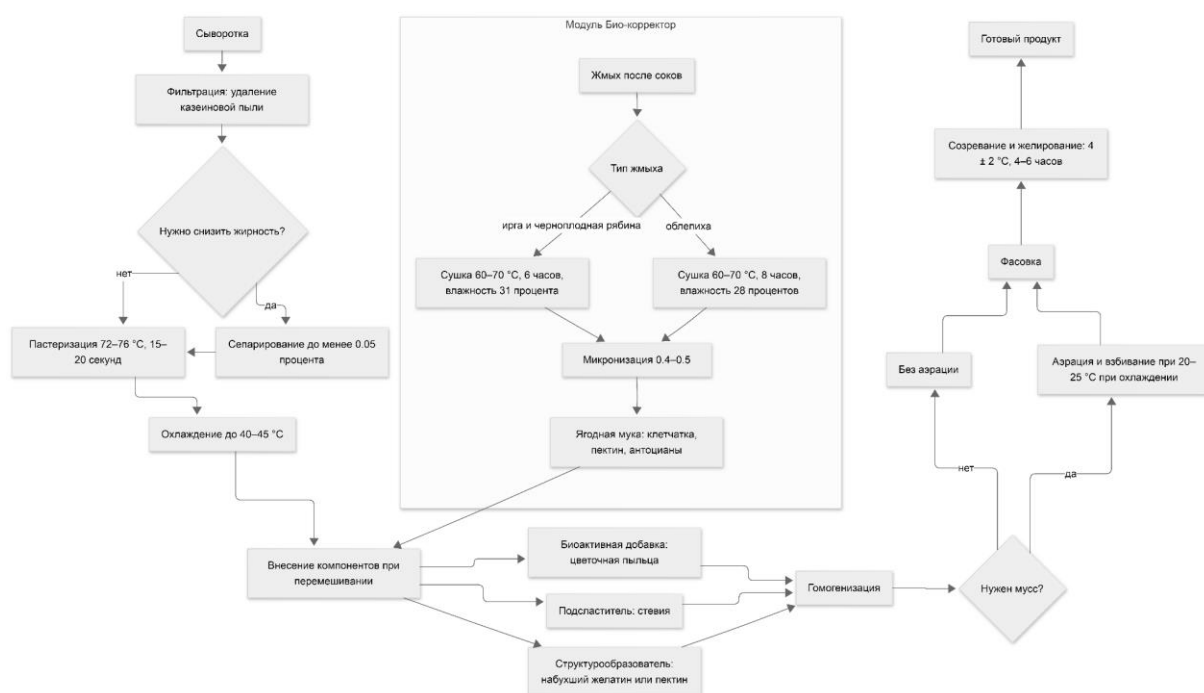


Рис. 2. Алгоритм сценария А

Результатом Сценария А является продукт с плотной, но воздушной («резинистой» в хорошем смысле, упругой) консистенцией. Частицы жмыха, набухая в сыворотке, не только удерживают влагу, предотвращая синерезис, но и создают приятную текстуру, имитирующую мякоть свежих ягод.

2.2. Сценарий Б: «Средняя кислотность» (Напиточная группа)

Сценарий Б применяется к сыворотке с кислотностью 40–60 °Т. Целью является создание питьевых функциональных продуктов (напитков), где критически важны коллоидная стабильность (отсутствие расслоения) и сохранение витаминной активности. Полный алгоритм сценария Б показан на рисунке 3.

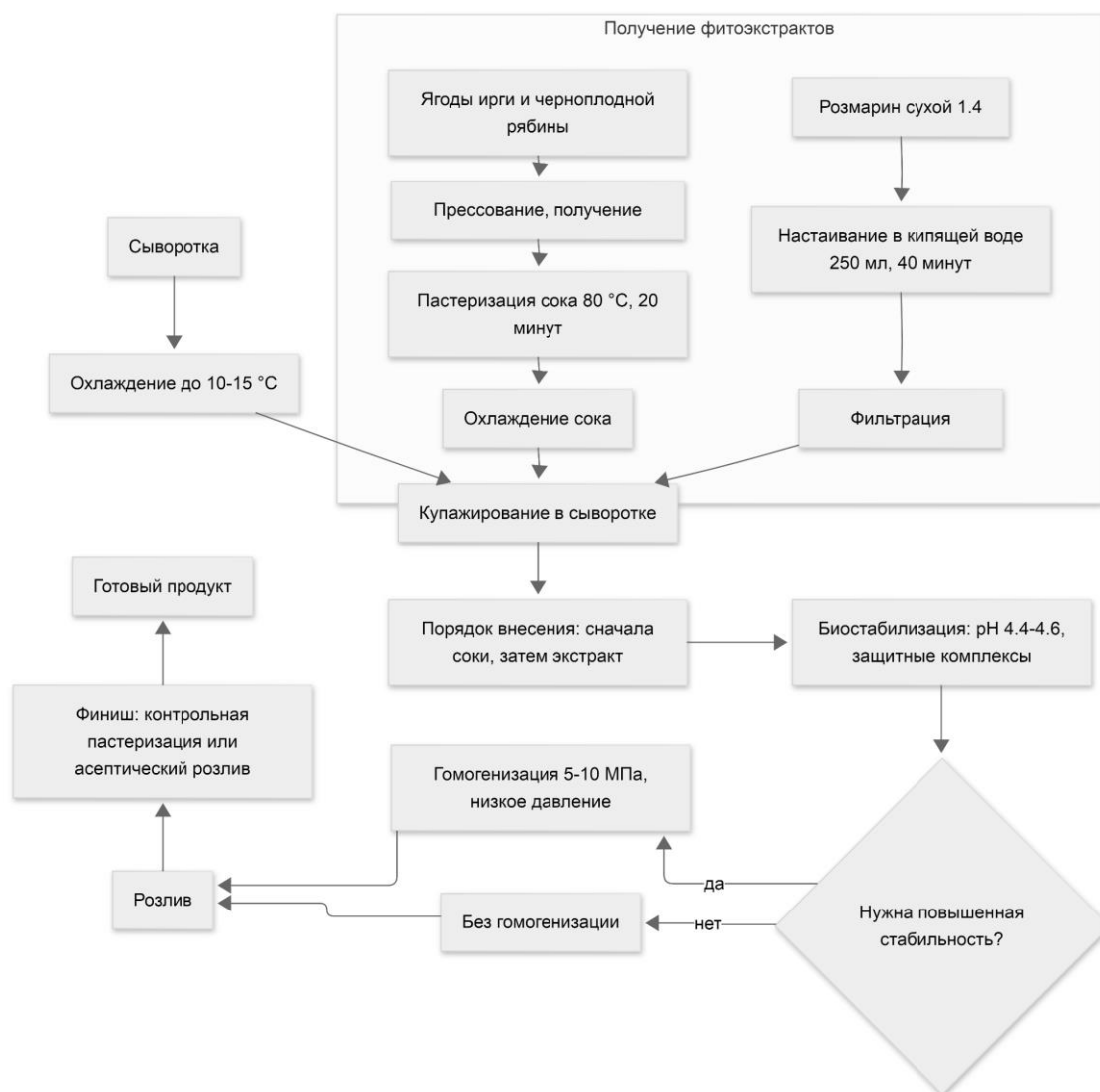


Рис. 3. Алгоритм сценария Б

Алгоритм начинается с получения фито-экстрактов, где ключевую роль играют ягодные соки и растительные настои, задающие как вкусовой профиль, так и функциональные свойства системы. В качестве сырья для соков используют ягоды ирги и черноплодной рябины (аронии), а сам сок получают методом прессования. При этом критически важным этапом выступает пастеризация сока: согласно данным исследований, оптимальным режимом является нагрев до 80 °С с выдержкой 20 минут. Такой режим обеспечивает инактивацию окислительных ферментов, прежде всего полифенолоксидазы, за счет чего предотвращается потемнение, одновременно достигается микробиологическая чистота и в наибольшей возможной степени сохраняются термолабильные витамины, включая витамин С и витамины группы В, а также антиоксидантная активность антоцианов.

Для расширения вкусовой гаммы дополнительно используют фито-экстракт розмарина, который получают методом настаивания сухого сырья в кипящей воде. Технологически это реализуется путем выдерживания 1,4 г сухого сырья в 250 мл кипящей воды в течение 40 минут, после чего полученный настой фильтруют для удаления нерастворимых фракций и стабилизации состава.

Далее выполняют купажирование, которое в данном контексте рассматривается как био-стабилизация. В охлажденную до 10–15 °С сыворотку вносят подготовленные пастеризованные соки и экстракты, причем порядок внесения является принципиальным: сначала добавляют соки, затем экстракты. Смешение компонентов при умеренных температурах и при заданных значениях рН 4,4–4,6 инициирует взаимодействие белков сыворотки с пектинами сока, что приводит к образованию защитных комплексов, препятствующих седиментации и тем самым повышающих коллоидную устойчивость напитка.

На следующем этапе смесь может быть подвергнута гомогенизации при низком давлении 5–10 МПа, что направлено на улучшение дисперсности и повышение стабильности эмульсионной системы, если в составе присутствуют эфирные масла розмарина. После этого выполняют розлив, выбирая режимы, которые обеспечивают сохранение сформированной структуры.

Финишная обработка строится на принципе минимизации дополнительной тепловой нагрузки, поскольку исходные компоненты, а именно сыворотка и соки, уже прошли термическую обработку. Поэтому готовую смесь подвергают лишь контрольной пастеризации либо используют асептический розлив, что позволяет снизить риск нежелательных изменений белков и одновременно сохранить свежесть вкуса. Готовый напиток характеризуется однородной консистенцией, отсутствием хлопьевидного осадка (допускается лишь незначительный опалесцирующий осадок мякоти) и гармоничным кисло-сладким вкусом, где сывороточная нота полностью нивелирована ягодным профилем.

2.3. Калькулятор технолога: расчет экономической целесообразности

Неотъемлемой частью методики является экономический инструмент – «Калькулятор технолога», позволяющий в режиме реального времени оценивать рентабельность переработки. Этот инструмент служит мостом между технологией и экономикой предприятия.

Алгоритм расчета включает оценку базового сценария, обозначаемую как оценка потерь, в рамках которой рассчитываются убытки, связанные со сбросом сыворотки. В этом подходе используются показатели, такие как объем сыворотки, ставка экологического платежа за сброс загрязняющих веществ и транспортные расходы на вывоз жидких отходов. Ставка экологического платежа определяется исходя из биохимического потребления кислорода сыворотки и региональных тарифов, например с привязкой к месячному расчетному показателю в Казахстане. Таким образом, расчет фиксирует суммарную нагрузку, возникающую при утилизации сыворотки как отхода, и переводит ее в измеримые экономические потери.

Далее выполняется оценка сценария рециклинга, обозначаемая как оценка прибыли. Здесь рассматриваются показатели, такие как объем готового продукта, включающий сыворотку и внесенные добавки, оптовая цена реализации напитка или десерта, стоимость растительных добавок и прямые

производственные затраты. Такой расчет позволяет сопоставить потенциальную выручку с затратной частью и тем самым формализовать экономический эффект переработки сыворотки в продукт.

Отдельным элементом выступают точка безубыточности и материальный баланс. Калькулятор включает модуль расчета материального баланса, который демонстрирует, что при использовании жмыха в Сценарии А коэффициент использования сырья достигает 95–98%, при этом потери обусловлены только испарением при сушке и технологическими потерями. В практическом смысле это задает количественную рамку эффективности, показывая, какая доля исходного сырья действительно переходит в товарную продукцию.

Для корректной работы Матрицы и Калькулятора предусмотрен чек-лист входного контроля фито-сырья, поскольку именно параметры растительного сырья определяют предсказуемость технологического поведения системы. Контролируется сахаристость, выражаемая в градусах Брикса: для ирги целевое значение составляет не менее 12%, а для аронии не менее 10%, что позволяет минимизировать добавление дорогостоящих подсластителей. Отдельно учитывается содержание пектина, которое критично для Сценария Б, при этом целевой ориентир формулируется как наличие пектиновых веществ, способных к комплексообразованию при кислотности около 4,5. Также оценивается органолептика и подтверждается отсутствие признаков порчи, поскольку сырье не подвергается жесткой стерилизации. Таблица 2 демонстрирует модельный расчет эффективности.

*Таблица 2 Сравнительный анализ экономической эффективности
(модельный расчет на 1 тонну сыворотки)*

Статья	Сценарий «Сброс»	Сценарий «Рециклинг» (Напиток)
Расходы		
Экологический штраф / Тариф на сброс	-15 000 ед. (условно)	0

Стоимость добавок (ягоды, экстракты)	0	-20 000 ед.
Производственные расходы (энергия, труд)	0	-10 000 ед.
Упаковка	0	-15 000 ед.
Доходы		
Выручка от реализации (1100 л продукта)	0	+90 000 ед.
Итоговый финансовый результат	-15 000 ед.	+45 000 ед.
Экономический эффект		+60 000 ед.

Расчет показывает, что переход к рециклингу не просто генерирует прибыль, но и предотвращает прямые убытки, что суммарно дает значительный экономический эффект.

Глава 3. Валидация методики и оценка эффективности

3.1. Физико-химическая стабилизация системы

Эффективность разработанной методики была подтверждена серией экспериментальных выработок. Важнейшим этапом валидации является доказательство того, что предложенные сценарии действительно приводят к физико-химической стабилизации нестабильной творожной сыворотки.

Анализ данных, показанный в таблице 3, демонстрирует трансформацию ключевых параметров.

Таблица 3. Динамика физико-химических показателей в процессе рециклинга

Показатель	Творожная сыворотка (Исходное сырье)	Мусс-десерт (Сценарий А)	Напиток сывороточный (Сценарий Б)
Титруемая кислотность, °Т	45 – 61	54	40 – 60
Активная кислотность, рН	4.2 – 5.4	4.5	4.4 – 4.6
Массовая доля сухих веществ (сахароза), г/см ³ / %	5.6–5.8%	2.2 г/см ³ (сахароза)	6.4 г/см ³ (сахароза); 8.8%
Массовая доля белка, %	1.74–1.95%	-	2.8%

Исходная сыворотка, использованная в экспериментах, демонстрировала выраженный разброс кислотности в диапазоне от 45 до 61 °Т, что является типичным свойством МСБ. При этом в готовых продуктах отмечается стабилизация данного показателя. В напитках кислотность может уменьшаться, например с 61 до 40 °Т, что объясняется эффектом разбавления нейтральными компонентами или буферным действием соков. В других случаях кислотность сохраняется на уровне около 60 °Т, и при наличии добавленной сладости

(сахароза 6.4 г/см³) такой профиль воспринимается как гармоничный.

Значения pH готовых продуктов находятся в пределах 4.4–4.6, то есть в области коллоидной стабильности комплексов «пектин-белок». Это согласуется с теоретической гипотезой о том, что при данном pH растительные полисахариды способны эффективно защищать белки от коагуляции.

В напитках наблюдается увеличение содержания сухих веществ и белка, достигающее 2.8%, что указывает на переход растворимых компонентов из ягодного сока и на возможную концентрацию. Дополнительно термостабильность системы подтверждается отсутствием коагуляции при пастеризации смесей, что рассматривается как прямое следствие защитного действия гидроколлоидов, внесённых с соками и экстрактами.

3.2. Органолептический профиль и потребительская оценка

Органолептическая оценка является решающим фактором для коммерческого успеха продуктов рециклинга. Результаты дегустаций, проведенных на базе КазАТУ, подтверждают эффективность маскировки недостатков сырья, как показано в Таблице 4.

Таблица 4. Сравнительная органолептическая характеристика

Показатель	Исходная сыворотка	Мусс-десерт (Сценарий А)	Напиток (Сценарий Б)
Внешний вид / Консистенция	Жидкость с осадком, мутноватая (полупрозрачная)	Неоднородная, плотная, воздушная, слегка «резинистая» (упругая)	Однородная жидкость, допускается незначительный осадок
Вкус и запах	Кисловатый, специфический сывороточный	Приятный, сладковатый, с ярко выраженными тонами облепихи; нежный, ощущается пудра цветочной пыльцы	Гармоничный кисло-сладкий, приятный запах ягод и розмарина
Цвет	От светло-желтого до бледно-зеленого	От коричневого до бурого (за счет жмыха и окисления полифенолов)	Темно-розовый, бордовый

В десертах использование жмыха и желатина позволило трансформировать жидкую сыворотку в продукт с уникальной текстурой («воздушная, слегка резинистая»). Термин «резинистая» в данном контексте указывает на упругость геля, желательную для жележных десертов. Цвет продукта (бурый) является естественным следствием использования натурального растительного сырья (особенно потемневшего жмыха яблок/ягод или цветочной пыльцы) и воспринимается потребителем как признак натуральности («крафтовости»).

В напитках добавление сока ирги и аронии кардинально изменило цветовую гамму (с непривлекательного желто-зеленого на насыщенный темно-розовый/бордовый) и полностью скрыло сывороточный привкус. Экстракт розмарина добавил ароматическую сложность, переводя продукт из категории «вторичного» в категорию «функционального коктейля».

3.3. Эффект безотходности и масштабируемость

Расчёт материального баланса, выполненный на основе рецептов, показывает, что ресурсы используются с высокой степенью полноты и с минимальными необратимыми потерями. Жидкая фаза, представленная сывороткой, включается в технологический процесс полностью, то есть расходуется на 100%, без образования остатка, требующего утилизации или дополнительной переработки. Это указывает на то, что исходный поток сырья по жидкой части не распадается на «целевую» и «побочную» фракции, а сразу рассматривается как функциональная основа продукта.

Твёрдая фаза, представленная ягодным сырьём, используется по принципу комплексной переработки. Сок направляется на производство напитков в рамках сценария Б, тогда как остающийся жмых (выжимки) не выводится из цепочки, а сушится и далее применяется при изготовлении десертов по сценарию А. Такая маршрутизация потоков позволяет достигать показателя использования сырья на уровне 95-98%. Потери при этом сводятся главным образом к двум типам: к естественной усушке при дегидратации жмыха, которая обусловлена удалением

влаги как целевым этапом процесса, и к неизбежным технологическим потерям, связанным с остатками на стенках оборудования и другими стандартными источниками неполного извлечения продукта.

Методика, отработанная на сырье Северного Казахстана (ирга, облепиха), характеризуется высокой адаптивностью и пригодностью к масштабированию. Архитектура Матрицы допускает замену модельных растений на локальные аналоги, если они обладают сопоставимым биохимическим профилем, прежде всего по признакам высокого содержания пектина и дубильных веществ. В качестве альтернатив ирге или аронии могут выступать черника, голубика, чёрная смородина и кизил, тогда как облепиху как источник клетчатки и окраски можно заменять выжимками моркови, тыквы или абрикоса. В результате методика описывается как универсальная и потенциально тиражируемая на предприятиях МСБ в различных климатических зонах без необходимости пересмотра базового технологического регламента, поскольку вариативность обеспечивается за счёт подбора эквивалентного сырья, а не изменения фундаментальных операций процесса.

Заключение

В ходе настоящего исследования была разработана и валидирована «Адаптивная модель рециклинга вторичных молочных ресурсов», которая рассматривается как комплексное решение задачи утилизации творожной сыворотки, ориентированное на условия предприятий малого и среднего бизнеса.

Научный вклад работы связан, во-первых, с обоснованием перехода от парадигмы химической нейтрализации к парадигме «био-коррекции», в рамках которой растительные компоненты применяются как функциональные стабилизаторы коллоидной системы сыворотки. Показано, что взаимодействие пектинов и таннинов ягод с сывороточными белками при рН 4,4–4,6 приводит к формированию устойчивых систем, обеспечивая стабильность напитков и структурообразование десертов. Во-вторых, разработана алгоритмическая Матрица принятия решений, связывающая входные параметры сырья, прежде всего кислотность, с выбором типа конечного продукта; тем самым технолог получает инструмент, позволяющий гибко управлять производственным процессом. В-третьих, экспериментально подтверждена результативность использования ягодного жмыха (ирги, облепихи) в роли натурального текстуранта, что позволяет замыкать цикл переработки растительного и молочного сырья и достигать показателей безотходности на уровне 95–98%.

Для успешного внедрения методики на действующих производствах рекомендуется организовать пост экспресс-контроля титруемой кислотности сыворотки, чтобы оперативно маршрутизировать сырьё по Сценариям А и Б. Также целесообразно оснастить производство участком сушки шкафного типа и измельчения для переработки растительных выжимок, поскольку это снижает себестоимость десертной группы. Дополнительно предлагается использовать разработанный «Калькулятор технолога» для постоянного мониторинга экономической эффективности и для корректировки рецептур с учётом стоимости сезонного фито-сырья.

Перспективы дальнейшего развития Матрицы связываются с интеграцией

других видов вторичных молочных ресурсов, в частности пахты, являющейся побочным продуктом маслоделия. Пахта, характеризующаяся высоким содержанием лецитина и фосфолипидов, обладает выраженными эмульгирующими свойствами, поэтому её включение в Сценарии может расширить ассортиментную линейку за счёт эмульсионных продуктов, включая соусы, спреды и заправки на основе сыворотки, что дополнительно увеличивает глубину переработки молока и повышает устойчивость бизнес-модели МСБ.

Литература

1. Sustainability and the Food Industry: A Bibliometric Analysis / E. K. Şimşek, M. Kara, M. B. Kalıpçı, R. Eren // Sustainability. – 2024. – Т. 16, № 7. – С. 3070. – DOI: 10.3390/su16073070.
2. Decentralised by-product valorisation in the dairy value chain: an opportunity for sustainable intensification / E. Mehner, V. Fantin, D. Pizzichini, M. Vaccari // Journal of Cleaner Production. – 2024. – Т. 478. – С. 143958. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.143958.
3. Systematic literature review on technological transformation in SMEs: a transformation encompassing technology assimilation and business model innovation / C. S. de Mattos, G. Pellegrini, G. Hagelaar, W. Dolfsma // Management Review Quarterly. – 2023. – Т. 74. – DOI: 10.1007/s11301-023-00327-7.
4. Invited review: Acid whey trends and health benefits / D. Rocha-Mendoza [и др.] // Journal of Dairy Science. – 2021. – Т. 104, № 2. – С. 1262–1275. – DOI: 10.3168/jds.2020-19038.
5. Valorising Whey: From Environmental Burden to Bio-Based Production of Value-Added Compounds and Food Ingredients / H. Selmi, E. Presutto, G. Spano [и др.] // Foods. – 2025. – Т. 14, № 21. – С. 3646. – DOI: 10.3390/foods14213646.
6. Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives / D. Buchanan, W. Martindale, E. Romeih, E. Hebishy // International Journal of Dairy Technology. – 2023. – Т. 76, № 2. – С. 291–312. – DOI: 10.1111/1471-0307.12935.
7. Nutritional, phytochemical, and bioactive prospects of black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) and saskatoon berry (*Amelanchier ovalis*) grown in the Republic of Kazakhstan / A. T. Sagandyk [и др.] // Applied Food Research. – 2024. – Т. 4, № 2. – С. 100564. – DOI: 10.1016/j.afres.2024.100564.
8. Whey: Composition, Processing, Application, and Prospects in Functional and Nutritional Beverages—A Review / A. Mirzakulova [и др.] // Foods. – 2025. – Т. 14, № 18. – С. 3245. – DOI: 10.3390/foods14183245.
9. Acid whey valorization: novel approaches for probiotic and functional

products development / B. Mutaliyeva [и др.] // *Frontiers in Nutrition*. – 2025. – Т. 12. – DOI: 10.3389/fnut.2025.1630925.

10. Calcium Chelation by Phosphate Ions and Its Influence on Fouling Mechanisms of Whey Protein Solutions in a Plate Heat Exchanger / L. A. Scudeller [и др.] // *Foods*. – 2021. – Т. 10, № 2. – С. 259. – DOI: 10.3390/foods10020259.

11. Effect of Whey Protein Changes on Milk Flavor and Sensory Characteristics During Heating / Z. Zhang [и др.] // *Foods*. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 33. – DOI: 10.3390/foods14010033.

12. Das P. A Review on Different Treatment Possibilities of Dairy Wastewater / P. Das, K. K. Paul // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. – 2023. – Т. 57, № 4. – С. 563–580. – DOI: 10.1134/s0040579523040346.

13. Effects of Aronia polyphenols on the physico-chemical properties of whey, soy, and pea protein isolate dispersions / M. M. Hansen, R. W. Hartel, Y. H. Roos // *Food Production, Processing and Nutrition*. – 2021. – Т. 3, № 29. – DOI: 10.1186/s43014-021-00074-w.

14. Amelanchier Medik. Species: An Underutilized Source of Bioactive Compounds with Potential for Pharmacological and Nutraceutical Applications / S. Saunoriūtė, J. Sukackas, L. Raudonė // *Molecules*. – 2025. – Т. 30, № 17. – С. 3562. – DOI: 10.3390/molecules30173562.

15. Review on the impact of the molecular structure of pectin on the associative phase separation with proteins / S. Drusch, M. Eichhorn, S. Heinert [и др.] // *Food Hydrocolloids*. – 2024. – Т. 156. – С. 110289. – DOI: 10.1016/j.foodhyd.2024.110289.

16. Characterization of Berry Pomace Powders as Dietary Fiber-Rich Food Ingredients with Functional Properties / I. Jurevičiūtė, M. Keršienė, L. Bašinskienė [и др.] // *Foods*. – 2022. – Т. 11, № 5. – С. 716. – DOI: 10.3390/foods11050716.

17. Interactions between Salivary Proteins and Dietary Polyphenols: Potential Consequences on Gastrointestinal Digestive Events / M. Morzel, F. Canon, S. Guyot // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2022. – Т. 70, № 21. – С. 6317–6327. – DOI: 10.1021/acs.jafc.2c01183.

Учебное издание

Сейдуалиева Гульнур Адлетовна

**АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ РЕЦИКЛИНГА
ВТОРИЧНЫХ МОЛОЧНЫХ РЕСУРСОВ:
МАТРИЦА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Методическое пособие

Подписано в печать 17.02.2026. Гарнитура Times New Roman.
Формат 60×84/16. Усл. п. л. 1,63. Тираж 500 экз. Заказ № 17.
Оригинал-макет подготовлен и тиражирован в ООО «ЭПИЦЕНТР»
308010, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135, офис 40
ООО «АПНИ», 308023, г. Белгород, пр-кт Богдана Хмельницкого, 135