

Хлебопечение России

2026

№ 3-4



Главный редактор журнала

Битус Евгений Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры прикладной механики и инжиниринга технических систем, Российский биотехнологический университет, Москва, Россия.

Заместитель главного редактора

Омельченко Олег Михайлович – кандидат экономических наук, доцент, директор центра коммерциализации и трансфера технологий, Российский биотехнологический университет, Почётный Пекарь России, Москва, Россия.

Выпускающий редактор

Забайкин Юрий Васильевич – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, Москва, Россия.

Редакционная коллегия

Алехина Надежда Николаевна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия.

Белявская Ирина Георгиевна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия.

Березина Наталья Александровна – доктор технических наук, доцент, проректор по цифровизации, научной и инновационной деятельности, Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина, Орел, Россия.

Ильина Ольга Александровна – доктор технических наук, профессор, ректор, Международная промышленная академия, Москва, Россия.

Жаркова Ирина Михайловна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия.

Жиров Михаил Вениаминович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной автоматики, Московский государственный университет технологий и управления им К.Г. Разумовского, Москва, Россия.

Казарцев Дмитрий Анатольевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии виноделия, бродильных производств и химии им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления им К.Г. Разумовского, Москва, Россия.

Краснов Андрей Евгеньевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии», Московский государственный университет технологий и управления им К.Г. Разумовского, Москва, Россия.

Краус Сергей Викторович – доктор технических наук, профессор, генеральный директор ООО «Ирекс», вице-президент Российского союза пекарей, председатель правления Союза производителей пищевых ингредиентов, председатель рабочей группы по аграрной и пищевой промышленности при Российско-Германской внешнеторговой палате, Барнаул, Россия.

Магомедов Газибег Омарович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия.

Макаров Сергей Васильевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии пищевых продуктов и биотехнологии, Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия.

Налиухин Алексей Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия.

Никитин Игорь Алексеевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой пищевых технологий и биоинженерии, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия.

Пономарева Елена Ивановна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия.

Росляков Юрий Федорович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры пищевой инженерии, Кубанский государственный технический университет, Краснодар, Россия.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО

- Надежда Николаевна Алёхина, Жанна Сергеевна Романенко,
Елена Ивановна Пономарева, Светлана Ивановна Лукина
Сравнительная оценка минерального состава и показателей безопасности
муки из цельносмолотого зерна пшеницы 10

ИНФОРМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

- Максим Александрович Кузнецов
Искусственный интеллект в проектировании функциональных пищевых
продуктов: возможности и ограничения цифрового скрининга биологически
активных соединений 20

МАРКЕТИНГ И ФИНАНСЫ

- Олег Михайлович Омельченко
Реконфигурация хлебопекарной отрасли России в контуре FMCG:
методология, модель ограничений и управленческие выводы 38

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- Олег Михайлович Омельченко
Frozen bakery и retail bakery как новая архитектура хлебной категории:
экономика, технологии и управленческие решения 52

CONTENTS

TECHNOLOGY AND PRODUCTION

- Nadezhda N. Alekhina, Zhanna S. Romanenko, Elena I. Ponomareva,
Svetlana I. Lukina
Comparative evaluation of mineral composition and flour safety indicators of whole-
ground wheat grain 10

INFORMATIZATION AND MANAGEMENT

- Maksim A. Kuznetsov
Artificial intelligence in the design of functional food products: opportunities and
limitations of digital screening of bioactive compounds 20

MARKETING AND FINANCE

- Oleg M. Omelchenko
Reconfiguration of the Russian bakery industry within the FMCG framework:
methodology, constraint model and managerial implications 38

APPLIED RESEARCH

- Oleg M. Omelchenko
Frozen bakery and retail bakery as a new architecture of the bread category:
economics, technology and management decisions 52

ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО

Влияние температуры и pH среды на реологические свойства водных растворов гидроколлоида семян льна

Сравнительная оценка минерального состава и показателей безопасности муки из цельносмолотого зерна пшеницы

Надежда Николаевна Алёхина

Доктор технических наук, доцент
Воронежский государственный университет инженерных технологий
Воронеж, Россия
nadinat@yandex.ru
ORCID 0000-0002-3317-9858

Жанна Сергеевна Романенко

Экстерн
Воронежский государственный университет инженерных технологий
Воронеж, Россия
gs.romanenko@yandex.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Елена Ивановна Пономарева

Доктор технических наук, профессор
Воронежский государственный университет инженерных технологий
Воронеж, Россия
elena6815@ya.ru
ORCID 0000-0003-2310-2838

Светлана Ивановна Лукина

Кандидат технических наук, доцент
Воронежский государственный университет инженерных технологий
Воронеж, Россия
lukina.si@yandex.ru
ORCID 0000-0003-4393-2046

Поступила в редакцию 14.12.2025

Принята 25.01.2026

Опубликована 28.02.2026

УДК 664.71

EDN AZKWGF

БАК 4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

OECD 02.11.JY. FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

Аннотация

Повышение качества и обеспечение безопасности продуктов питания, а также придание им функциональных свойств является одной из актуальных задач современной пищевой промышленности. В хлебопекарной отрасли в настоящее время отмечается тенденция применения цельнозерновой муки с целью повышения пищевой ценности продукта, расширения производства изделий функционального

и лечебно-профилактического назначения. В условиях растущего спроса на обогащенные микроэлементами продукты особое внимание уделяется изучению качества муки из новых сортов пшеницы, а также разработке изделий на ее основе. В связи с этим была проведена сравнительная оценка минерального состава, показателей безопасности трех образцов цельносмолотой муки: № 1 – «Рязаночка», № 2 – из пшеницы сорта «Памяти Коновалова» и № 3 – из биоактивированной пшеницы того же сорта. Минеральный состав и показатели безопасности в образцах муки определяли в соответствии с методиками из действующих стандартов и с применением масс-спектрометрии. Установлено, что мука, полученная из биоактивированного зерна пшеницы сорта «Памяти Коновалова», содержала большее количество минеральных веществ в биоусвояемой форме (за исключением калия, бора, кобальта, хрома, железа, лития, марганца, ванадия) и меньшее количество токсичных элементов: ртути ниже в 4,5 раза, кадмия и свинца – в 1,2 раза, мышьяка – более чем в 2 раза по сравнению с мукой, полученной из пшеницы того же сорта без стадии биоактивации. Наименьшее количество минеральных и токсичных веществ наблюдалось в муке «Рязаночка».

Ключевые слова

пшеница сорта «Памяти Коновалова», мука цельносмолотая, биоактивация, минеральный состав, показатели безопасности.

Введение

В современном обществе наблюдается устойчивый рост интереса к продуктам, которые не только обеспечивают основу рациона питания человека, но и обладают выраженными оздоровительными и профилактическими свойствами. Одним из перспективных направлений является использование в их технологии муки из целого зерна разных видов злаковых и бобовых культур, обладающих повышенным содержанием нутриентов (Науменко, 2022).

Динамика роста спроса на муку из цельного зерна представлена на рисунке 1 (Колина, 2024).

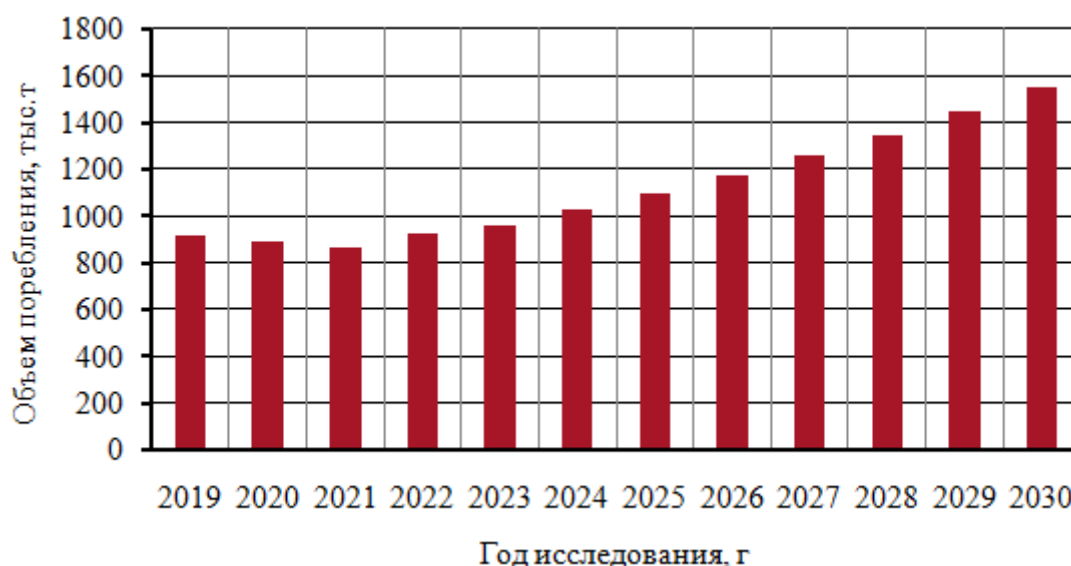


Рисунок 1. Динамика потребления на рынке муки из цельносмолотого зерна в 2019-2030 г (с прогнозом), тыс. т

Исходя из данных, приведенных на рисунке 1, видно, что спрос на муку пшеничную цельнозерновую постоянно растет. Небольшой спад отмечался во время пандемии в 2020-2022 годах. Стабильное увеличение спроса подтверждает тренд на здоровое питание с использованием цельнозерновых продуктов.

Доказано, что регулярное потребление продуктов на основе цельносмолотой муки положительно влияет на микрофлору кишечника, снижает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, диабета 2-го типа и некоторых видов онкологических заболеваний (Seal, 2021; Пырьева, 2023).

Среди новейших достижений отечественной селекции особое внимание привлекает сорт яровой мягкой пшеницы «Памяти Коновалова», созданный на базе Федерального научного центра зернобобовых и крупяных культур и РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (Алехина, 2025). Отличительные ее особенности представлены на рисунке 2.



Рисунок 2. Отличительные особенности пшеницы «Памяти Коновалова»

Особый интерес представляет дальнейшее использование такого зерна в технологиях, направленных на повышение пищевой и биологической ценности продукции. В связи с этим особое значение приобретает проращивание, поскольку именно оно позволяет активировать внутренние резервы зерна и обогатить его состав (Науменко, 2019; Miyahira, 2021; Abdi, 2024; Elliott, 2022).

Процесс проращивания зерна сопровождается активацией ферментативных систем, в результате которой увеличивается концентрация витаминов, в биоусвояемой форме минеральных веществ, антиоксидантов, тем самым улучшая пищевую и биологическую ценность конечного продукта (Зенькова, 2021; Науменко, 2024; Majzoubi, 2023; Samtiya, 2020). Это особенно важно для создания функциональных хлебобулочных изделий, которые будут способствовать укреплению здоровья населения.

Доказано, что проращивание снижает уровень антипитательных факторов, прежде всего фитиновой кислоты, что повышает потенциальную биодоступность железа и цинка (Ших, 2023; Rousseau, 2020).

Контроль содержания токсичных элементов в зерновых продуктах крайне важен для оценки их безопасности и качества. Такие вещества, как мышьяк, кадмий, ртуть и свинец в повышенных концентрациях могут негативно влиять на здоровье человека, вызывая токсическое действие на органы и системы организма (Хамидулина, 2021). Особенно важно учитывать их содержание в продуктах, предназначенных для функционального питания.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью оценки влияния проращивания на химический состав и безопасность муки из цельносмолотого зерна пшеницы, что позволит расширить ассортимент качественных и полезных продуктов.

Цель работы – провести сравнительную оценку минерального состава и показателей безопасности муки из целого зерна пшеницы.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования использовались три образца муки (рис. 3).



Рисунок 3. Образцы муки

Методы исследования и вид оборудования, использованные при анализе образцов муки, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Стандарты и методы анализа

Наименование показателя	Стандарт (метод анализа)
Определение минерального состава	Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой на Nexion 300D (Perkin Elmer, США)
Содержание As, Cd, Hg	Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой на Nexion 300D (Perkin Elmer, США)
Содержание Pb	ГОСТ 26932-86

Результаты и обсуждения

Известно, что макро- и микроэлементы играют ключевую роль в поддержании нормальных физиологических функций организма. Они участвуют в обменных процессах, ферментативной активности, иммунной защите и формировании костной ткани (Хисматуллин, 2020; Викторова, 2021). Проведенный анализ минерального состава исследуемых образцов - одного из важнейших показателей, отражающего биологическую ценность продукта, показал, что цельнозерновая мука содержит большое количество макро- и микроэлементов, которые необходимы для укрепления иммунитета, регуляции обменных процессов и защиты организма от негативных факторов внешней среды (см. рис. 4 и 5).

Образец № 2 отличался значительно более высоким содержанием макроэлементов (кальция, калия, магния, фосфора, натрия) по сравнению с цельнозерновой мукой «Рязаночка» и большим количеством калия по сравнению с образцом № 3. Так, содержание кальция в образце № 2 было почти в 1,5 раза больше, чем в контрольном образце, а в образце № 3 его количество составило 848,6 мг/кг, что в 1,9 раза больше по сравнению с образцом № 2. По другим макроэлементам (за исключением калия) образец № 3 также превосходил образец № 2, что обусловлено высвобождением ионов металлов из связанного состояния под действием на фитин фитазы, активность которой повышается при биоактивации пшеницы. Последняя применяется для получения образца муки № 3.

По содержанию микроэлементов образцы № 2 и № 3 также превосходили образец № 1, за исключением цинка, которого было выше на 8,1 % в контрольном образце по сравнению с образцом муки № 2. Наибольшим их количеством (за исключением бора, кобальта, хрома, железа, лития, марганца, ванадия) характеризовался образец № 3.

Во всех образцах показатели безопасности не превышали требований, указанных в ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевых продуктов» (рис. 6).

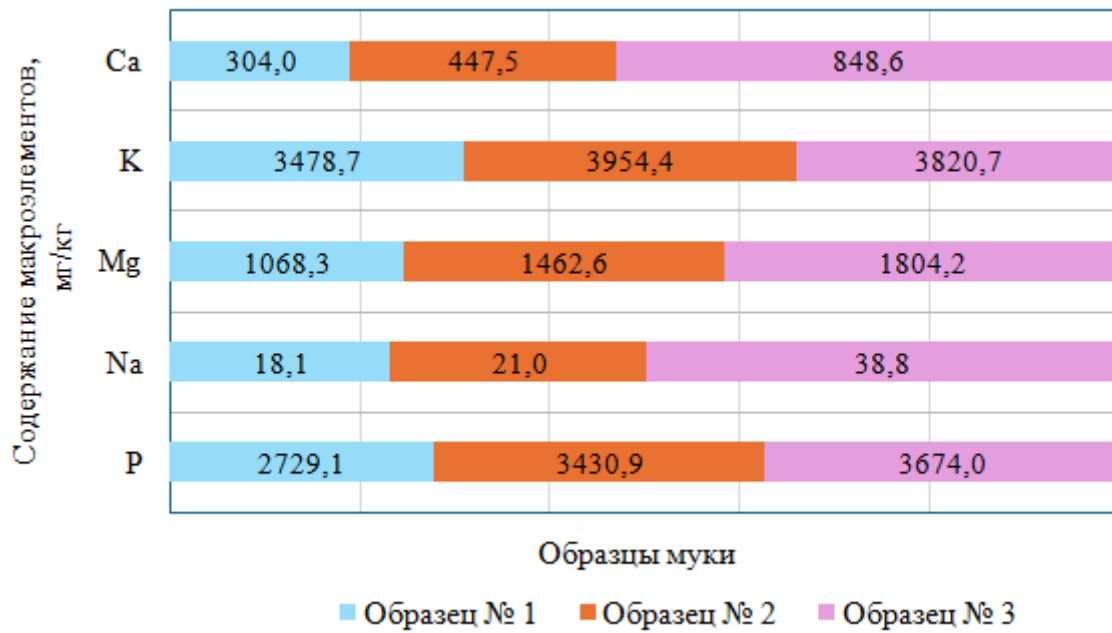


Рисунок 4. Содержание макроэлементов в разных образцах муки

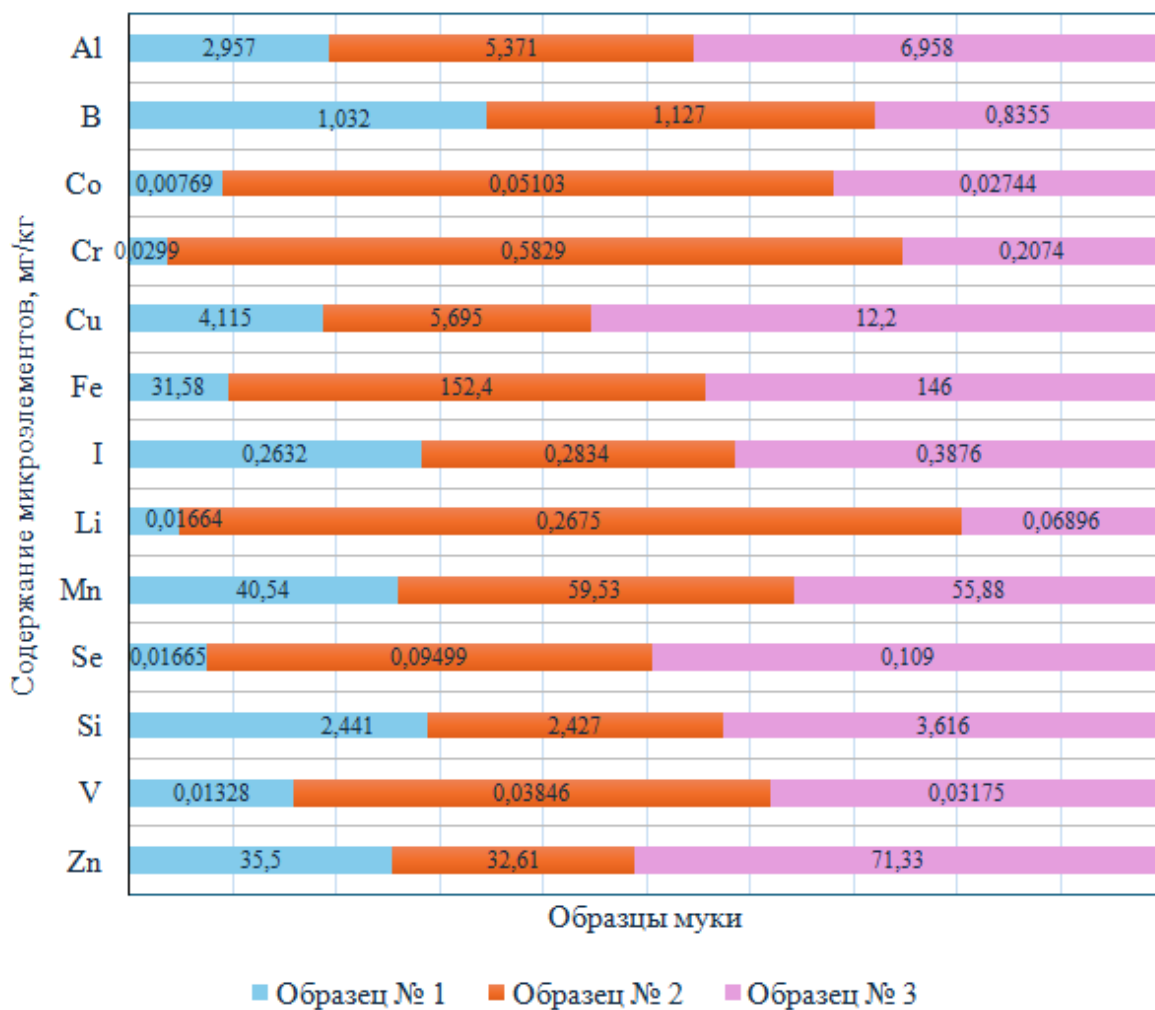


Рисунок 5. Содержание микроэлементов в разных образцах муки

Наименьшим содержанием токсичных элементов характеризовался контрольный образец, что связано с многоэтапной очисткой зерна и получением муки «Рязаночка» с применением инновационного оборудования Buhler и Antares Plus.

Образец № 3, приготовленный из пшеницы с введением стадии ее биоактивации, содержал меньшее количество токсичных элементов по сравнению с образцом № 2: количество мышьяка сократилось более чем в 2 раза; ртути – в 4,5 раза; кадмия и свинца – в 1,2 раза. Это обусловлено миграцией указанных элементов с поверхности зерновки на стадии ее промывания и последующего набухания.

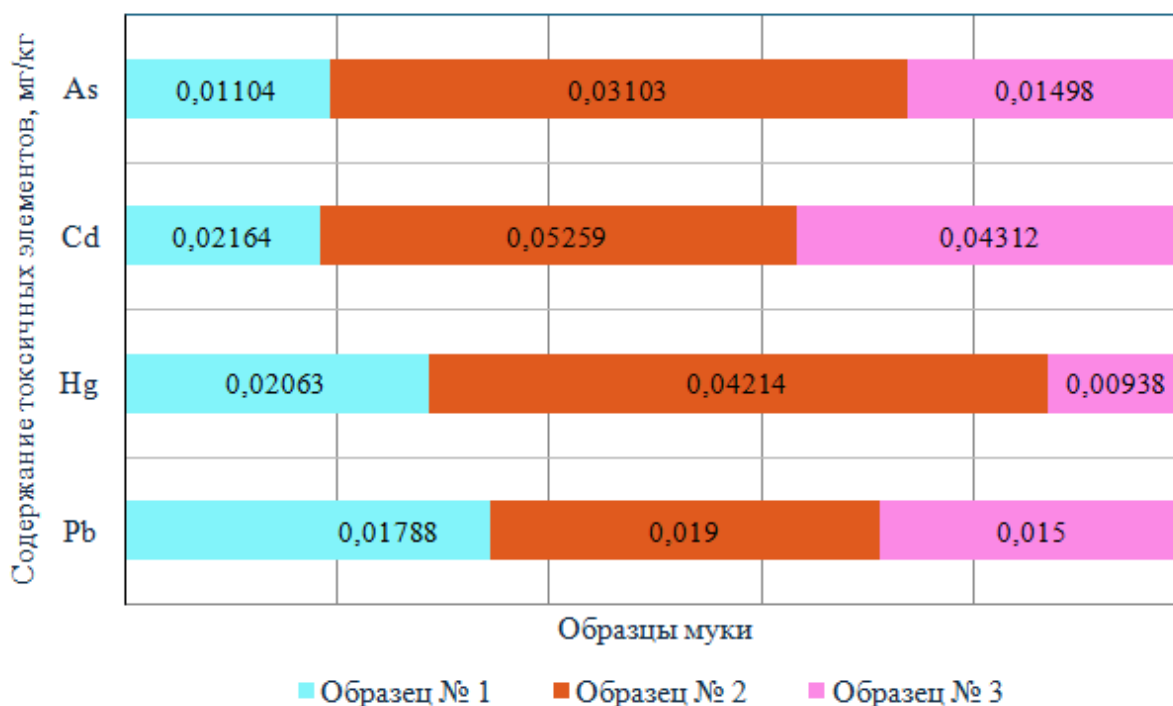


Рисунок 6. Содержание токсичных элементов в разных образцах муки

Заключение

На основе проведенных исследований установлено, что мука из цельносмолотого биоактивированного зерна пшеницы сорта «Памяти Коновалова» отличалась большим количеством макро- и микроэлементов с более высоким их содержанием, необходимых для функционирования обменных процессов в организме человека. Наименьшее количество токсичных веществ наблюдалось в муке «Рязаночка». Получение муки из зерна, прошедшего стадию биоактивации, позволило дополнительно снизить содержание в ней токсичных элементов. Применение такой муки в хлебопечении позволит создавать обогащенные и функциональные продукты, рекомендованные для рациона людей, ориентированных на сохранение здоровья и профилактику заболеваний.

Список литературы

1. Алехина Н.Н., Шевцов М.М., Глотова Д.А. Оценка биологической ценности и антиоксидантной активности пшеницы с фиолетовым цветом зерна // Хлебопродукты. 2025. № 7. С. 45-47.
2. Викторова Е.П., Лисовая Е.В., Свердловченко А.В., Воробьева О.В., Основин И.В. Актуальные вопросы применения комплексов микронутриентов для обогащения продуктов питания // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 1. С. 89-97.
3. Зенькова М.Л., Акулич А.В. Влияние процесса проращивания зерен злаковых культур на их пищевую ценность // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 3. С. 26-53.
4. Колина Е. Рынок цельносмолотой муки // Исследования компании IndexBox. 2024. № 4.
5. Наumenко Н.В., Потороко И.Ю., Велямов М.Т. Цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы как пищевой ингредиент в технологии продуктов питания // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2019. Т. 7. № 3. С. 23-30.
6. Наumenко Н.В., Потороко И.Ю., Фильков А.А. Использование цельнозернового сырьевого ингредиента для улучшения потребительских свойств пищевых продуктов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2022. Т. 10. № 1. С. 39-48.

7. Науменко Н.В., Фаткуллин Р.И., Неверова О.П., Калинина И.В. Использование процесса проращивания для повышения антиоксидантных свойств сырья // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24. № 2. С. 197-206.
8. Пырьева Е.А., Сафронова А.И., Гурченкова М.А. Анализ мировых трендов использования цельнозерновой продукции в питании населения // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 6. С. 38-44.
9. Хамидулина Х.Х., Тарасова Е.В., Ринчиндоржиева Е.А., Проскурина А.С., Егиязарян А.Р., Замкова И.В., Дорофеева Е.В., Швыкина С.А., Рабикова Д.Н., Николаева Н.И., Филин А.С., Лебедева Д.А. Актуальные вопросы регулирования содержания свинца, кадмия, ртути и мышьяка в продуктах питания // Токсикологический вестник. 2021. № 1(166). С. 2-13.
10. Хисматуллин Д.Р., Чигвинцев В.М., Кирьянов Д.А. Влияние микро- и макроэлементов в продуктах питания на здоровье человека // Вестник ПГУ. Биология. 2020. № 1. С. 54-62.
11. Ших Е.В., Махова А.А., Дорогун О.Б., Елизарова Е.В. Роль фитатов в питании человека // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 4. С. 20-28.
12. Abdi R., Cao W., Joye I.J. Unlocking the potential health improving properties of sprouted wheat // Food Chemistry. 2024. Vol. 458. pp. 140285.
13. Elliott H., Woods P., Green B.D., Nugent A.P. Can sprouting reduce phytate and improve the nutritional composition and nutrient bioaccessibility in cereals and legumes? // Nutrition Bulletin. 2022. Vol. 47. № 2. pp. 138-156.
14. Majzoobi M., Wang Z., Teimouri S., Pematilleke N., Brennan C.S., Farahnaky A. Unlocking the potential of sprouted cereals, pseudocereals, and pulses in combating malnutrition // Foods. 2023. Vol. 12. pp. 3901.
15. Miyahira R.F., Lopes J.O., Antunes A.E.C. The use of sprouts to improve the nutritional value of food products: a brief review // Plant Foods for Human Nutrition. 2021. Vol. 76. № 2. pp. 143-152.
16. Rousseau S., Kyomugasho C., Celus M., Hendrickx M.E.G., Grauwet T. Barriers impairing mineral bioaccessibility and bioavailability in plant-based foods and the perspectives for food processing // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020. Vol. 60. № 5. pp. 826-843.
17. Samtiya M., Aluko R.E., Dhewa T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview // Food Production, Processing and Nutrition. 2020. Vol. 2.
18. Seal C.J., Courtin C.M., Venema K., de Vries J. Health benefits of whole grain: effects on dietary carbohydrate quality, the gut microbiome, and consequences of processing // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021. Vol. 20. № 3. pp. 2742-2768.

Comparative evaluation of mineral composition and flour safety indicators of whole-ground wheat grain

Nadezhda N. Alekhina

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Voronezh State University of Engineering Technologies
Voronezh, Russia
nadinat@yandex.ru
ORCID 0000-0002-3317-9858

Zhanna S. Romanenko

External student
Voronezh State University of Engineering Technologies
Voronezh, Russia
gs.romanenko@yandex.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Elena I. Ponomareva

Doctor of Technical Sciences, Professor
Voronezh State University of Engineering Technologies
Voronezh, Russia
elena6815@ya.ru
ORCID 0000-0003-2310-2838

Svetlana I. Lukina

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Voronezh State University of Engineering Technologies
Voronezh, Russia
lukina.si@yandex.ru
ORCID 0000-0003-4393-2046

Received 14.12.2025

Accepted 25.01.2026

Published 28.02.2026

UDC 664.71

EDN AZKWGF

VAK 4.3.3. Food systems (technical sciences)

OECD 02.11.JY. FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

Abstract

Improving the quality and safety of food products, as well as giving them functional properties, is one of the urgent tasks of the modern food industry. Currently, the bakery industry is observing a trend towards using whole grain flour to enhance the nutritional value of products and expand the production of functional and therapeutic products. In the context of growing demand for micronutrient-enriched products, special attention is paid to the study of the quality of flour from new varieties of wheat, as well as the development of products based on it. In this regard, a comparative assessment of the mineral composition and safety indicators of three samples of whole-ground flour was carried out: № 1 – Ryazanochka, № 2 – from wheat of the Memory Konovalov variety and № 3 – from bioactivated wheat of the same variety. The mineral composition and safety parameters of the flour samples were determined according to current standards and using mass spectrometry. It was found that flour obtained from bioactivated wheat grain of the Memory Konovalov variety contained a larger amount of minerals in a bioavailable form (with the exception of potassium, boron, cobalt, chromium, iron, lithium, manganese, vanadium) and a smaller amount of toxic elements: mercury is 4,5 times lower, cadmium and lead – 1,2 times, arsenic – more than 2 times compared to flour obtained from wheat of the same variety without a bioactivation stage. The smallest amount of mineral and toxic substances was observed in Ryazanochka flour.

Keywords

wheat of the «Memory Konovalov» variety, whole-ground flour, bioactivation, mineral composition, safety indicators.

References

1. Alekhina N.N., Shevtsov M.M., Glotova D.A. Assessment of the biological value and antioxidant activity of wheat with purple grain color // Bread products. 2025. № 7. pp. 45-47.
2. Viktorova E.P., Lisovaya E.V., Sverdlichenko A.V., Vorobyeva O.V., Osnovin I.V. Current issues of the application of micronutrient complexes for the enrichment of food products // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy food products. 2021. № 1. pp. 89-97.

3. Zenkova M.L., Akulich A.V. Influence of the process of germination of cereal grains on their nutritional value // Storage and processing of agricultural raw materials. 2021. № 3. pp. 26-53.
4. Kolina E. Market of wholemeal flour // Research by IndexBox. 2024. № 4.
5. Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Velyamov M.T. Whole-ground flour from sprouted wheat grain as a food ingredient in food technology // Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2019. Vol. 7. № 3. pp. 23-30.
6. Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Filkov A.A. The use of whole grain raw material ingredient to improve the consumer properties of food products // Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2022. Vol. 10. № 1. pp. 39-48.
7. Naumenko N.V., Fatkullin R.I., Neverova O.P., Kalinina I.V. Using the germination process to enhance the antioxidant properties of raw materials // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24. № 2. pp. 197-206.
8. Pyr'eva E.A., Safronova A.I., Gurchenkova M.A. Analysis of global trends in the use of whole grain products in the nutrition of the population // Nutrition Issues. 2023. Vol. 92. № 6. pp. 38-44.
9. Khamidulina H.H., Tarasova E.V., Rinchindorzhieva E.A., Proskurina A.S., Yeghiazaryan A.R., Zamkova I.V., Dorofeeva E.V., Shvykina S.A., Rabikova D.N., Nikolaeva N.I., Filin A.S., Lebedeva D.A. Current issues of regulating the content of lead, cadmium, mercury and arsenic in food products // Toxicological Bulletin. 2021. № 1(166). pp. 2-13.
10. Khismatullin D.R., Chigvintsev V.M., Kiryanov D.A. Influence of micro- and macroelements in food products on human health // PGU Bulletin. Biology. 2020. № 1. pp. 54-62.
11. Shikh E.V., Makhova A.A., Dorogun O.B., Elizarova E.V. The Role of Phytates in Human Nutrition // Nutrition Issues. 2023. Vol. 92. № 4. pp. 20-28.
12. Abdi R., Cao W., Joye I.J. Unlocking the potential health improving properties of sprouted wheat // Food Chemistry. 2024. Vol. 458. pp. 140285.
13. Elliott H., Woods P., Green B.D., Nugent A.P. Can sprouting reduce phytate and improve the nutritional composition and nutrient bioaccessibility in cereals and legumes? // Nutrition Bulletin. 2022. Vol. 47. № 2. pp. 138-156.
14. Majzoobi M., Wang Z., Teimouri S., Pematilleke N., Brennan C.S., Farahnaky A. Unlocking the potential of sprouted cereals, pseudocereals, and pulses in combating malnutrition // Foods. 2023. Vol. 12. pp. 3901.
15. Miyahira R.F., Lopes J.O., Antunes A.E.C. The use of sprouts to improve the nutritional value of food products: a brief review // Plant Foods for Human Nutrition. 2021. Vol. 76. № 2. pp. 143-152.
16. Rousseau S., Kyomugasho C., Celus M., Hendrickx M.E.G., Grauwet T. Barriers impairing mineral bioaccessibility and bioavailability in plant-based foods and the perspectives for food processing // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020. Vol. 60. № 5. pp. 826-843.
17. Samtiya M., Aluko R.E., Dhewa T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview // Food Production, Processing and Nutrition. 2020. Vol. 2.
18. Seal C.J., Courtin C.M., Venema K., de Vries J. Health benefits of whole grain: effects on dietary carbohydrate quality, the gut microbiome, and consequences of processing // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021. Vol. 20. № 3. pp. 2742-2768.

ИНФОРМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Искусственный интеллект в проектировании функциональных пищевых продуктов: возможности и ограничения цифрового скрининга биологически активных соединений

Максим Александрович Кузнецов

Специалист-эксперт

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова

Москва, Россия

Kuznetsov_MA@rea.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 11.01.2026

Принята 22.02.2026

Опубликована 30.03.2026

УДК 664.6; 664.68; 004.8

EDN GTIMSN

BAK 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки)

OECD 02.11.JY. FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

Аннотация

В обзоре систематизированы современные подходы к применению методов искусственного интеллекта для поиска, отбора и предварительной технологической оценки биологически активных веществ при проектировании функциональных пищевых продуктов. Рассмотрены машинное обучение, QSAR/QSPR-моделирование, виртуальный скрининг, сочетание молекулярного докинга с алгоритмами машинного обучения, графовые модели и методы объяснимого искусственного интеллекта. Показано, что цифровой скрининг особенно перспективен для биоактивных пептидов, полифенолов, пищевых и микробных метаболитов, пробиотических и пребиотических систем. При этом результат вычислительного прогноза не является доказательством эффективности ингредиента или продукта. Особое внимание уделено источникам данных, молекулярным дескрипторам, архитектурам моделей, пищевой матрице, безопасности, технологической стабильности и регуляторному обоснованию. Сделан вывод, что искусственный интеллект следует рассматривать как инструмент генерации и приоритизации гипотез, требующих последующей биохимической, технологической, токсикологической и регуляторной проверки. Подчёркнуто, что качество и сопоставимость исходных данных, а также сложность пищевой матрицы остаются ключевыми ограничениями, а прямой перенос моделей из фармакологической химии в пищевую технологию требует осторожности. Для хлебобулочных, зерновых, мучных кондитерских и ферментированных продуктов отдельно рассмотрена необходимость учитывать устойчивость биоактивных компонентов при замесе, ферментации, выпечке, сушке и хранении, их взаимодействие с компонентами пищевой матрицы, а также сенсорные свойства и допустимую дозировку. Искусственный интеллект рассматривается как средство сокращения экспериментального пространства и формирования проверяемых гипотез, а не как самостоятельный источник доказательств функциональной эффективности продукта.

Ключевые слова

искусственный интеллект, машинное обучение, функциональные пищевые продукты, биологически активные вещества, биоактивные пептиды, полифенолы, пищевые метаболиты, пищевая матрица.

Исследование выполнено за счет средств субсидии на выполнение государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научно-исследовательского проекта № FSSW-2025-0004.

Введение

Перед современной пищевой промышленностью стоит задача создания продуктов, которые отвечают требованиям безопасности, стабильного качества и потребительской приемлемости, а также обладают научно обоснованной функциональной направленностью. Для хлебобулочных, зерновых, мучных кондитерских и ферментированных продуктов это требует учета рецептурного состава, устойчивости биоактивных компонентов при замесе, ферментации, выпечке, сушке и хранении, а также характера их взаимодействия с белками, крахмалом, липидами, пищевыми волокнами и минеральными веществами пищевой матрицы.

Актуальность цифровых методов определяется не только ростом интереса к функциональному питанию, но и принципиальной сложностью химического состава пищевого сырья. А.-Л. Барабаши, Д. Меникетти и Дж. Лоскальцо показали, что традиционные базы пищевого состава фиксируют лишь ограниченную часть химического разнообразия рациона, тогда как значительное число малых молекул, вторичных растительных метаболитов и продуктов микробной трансформации остается недостаточно картированным (Barabasi, 2020). Следовательно, проектирование функционального продукта должно опираться не только на расчет белков, жиров, углеводов, витаминов и минеральных веществ, но и на более глубокое описание пищевого «химического пространства».

Сходная логика прослеживается в исследованиях персонализированного питания. В работе Д. Зееви и соавторов машинное обучение было использовано для прогноза индивидуальных постпрандиальных гликемических ответов, что продемонстрировало возможность перехода от усредненных диетических рекомендаций к вычислительно поддерживаемому подбору пищевых решений (Zeevi, 2015). В отечественной технологической практике близкий подход реализован в работах по персонализированным хлебобулочным и мучным кондитерским изделиям, где данные о физиологических особенностях и нутритивных потребностях потребителя рассматривались как основание для целенаправленной рецептурной корректировки (Никитин, 2019). При этом такие разработки следует рассматривать как пищевые системы с заданной нутриентной и функциональной направленностью, а не как лечебные средства.

Классический путь поиска биоактивных ингредиентов остается трудоемким. Он включает анализ литературы и баз данных, выделение или получение соединений, проведение биохимических и клеточных испытаний, оценку безопасности, стабильности, совместимости с пищевой матрицей, а затем технологическую адаптацию к конкретному виду продукта. Такой подход является методологически надежным, но плохо масштабируется при необходимости оценивать сотни и тысячи пищевых метаболитов, пептидов, полифенолов, липидных компонентов, пробиотических штаммов или продуктов ферментации.

Методы искусственного интеллекта, прежде всего машинного обучения, позволяют рационально сократить экспериментальное пространство. Их значение состоит не в замене лабораторных испытаний, а в предварительном отборе кандидатов, ранжировании соединений по вероятности активности, выявлении возможных молекулярных мишеней, оценке технологических ограничений и формировании проверяемых гипотез. В отличие от эмпирического подбора ингредиентов, ИИ-ассистированный подход связывает данные о химической структуре, пищевом происхождении вещества, предполагаемом механизме действия, биодоступности, безопасности и пригодности к включению в продуктовую матрицу.

Цель настоящего обзора состоит в критической систематизации современных подходов к применению методов искусственного интеллекта для поиска биологически активных веществ при проектировании пищевых продуктов функционального назначения. Особое внимание уделено математическому инструментарию, источникам данных, дескрипторам, архитектурам моделей, интерпретации результатов, а также ограничениям, связанным с пищевой матрицей, безопасностью, воспроизводимостью и необходимостью экспериментальной валидации.

Материалы и методы исследования

В методологическом отношении обзор имеет нарративно-аналитический характер. Рассмотрены открытые химические, пищевые, метаболомные и белковые ресурсы, публикации по машинному обучению и вычислительной химии, работы по биоактивным пептидам, полифенолам, микробным метаболитам, пробиотикам и пребиотикам, а также нормативные требования к функциональным и специализированным пищевым продуктам. Метаанализ клинической эффективности отдельных продуктов в задачи настоящей работы не входил.

Результаты и обсуждение

Общая схема ИИ-ассистированного поиска биоактивных соединений для функциональных пищевых продуктов

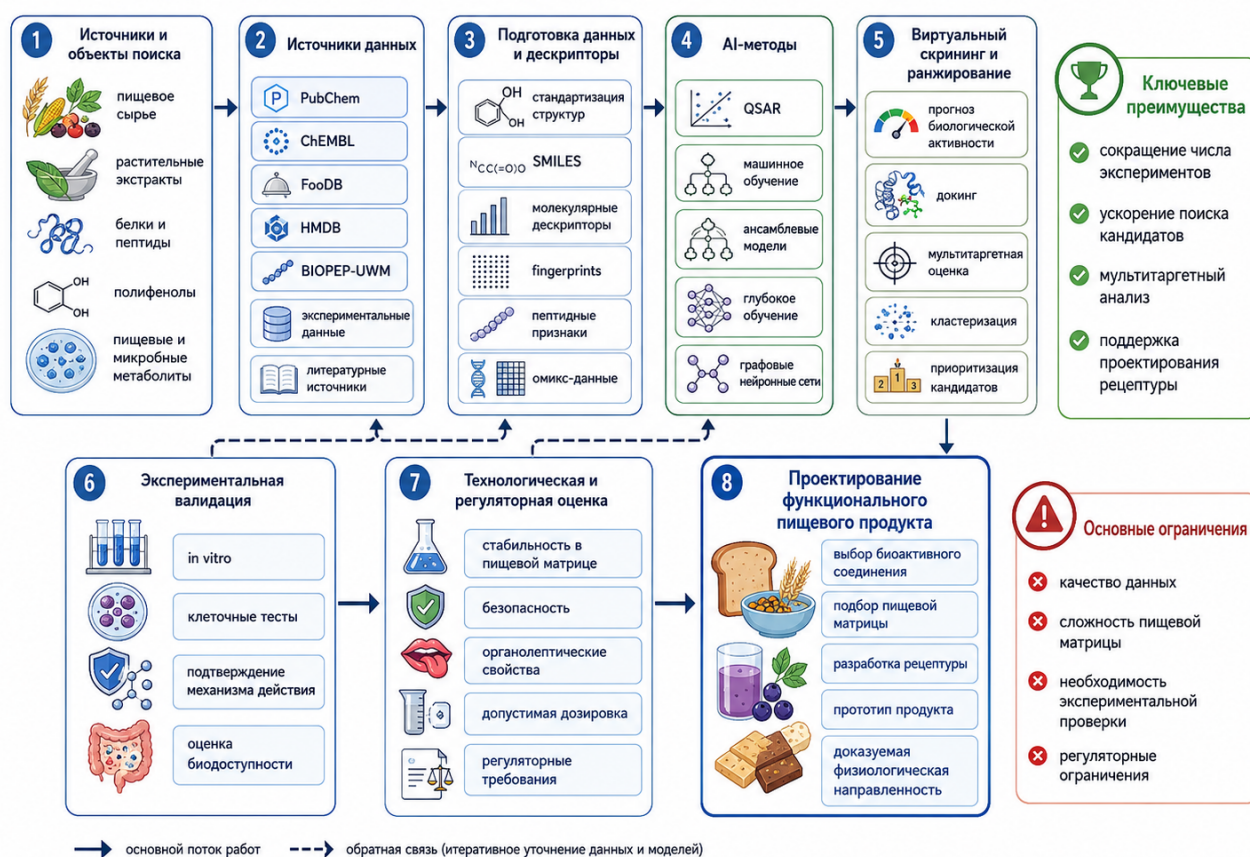


Рисунок 1. Общая схема ИИ-ассистированного поиска биоактивных соединений для функциональных пищевых продуктов

Применение искусственного интеллекта в поиске биоактивных веществ начинается с перевода химической, биологической и технологической информации в формализованный набор признаков. Для низкомолекулярных соединений такими признаками служат молекулярная масса, липофильность, топологическая полярная поверхность, число доноров и акцепторов водородной связи, количество вращающихся связей, ароматичность, доля sp^3 -гибридизованных атомов углерода, топологические индексы и молекулярные отпечатки. Для пептидов дополнительно учитываются аминокислотная последовательность, заряд, гидрофобность, длина, мотивы расщепления и устойчивость к пищеварительным ферментам. Для пробиотических культур значимы геномные, метаболомные и фенотипические признаки.

К числу базовых инструментов относится QSAR/QSPR-моделирование, то есть построение количественных зависимостей «структура-активность» или «структура-свойство». В пищевых

исследованиях этот подход применим для предварительного поиска антиоксидантных, гипотензивных, гипогликемических, противовоспалительных и иных потенциально полезных соединений. Математически задача может решаться как регрессия, если прогнозируется количественный показатель активности, например IC50, либо как классификация, если соединение относится к условным классам «активное» и «неактивное». При этом фармакологические пороги активности, например IC50 не выше 1 мкМ, допустимы только как технические критерии разметки данных, поскольку пищевая эффективность зависит от дозы, биодоступности, метаболизма и матричных эффектов.

Для представления структуры малых молекул широко используются молекулярные отпечатки. Работа Д. Роджерса и М. Хана по расширенным циклическим отпечаткам заложила одну из наиболее распространенных основ для кодирования локального химического окружения атомов (Rogers, 2010). Такие признаки особенно удобны для оценки структурного сходства, кластеризации химического пространства и построения моделей активности. В пищевой технологии это важно потому, что структурно близкие соединения могут по-разному вести себя при нагревании, ферментации, сушке и хранении.

Классическое машинное обучение сохраняет большое значение в связи с ограниченным объемом специализированных пищевых датасетов. Случайный лес Л. Бреймана, метод опорных векторов К. Кортеса и В. Вапника, градиентный бустинг, XGBoost Т. Чена и К. Гестрина, а также CatBoost Л. Прохоренковой и соавторов применяются для классификации активности, регрессии показателей сродства и ранжирования кандидатов (Breiman, 2001; Cortes, 1995; Chen, 2016; Prokhorenkova, 2018). Их преимущество состоит в устойчивой работе на малых и средних выборках, возможности учитывать нелинейные зависимости и сравнительно высокой интерпретируемости по сравнению с некоторыми глубокими архитектурами.

Глубокое обучение становится актуальным при наличии крупных и хорошо курированных массивов данных. В графовых нейронных сетях молекула представляется как граф, где атомы являются вершинами, а химические связи выступают ребрами. Методологическая база таких подходов связана с графовыми сверточными сетями Т. Кипфа и М. Веллинга, а также с нейронной передачей сообщений для молекулярных задач, предложенной Дж. Гилмером и соавторами (Kipf, 2017; Gilmer, 2017). В пищевых исследованиях такие модели потенциально полезны для полифенолов, липидных компонентов, ароматических веществ и продуктов ферментации, но их применение ограничено качеством обучающих наборов.

Для пептидов перспективны сверточные, рекуррентные и трансформерные архитектуры, анализирующие аминокислотные последовательности и их векторные представления. Такие модели позволяют выявлять скрытые мотивы активности, которые трудно задать вручную. Вместе с тем они требуют внешней проверки и строгого контроля утечки данных. Если пептиды из одного белка-предшественника одновременно попадают в обучающую и тестовую выборки, метрики модели могут быть завышены и не отражать ее способность к обобщению на новое сырье.

Отдельное место занимает виртуальный скрининг, в том числе молекулярный докинг. Инструменты типа AutoDock Vina позволяют оценивать возможное связывание соединения с белковой мишенью и использовать рассчитанные комплексы для первичного ранжирования (Trott, 2010). Развитие структурного прогнозирования, представленное работой Дж. Джампера и соавторов по AlphaFold, существенно расширило доступность трехмерных моделей белков, что особенно важно при недостатке экспериментальных структур пищевых ферментов, рецепторов или белков микробного происхождения (Jumper, 2021). Однако результаты докинга не следует трактовать как доказательство активности: скоринговая функция отражает модельное сродство, а не реальное действие в пищевой матрице и организме.

Объяснимый искусственный интеллект необходим для перехода от числового прогноза к научной интерпретации. Подходы, основанные на значимости признаков, коэффициентах линейных моделей и значениях Шепли, позволяют определить, какие структурные или физико-химические признаки влияют на классификацию. В работах Дж. Хименеса-Луны, Ф. Гризони и Г. Шнайдера, а также С. Лундберга и С.-И. Ли показано, что объяснимость повышает доверие к моделям и помогает формировать проверяемые

гипотезы (Jimenez-Luna, 2020; Lundberg, 2017). Вместе с тем объяснение модели не является доказательством причинности и должно подтверждаться экспериментом.

Таблица 1. Сравнительная характеристика ИИ-подходов, применяемых при поиске пищевых биоактивных соединений

Подход	Что прогнозирует	Типичные признаки	Преимущества	Ограничения и область применения
Классическое машинное обучение	Активность, сходство, класс соединения, прогноз технологического свойства	Молекулярные дескрипторы, отпечатки Моргана, физико-химические признаки	Работает на малых и средних выборках; допускает интерпретацию признаков	Требует строгой курации и проверки области применимости; методологическая база (Rogers, 2010; Breiman, 2001; Cortes, 1995; Chen, 2016; Prokhorenkova, 2018)
QSAR/QSPR	Связь структуры с биологической активностью или свойством	2D/3D-дескрипторы, фрагментные признаки, топологические индексы	Удобно для первичного скрининга пептидов, фенольных соединений и метаболитов	Фармакологические пороги активности не равны пищевой эффективности
Графовые нейронные сети	Активность и свойства молекул с учетом структуры графа	Атомы, связи, локальное химическое окружение	Снижает зависимость от ручной инженерии признаков	Нужны крупные и чистые данные; риск переобучения при малых пищевых выборках (Kipf, 2017; Gilmer, 2017)
Модели для пептидных последовательностей	Функциональный профиль и устойчивость пептидов	Аминокислотные последовательности, заряд, гидрофобность, мотивы расщепления	Позволяет анализировать белки-предшественники и гидролизаты	Необходим контроль родства пептидов в обучающей и тестовой выборках
Докинг и структурное моделирование	Вероятность связывания с ферментом или рецептором	Структура лиганда, белковая структура, конформация комплекса	Полезно для приоритизации кандидатов и гипотез о механизме	Скоринг докинга не доказывает активность; требуется in vitro-проверка (Trott, 2010; Jumper, 2021)
Объяснимый искусственный интеллект	Вклад признаков, структурных мотивов и дескрипторов	Значимость признаков, значения Шепли, коэффициенты моделей	Повышает доверие и облегчает технологическую интерпретацию	Объяснение модели не является доказательством причинной связи (Jimenez-Luna, 2020; Lundberg, 2017)
Интегральное ранжирование	Суммарный профиль кандидата по нескольким	Вероятности активности, безопасность, стабильность,	Позволяет переходить от одной молекулы к	Весовые коэффициенты должны быть обоснованы

	мишеням и ограничениям	матричные параметры	рецептурной гипотезе	биологически и технологически
--	------------------------	---------------------	----------------------	-------------------------------

Качество ИИ-ассистированного поиска определяется прежде всего качеством исходных данных. Для функциональных пищевых продуктов объектом моделирования является не абстрактная молекула, а потенциальный пищевой ингредиент, связанный с сырьем, технологическим процессом, безопасностью, биодоступностью и возможностью включения в рецептуру. Поэтому цифровой поиск начинается с формирования базы данных, в которой химическая структура, биологическая активность, происхождение вещества и пищевая релевантность приведены к сопоставимому виду.

Химические базы PubChem и ChEMBL используются для получения идентификаторов, структур, SMILES-представлений, сведений о мишенях и экспериментально измеренной активности (Kim, 2023; Gaulton, 2017). Для пищевых исследований эти ресурсы имеют двойственное значение. С одной стороны, они дают большой массив стандартизированных данных. С другой стороны, значительная часть записей имеет фармакологическое происхождение, поэтому прямой перенос на пищевые продукты без проверки происхождения вещества, допустимой дозировки, технологической стабильности и безопасности является методически некорректным.

Белковые и метаболомные ресурсы играют самостоятельную роль. UniProt предоставляет сведения о белковых последовательностях и функциональной аннотации, что делает его исходной базой для поиска белков-предшественников биоактивных пептидов (UniProt Consortium, 2023). HMDB связывает метаболиты с биохимическим контекстом человека, спектральными данными и концентрациями в биологических средах (Wishart, 2022). BIOPEP-UWM, развиваемый П. Минкевичем, А. Иваняк и М. Даревич, специализирован на биоактивных пептидах и удобен для *in silico*-гидролиза белков и поиска известных мотивов активности (Minkiewicz, 2019). GNPS, предложенный М. Вангом и соавторами, обеспечивает открытый контур для молекулярного сетевого анализа масс-спектрометрических данных природных продуктов и пищевых экстрактов (Wang, 2016).

Для пищевой химии принципиально важно сопоставлять молекулярные записи с реальным сырьем. Базы FooDB и FoodData Central, данные LC-MS/MS, результаты хроматографического профилирования и собственные производственные датасеты позволяют перейти от абстрактного соединения к конкретной матрице: зерновому сырью, растительному экстракту, заквасочной культуре, гидролизату, напитку, мучному изделию или кондитерской композиции. Такой переход является обязательным, поскольку функциональный ингредиент должен быть не только потенциально активным, но и технологически доступным.

После курации данных выполняется расчет дескрипторов. Для малых молекул используются физико-химические, топологические, электронные и поверхностные признаки. Для пептидов применяются аминокислотный состав, частотные профили, n-граммовые признаки, гидрофобность, изоэлектрическая точка, заряд, склонность к ферментативному расщеплению и предполагаемая устойчивость к пищеварению. Для штаммов пробиотических культур учитываются гены, связанные с кислотоустойчивостью, желчеустойчивостью, адгезией, синтезом метаболитов, антагонистической активностью и безопасностью.

Архитектуры моделей должны выбираться с учетом размера и природы набора данных. Для малых выборок предпочтительны интерпретируемые модели, включая логистическую регрессию, дискриминантный анализ, случайный лес и градиентный бустинг. Для больших наборов структур или последовательностей допустимо применение глубоких и графовых моделей. В любом случае необходимы внешняя проверка, оценка области применимости, контроль дисбаланса классов и исключение утечки данных. Без этих процедур высокая метрика модели может отражать особенности набора данных, а не реальную способность прогнозировать новые пищевые кандидаты.

Таким образом, источники данных, дескрипторы и архитектуры моделей образуют единую технологическую цепочку. Она начинается с пищевого сырья, открытых баз и экспериментальных измерений, продолжается стандартизацией структур и расчетом признаков, затем переходит к прогнозированию активности и ранжированию кандидатов, а завершается оценкой технологической

пригодности и безопасности. Именно такая связка отличает проектирование функционального продукта от обычного вычислительного скрининга молекул.

Таблица 2. Основные базы данных и цифровые ресурсы для поиска и аннотирования пищевых биоактивных соединений

Ресурс	Что содержит	Практическая роль	Основные ограничения
PubChem	Открытые химические структуры, идентификаторы, биологические тесты	Поиск структур, синонимов и исходных идентификаторов соединений	Неоднородное происхождение данных; требуется курация (Kim, 2023)
ChEMBL	Курируемые сведения о биоактивных молекулах и мишенях	Обучающие выборки для QSAR, классификации и регрессии	Фармакологическая направленность; обязательна проверка пищевой релевантности (Gaulton, 2017)
UniProt	Белковые последовательности и функциональная аннотация	Источник белков-предшественников для in silico-гидролиза	Не определяет пищевую пригодность белка (UniProt Consortium, 2023)
HMDB	Метаболиты человека, спектры, концентрации, биохимический контекст	Связь пищевого или микробного метаболита с метаболизмом человека	Не является базой пищевых матриц (Wishart, 2022)
BIOPEP-UWM	Биоактивные пептиды, белки и инструменты in silico-анализа	Поиск пептидных мотивов и оценка белков-предшественников	Зависит от полноты литературной курации (Minkiewicz, 2019)
GNPS	MS/MS-данные и молекулярные сети природных продуктов	Аннотация пищевых и растительных метаболитов в сложных экстрактах	Требуется масс-спектрометрическая экспертиза (Wang, 2016)
FooDB и пищевые базы	Пищевые соединения, источники, свойства и аннотации	Сопоставление молекулы с сырьем и пищевой матрицей	Степень подтвержденности записей неодинакова (FooDB)
Собственные производственные данные	LC-MS/MS, сенсорика, технологические параметры, данные хранения	Наиболее релевантны для конкретной рецептуры и предприятия	Ограниченная доступность и воспроизводимость

Наиболее разработанным направлением является поиск биоактивных пептидов. Этот класс соединений имеет ясную связь с пищевым сырьем: пептиды образуются из белков злаков, бобовых, молока, мяса, рыбы, побочных продуктов переработки, а также в процессе ферментации и ферментативного гидролиза. Обобщающие работы Х. Корхонена и А. Пихланта, а также К. Уденигве и Р. Алуко показали, что пищевые белки могут служить источником пептидов с гипотензивной, антиоксидантной, иммуномодулирующей и другими видами активности (Korhonen, 2006; Udenigwe, 2012). Для хлебопекарной и зерноперерабатывающей отрасли это особенно важно, поскольку белки пшеницы, овса, ячменя, гречихи, амаранта и бобовых могут рассматриваться не только как структурообразующие компоненты, но и как источники потенциальных функциональных последовательностей.

Типовая схема цифрового поиска пептидов включает выбор белка-предшественника, *in silico*-гидролиз, генерацию множества коротких последовательностей, расчет пептидных признаков, прогноз активности с помощью QSAR, случайного леса, градиентного бустинга, метода опорных векторов или нейросетевых моделей, а затем экспериментальную проверку. Наиболее часто анализируются ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента, дипептидилпептидазы IV, альфа-глюкозидазы, альфа-амилазы, а также антиоксидантные и противовоспалительные пептиды. Практическая ценность этого подхода состоит в том, что он позволяет увязать выбор сырья с режимом гидролиза, последующей ферментацией, устойчивостью к пищеварению и возможностью включения гидролизата в хлебобулочную или зерновую матрицу.

Второй крупный класс составляют полифенолы и флавоноиды. Они широко распространены в растительном сырье, обладают выраженным структурным разнообразием и участвуют в многочисленных биохимических взаимодействиях. И. до Валле и соавторы предложили сетевой подход к анализу полифенолов, согласно которому потенциальный эффект таких соединений связан не с одной изолированной мишенью, а с положением их белковых мишеней относительно модулей заболеваний в молекулярных сетях (do Valle, 2021). Для функциональных продуктов это особенно важно, поскольку полифенолы редко действуют как одиночные высокоспецифичные лиганды; чаще они формируют многофакторный профиль, связанный с окислительным стрессом, воспалением, липидным обменом, углеводным обменом и микробиотой.

В качестве двух авторских иллюстраций такой логики можно привести *in silico*-исследование флавоноидных кандидатов для функциональных продуктов при MASLD и модель прогнозирования активности пищевых и микробных метаболитов в отношении ER α (Kuznetsov, 2025a; Kuznetsov, 2025b). Эти работы целесообразно рассматривать не как доказательство эффективности готовых продуктов, а как примеры вычислительной приоритизации: в первом случае демонстрируется мультитаргетное ранжирование флавоноидов и перевод вероятностных оценок в прототипные рецептурные концепции; во втором случае показано, как публичные данные, молекулярные дескрипторы и сопоставление алгоритмов могут использоваться для предварительной оценки пищевых или микробных метаболитов. Оба примера требуют последующей биохимической, технологической и регуляторной проверки.

Особое место занимают пищевые и микробные метаболиты. Они могут присутствовать в исходном сырье, образовываться при ферментации, термической обработке, хранении или формироваться в организме под действием кишечной микробиоты. Работа Л. Дэвида и соавторов показала, что изменение рациона способно быстро и воспроизводимо менять состав кишечной микробиоты (David, 2014). Следовательно, для функциональных пищевых продуктов важен не только исходный состав продукта, но и его способность изменять микробные процессы и профиль метаболитов. Методы ИИ могут использоваться для связывания режимов ферментации, условий хранения, состава субстрата и метаболомного профиля продукта.

Пробиотики, пребиотики и синбиотики требуют иной модельной логики. Здесь объектом поиска часто является не отдельная молекула, а согласованная система, включающая штамм, субстрат, пищевую матрицу и условия доставки. Консensusные работы К. Хилла и соавторов по пробиотикам, а также Г. Гибсона и соавторов по пребиотикам подчеркивают необходимость точного определения штамма, механизма действия и условий применения (Hill, 2014; Gibson, 2017). При этом исследование Н. Зморя и соавторов показало, что колонизация после приема пробиотиков может существенно различаться у разных людей, что подтверждает необходимость персонализированных и модельно поддерживаемых подходов (Zmora, 2018).

Для хлебобулочных, зерновых и ферментированных продуктов это направление связано с разработкой заквасок, выбором волокон, устойчивых крахмалов, бета-глюканов, инулина, арабиноксиланов и других субстратов, доступных микробиоте. ИИ может помочь прогнозировать, какие комбинации штамма и субстрата будут формировать желательный метаболический профиль, однако такие прогнозы должны проверяться в конкретной рецептуре. Важны жизнеспособность культуры, устойчивость к технологическому процессу, отсутствие факторов патогенности, безопасность для уязвимых групп и корректность заявлений о пользе.

Витамины, минеральные вещества и биоактивные липиды представлены в ИИ-литературе иначе. Для этих классов чаще решается не задача открытия принципиально новых молекул, а задача оптимизации источника, способа получения, стабильности, доставки и сохранности в пищевой матрице. Машинное обучение может использоваться для выбора микробных продуцентов витаминов, настройки ферментации, прогноза потерь при сушке, экструзии или выпечке, а также для подбора антиоксидантной защиты липидных компонентов. В хлебобулочных и мучных кондитерских изделиях это имеет значение при разработке продуктов, обогащенных полиненасыщенными жирными кислотами, фитостеринами, токоферолами, минеральными веществами и пищевыми волокнами.

Самостоятельное значение имеет проектирование многокомпонентных композиций. Реальные функциональные продукты редко содержат один активный компонент. Обычно они включают белки, пептиды, пищевые волокна, полифенолы, витамины, минеральные вещества, липиды, пробиотические культуры и продукты ферментации. Поэтому перспективное направление состоит в переходе от поиска отдельных соединений к прогнозу совместимости и синергии ингредиентов. Для пищевой технологии решающим является не максимальный модельный балл, а сбалансированное сочетание активности, безопасности, стабильности, вкуса, текстуры и промышленной воспроизводимости.

Таблица 3. Примеры применения ИИ по классам биологически активных соединений и объектов

Класс соединений/объектов	Подход	Источники данных	Валидация	Технологическое значение
Биоактивные пептиды	QSAR, случайный лес, бустинг, модели последовательностей, докинг	UniProt, BIOPEP-UWM, пептидомика, экспериментальные IC50	in silico-гидролиз, ферментные тесты, устойчивость к пищеварению	Выбор белка-источника, режима гидролиза и формы введения в хлебобулочную или зерновую матрицу (Minkiewicz, 2019; Korhonen, 2006; Udenigwe, 2012)
Полифенолы и флавоноиды	Дескрипторные модели, сетевой анализ, мультитаргетное ранжирование	PubChem, ChEMBL, FooDB, LC-MS/MS, литература	Биохимические тесты, проверка стабильности, матричные исследования	Учет окислительной стабильности, цвета, вкуса и биодоступности (Barabási, 2020; do Valle, 2021)
Пищевые и микробные метаболиты	Классификация активности, метаболомные сети, анализ ферментации	HMDB, GNPS, метаболомика, данные хранения	Клеточные и ферментные тесты, оценка образования при технологии	Управление ферментацией и условиями хранения для формирования требуемого профиля (Wishart, 2022; Wang, 2016; David, 2014)
Пробиотики	Геномные модели, классификация штаммов, прогноз безопасности	Полногеномные последовательности, фенотипические тесты	Проверка жизнеспособности, кислотоустойчивости, безопасности	Подбор штамма для конкретной матрицы и режима доставки (Hill, 2014; Zmora, 2018)
Пребиотики	Прогноз утилизации	Данные по гликанам, волокнам,	Ферментационные тесты,	Согласование пищевого волокна, штамма и

	субстрата микробиотой	штаммам и метаболитам	метабономика, переносимость	технологической формы (Gibson, 2017)
Витамины и минеральные вещества	Оптимизация источника, процесса и сохранности	Состав сырья, параметры обработки, данные хранения	Анализ потерь и биодоступности	Подбор способов обогащения без ухудшения качества продукта
Биоактивные липиды	Прогноз окислительной стабильности и состава	Липидономика, параметры эмульсий, антиоксидантная защита	Испытания стабильности, сенсорика, хранение	Разработка инкапсулированных или эмульсионных форм

Применение искусственного интеллекта при поиске биологически активных веществ не отменяет классическую экспериментальную и технологическую валидацию. Чем выше скорость цифрового скрининга, тем строже должна быть последующая проверка кандидатов. Для функционального пищевого продукта недостаточно показать, что молекула с высокой вероятностью взаимодействует с определенной мишенью. Необходимо доказать, что соединение безопасно, сохраняется в пищевой матрице, совместимо с технологическим процессом, не ухудшает органолептические свойства и может применяться в допустимой дозировке.

Первый уровень валидации является модельным. Он включает проверку качества исходных данных, воспроизводимость курации, корректность разбиения выборок, контроль утечки данных, учет дисбаланса классов, внешнюю тестовую выборку, калибровку вероятностей и оценку области применимости. В задачах пищевой химии особенно важно отделять химически близкие соединения и пептиды, происходящие из одного белка-предшественника, поскольку случайное разбиение может искусственно завышать точность. Для обзорной статьи корректнее анализировать не только ассигасу или ROC-AUC, но и воспроизводимость, независимую проверку и объяснимость признаков.

Второй уровень включает биохимическую и биологическую проверку. Для низкомолекулярных соединений это ферментные или рецепторные тесты, подтверждающие взаимодействие с мишенью и направление эффекта. Для пептидов дополнительно необходимы устойчивость к пищеварительным ферментам и подтверждение активности после гидролиза. Стандартизованные протоколы *in vitro*-пищеварения, предложенные М. Минекусом и позднее уточненные А. Бродкорбом и участниками консорциума INFOGEST, могут использоваться как воспроизводимая база для оценки доступности биоактивных компонентов после пищеварительной обработки (Minekus, 2014; Brodtkorb, 2019).

Третий уровень связан с технологической валидацией в пищевой матрице. При разработке хлебобулочных, зерновых, мучных кондитерских и ферментированных продуктов необходимо учитывать температуру выпечки, активность воды, pH, кислородный режим, ферментативную активность, взаимодействие с белками, крахмалом, пищевыми волокнами и липидами. Даже активное в очищенной системе соединение может разрушаться при нагревании, связываться компонентами матрицы, снижать биодоступность, менять цвет, усиливать горечь или ухудшать текстуру. Поэтому технологическая проверка является обязательным этапом, а не дополнительной опцией.

Четвертый уровень предполагает оценку безопасности. На ранних этапах целесообразно применять *in silico*-фильтры токсичности, аллергенности, фармакокинетических параметров, реакционноспособных фрагментов и нежелательных структурных мотивов. Инструменты SwissADME, ADMETlab 2.0 и фильтры PAINS могут использоваться для предварительной оценки молекулярных кандидатов (Daina, 2017; Xiong, 2021; Baell, 2010). Однако такие методы не доказывают безопасность пищевого ингредиента. Для пищевого продукта необходимо учитывать суточную дозу, длительность потребления, поступление вещества из разных источников, уязвимые группы потребителей и влияние технологической матрицы.

Регуляторная оценка должна выполняться параллельно с технологической разработкой. В российской и евразийской практике базовыми ориентирами служат требования к безопасности пищевой

продукции, специализированной пищевой продукции, а также документы, определяющие терминологию и подтверждение эффективности функциональных пищевых продуктов (ГОСТ Р 52349-2005; ГОСТ Р 55577-2013; ТР ТС 021/2011; ТР ТС 027/2012). В международной практике EFSA оценивает научное обоснование заявлений о пользе пищевых продуктов, а Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США разграничивает заявления о влиянии на здоровье, заявления о содержании питательных веществ и заявления о влиянии на структуру или функции организма (EFSA; FDA). Для новых или специально вводимых ингредиентов значима также оценка общепризнанной безопасности для предполагаемых условий применения (FDA).

Следовательно, корректная стратегия внедрения биоактивных соединений, отобранных с использованием ИИ, должна включать последовательную цепочку: цифровой скрининг, модельную валидацию, биохимическое подтверждение, проверку пищеварительной доступности, технологическую оценку в матрице, токсикологическую и регуляторную проверку, сенсорную оценку и только затем формирование допустимых заявлений о пользе. Такой подход позволяет использовать ИИ как средство сокращения числа неэффективных экспериментов, но не как самостоятельный источник доказательств эффективности.

Таблица 4. Регуляторно-валидационная матрица для биоактивных кандидатов, отобранных методами ИИ

Этап	Что необходимо показать	Почему это критично для пищевой технологии
Курация данных	Происхождение записей, критерии включения, единицы активности, устранение дублей	Без прозрачных данных модель не может быть воспроизведена
Модельная валидация	Кросс-валидация, внешняя выборка, контроль утечки, калибровка вероятностей	Защита от переобучения и завышения метрик
Биохимическая проверка	Ферментные, рецепторные и клеточные тесты	Минимальный экспериментальный порог доверия к прогнозу
Пищеварительная доступность	Стандартизованное in vitro-пищеварение и оценка устойчивости	Показывает, сохраняется ли кандидат после имитации пищеварения (Minekus, 2014; Brodtkorb, 2019)
Валидация в пищевой матрице	Сохранность в сырье, тесте, выпечке, хранении; сенсорика; совместимость	Отличает функциональный продукт от чистой молекулы
Безопасность	Токсичность, аллергенность, нежелательные структурные мотивы, допустимая доза	ИИ-фильтры полезны только как предварительный этап (Daina, 2017; Xiong, 2021; Baell, 2010)
Регуляторная оценка	ТР ТС, ГОСТ, допустимые заявления о пользе и маркировке	Прогноз не заменяет подтверждение безопасности и эффективности (ГОСТ Р 52349-2005; ГОСТ Р 55577-2013; ТР ТС 021/2011; ТР ТС 027/2012; EFSA; FDA)

Рассмотренные данные показывают, что искусственный интеллект становится значимым инструментом проектирования функциональных пищевых продуктов, однако его роль должна оцениваться с учетом методологических границ. Наиболее продуктивная область применения ИИ состоит в ранжировании кандидатов, выявлении молекулярных закономерностей, сокращении экспериментального пространства и формировании технологически проверяемых гипотез. Окончательное доказательство функционального действия остается задачей биохимии, пищевой технологии, токсикологии, нутрициологии и клинической оценки.

Главное ограничение связано с качеством данных. В фармакологических исследованиях накоплены большие массивы сведений о молекулярных мишенях и биологической активности, тогда как пищевые датасеты часто фрагментарны, неоднородны и получены в разных экспериментальных условиях. Прямой перенос моделей из фармацевтической химии в пищевую технологию может приводить к методическим ошибкам. Для пищевого кандидата важны не только структура и активность, но и происхождение, технологическая доступность, стабильность, органолептический вклад, биодоступность и безопасность при длительном потреблении.

Второе ограничение связано со сложностью пищевой матрицы. Функциональный продукт представляет собой многокомпонентную систему, в которой белки, крахмал, липиды, пищевые волокна, минеральные вещества и технологические добавки меняют растворимость, устойчивость и доступность биоактивного соединения. Для хлебобулочных и мучных кондитерских изделий особое значение имеют высокотемпературная обработка, образование корки и мякиша, влажность, активность воды, ретроградация крахмала и взаимодействие фенольных соединений с белками. Без учета этих факторов цифровой прогноз остается химической гипотезой, а не технологическим решением.

Третье ограничение относится к интерпретируемости и воспроизводимости моделей. Сложные ансамбли и глубокие нейронные сети способны обеспечивать высокие метрики, но не всегда позволяют понять, почему выбран тот или иной кандидат. Для пищевой науки особенно важна не только прогностическая точность, но и возможность объяснить выбор сырья, режим обработки, форму введения ингредиента и ожидаемый механизм действия. Поэтому объяснимый искусственный интеллект, внешняя валидация и публикация данных о курации должны рассматриваться как обязательные элементы добросовестного исследования.

Перспективы направления связаны с формированием замкнутых циклов, включающих модельное прогнозирование, экспериментальную проверку и последующее уточнение модели. В таких системах ИИ не только анализирует уже имеющиеся данные, но и предлагает следующий наиболее информативный эксперимент: новый режим ферментации, новый гидролизат, новую комбинацию пищевых волокон, новый носитель для полифенола или новую рецептурную матрицу. Наиболее ценные датасеты будущего будут объединять химические структуры, масс-спектрометрические профили, геномные данные штаммов, параметры технологического процесса, сенсорные показатели и данные безопасности.

Для отраслей, ориентированных на зерно, муку, хлебобулочные, макаронные и кондитерские изделия, наиболее реалистичными областями внедрения представляются поиск пептидов из зерновых и бобовых белков, управление ферментацией, подбор растительных экстрактов, оценка стабильности полифенолов, проектирование композиций с пищевыми волокнами и разработка продуктов с персонализированной нутриентной направленностью. При этом главным критерием зрелости ИИ-подхода должна быть не сложность модели, а способность перевести вычислительный прогноз в воспроизводимый, безопасный и технологически реализуемый пищевой продукт.

Заключение

Искусственный интеллект открывает новые возможности для поиска биологически активных веществ и проектирования функциональных пищевых продуктов. Его основное преимущество заключается в способности анализировать большие массивы химических, биологических и технологических данных, выявлять перспективные соединения, ранжировать их по вероятности активности и связывать молекулярный прогноз с практическими рецептурными решениями.

Наиболее зрелыми направлениями являются поиск биоактивных пептидов, полифенолов, флавоноидов, пищевых и микробных метаболитов, а также моделирование систем, включающих пробиотический штамм и пребиотический субстрат. Для хлебобулочных, зерновых, мучных кондитерских и ферментированных продуктов особую ценность имеет возможность связать цифровой скрининг с выбором сырья, ферментативной обработкой, заквасочными культурами, пищевыми волокнами, растительными экстрактами и условиями хранения.

Вместе с тем ИИ-прогноз должен рассматриваться только как начальный этап разработки. Для промышленного и регуляторного применения необходимы экспериментальная валидация, оценка безопасности, проверка стабильности в пищевой матрице, сенсорная оценка и корректное обоснование заявлений о пользе. Перспективная модель разработки функционального продукта должна включать последовательные стадии: пищевое сырье, биоактивный кандидат, предполагаемая молекулярная мишень, пищевая матрица, безопасность, технологическая воспроизводимость и подтвержденная физиологическая направленность.

Список литературы

1. ГОСТ Р 52349-2005. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. утв. Приказом Ростехрегулирования от 31.05.2005 N 138-СТ // normativ.kontur.ru. 2010.
2. ГОСТ Р 55577-2013. Продукты пищевые функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности // docs.cntd.ru. 2013.
3. Никитин И.А. Технологические аспекты проектирования персонализированных хлебобулочных и кондитерских изделий на основании генетических предрасположенностей потребителя // *Хлебопродукты*. 2019. № 5. С. 42-46.
4. ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции // normativ.kontur.ru. 2011.
5. ТР ТС 027/2012. О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции // normativ.kontur.ru. 2012.
6. Baell J.B., Holloway G.A. New substructure filters for removal of pan assay interference compounds (PAINS) from screening libraries and for their exclusion in bioassays // *Journal of Medicinal Chemistry*. 2010. Vol. 53(7). pp. 2719-2740.
7. Barabasi A.-L., Menichetti G., Loscalzo J. The unmapped chemical complexity of our diet // *Nature Food*. 2020. Vol. 1. pp. 33-37.
8. Breiman L. Random forests // *Machine Learning*. 2001. Vol. 45. pp. 5-32.
9. Brodkorb A., Egger L., Alming M., Alvito P., Assunção R., Ballance S. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion // *Nature Protocols*. 2019. Vol. 14. pp. 991-1014.
10. Chen T., Guestrin C. XGBoost: a scalable tree boosting system // *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. 2016. pp. 785-794.
11. Cortes C., Vapnik V. Support-vector networks // *Machine Learning*. 1995. Vol. 20. pp. 273-297.
12. Daina A., Michielin O., Zoete V. SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. Article 42717.
13. David L.A., Maurice C.F., Carmody R.N., Gootenberg D.B., Button J.E., Wolfe B.E. Diet rapidly and reproducibly alters the human gut microbiome // *Nature*. 2014. Vol. 505. pp. 559-563.
14. do Valle Í.F., Roweth H.G., Malloy M.W., Moco S., Barron D., Battinelli E., Loscalzo J., Barabasi A.-L. Network medicine framework shows that proximity of polyphenol targets and disease proteins predicts therapeutic effects of polyphenols // *Nature Food*. 2021. Vol. 2. pp. 143-155.
15. European Food Safety Authority. Health claims. EFSA topic page // EFSA. 2018.
16. FooDB. The food database: food compounds and their properties // foodb.ca. 2026.
17. Gaulton A., Hersey A., Nowotka M., Bento A.P., Chambers J., Mendez D., Mutowo P., Atkinson F., Bellis L.J., Cibrian-Uhalte E. The ChEMBL database in 2017 // *Nucleic Acids Research*. 2017. Vol. 45(D1). pp. D945-D954.
18. Gibson G.R., Hutkins R., Sanders M.E., Prescott S.L., Reimer R.A., Salminen S.J. Expert consensus document: the International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the definition and scope of prebiotics // *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 2017. Vol. 14. pp. 491-502.
19. Gilmer J., Schoenholz S.S., Riley P.F., Vinyals O., Dahl G.E. Neural message passing for quantum chemistry // *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning*. 2017. pp. 1263-1272.

20. Hill C., Guarner F., Reid G., Gibson G.R., Merenstein D.J., Pot B. Expert consensus document: the International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic // *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 2014. Vol. 11. pp. 506-514.
21. Jiménez-Luna J., Grisoni F., Schneider G. Drug discovery with explainable artificial intelligence // *Nature Machine Intelligence*. 2020. Vol. 2. pp. 573-584.
22. Jumper J., Evans R., Pritzel A., Green T., Figurnov M., Ronneberger O. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold // *Nature*. 2021. Vol. 596. pp. 583-589.
23. Kim S., Chen J., Cheng T., Gindulyte A., He J., He S., Li Q., Shoemaker B.A., Thiessen P.A., Yu B., Zaslavsky L., Zhang J., Bolton E.E. PubChem 2023 update // *Nucleic Acids Research*. 2023. Vol. 51(D1). pp. D1373-D1380.
24. Kipf T.N., Welling M. Semi-supervised classification with graph convolutional networks // *International Conference on Learning Representations*. 2017.
25. Korhonen H., Pihlanto A. Bioactive peptides: production and functionality // *International Dairy Journal*. 2006. Vol. 16(9). pp. 945-960.
26. Kuznetsov M., Klein E., Velina D., Mutallibzoda S., Orlovtsseva O., Tefikova S., Klyuchnikova D., Nikitin I. Using machine learning for the discovery and development of multitarget flavonoid-based functional products in MASLD // *Molecules*. 2025. Vol. 30. Article 4159.
27. Kuznetsov M., Chernyavskaya O., Kutuzov M., Vilkoval D., Novichenko O., Stolyarova A., Mashin D., Nikitin I. Development of a predictive model for the biological activity of food and microbial metabolites toward estrogen receptor alpha (ERα) using machine learning // *Big Data and Cognitive Computing*. 2025. Vol. 9. Article 86.
28. Lundberg S.M., Lee S.-I. A unified approach to interpreting model predictions // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017. Vol. 30.
29. Minekus M., Alving M., Alvito P., Ballance S., Bohn T., Bourlieu C. et al. A standardised static in vitro digestion method suitable for food // *Food & Function*. 2014. Vol. 5. pp. 1113-1124.
30. Minkiewicz P., Iwaniak A., Darewicz M. BIOPEP-UWM database of bioactive peptides: current opportunities // *International Journal of Molecular Sciences*. 2019. Vol. 20(23). Article 5978.
31. Prokhorenkova L., Gusev G., Vorobev A., Dorogush A.V., Gulin A. CatBoost: unbiased boosting with categorical features // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2018. Vol. 31.
32. Rogers D., Hahn M. Extended-connectivity fingerprints // *Journal of Chemical Information and Modeling*. 2010. Vol. 50(5). pp. 742-754.
33. Trott O., Olson A.J. AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading // *Journal of Computational Chemistry*. 2010. Vol. 31(2). pp. 455-461.
34. Udenigwe C.C., Aluko R.E. Food protein-derived bioactive peptides: production, processing, and potential health benefits // *Journal of Food Science*. 2012. Vol. 77(1). pp. R11-R24.
35. The UniProt Consortium. UniProt: the universal protein knowledgebase in 2023 // *Nucleic Acids Research*. 2023. Vol. 51(D1). pp. D523-D531.
36. U.S. Food and Drug Administration. Label claims for conventional foods and dietary supplements. URL: <https://www.fda.gov/food/food-labeling-nutrition/label-claims-conventional-foods-and-dietary-supplements> (дата обращения: 22.05.2026).
37. U.S. Food and Drug Administration. Generally recognized as safe (GRAS). // [fda.gov](https://www.fda.gov). 2026.
38. Wang M., Carver J.J., Phelan V.V., Sanchez L.M., Garg N., Peng Y., Nguyen D.D. Sharing and community curation of mass spectrometry data with Global Natural Products Social Molecular Networking // *Nature Biotechnology*. 2016. Vol. 34. pp. 828-837.
39. Wishart D.S., Guo A., Oler E., Wang F., Anjum A., Peters H., Dizon R., Sayeeda Z., Tian B., Lee B.L. HMDB 5.0: the human metabolome database for 2022 // *Nucleic Acids Research*. 2022. Vol. 50(D1). pp. D622-D631.

40. Xiong G., Wu Z., Yi J., Fu L., Yang Z., Hsieh C. ADMETlab 2.0: an integrated online platform for accurate and comprehensive predictions of ADMET properties // *Nucleic Acids Research*. 2021. Vol. 49(W1). pp. W5-W14.
41. Zeevi D., Korem T., Zmora N., Israeli D., Rothschild D., Weinberger A. Personalized nutrition by prediction of glycemic responses // *Cell*. 2015. Vol. 163(5). pp. 1079-1094.
42. Zmora N., Zilberman-Schapira G., Suez J., Mor U., Dori-Bachash M., Bashiardes S. Personalized gut mucosal colonization resistance to empiric probiotics is associated with unique host and microbiome features // *Cell*. 2018. Vol. 174(6). pp. 1388-1405.e21.

Artificial intelligence in the design of functional food products: opportunities and limitations of digital screening of bioactive compounds

Maksim A. Kuznetsov

Specialist-expert

Plekhanov Russian University of Economics

Moscow, Russia

Kuznetsov_MA@rea.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 11.01.2026

Accepted 22.02.2026

Published 30.03.2026

UDC 664.6; 664.68; 004.8

EDN GTIMSN

VAK 4.3.5. Biotechnology of food and biologically active substances (technical sciences)

OECD 02.11.JY. FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

Abstract

The review summarizes current approaches to the application of artificial intelligence for the discovery, selection and preliminary technological assessment of bioactive compounds in the design of functional food products. Machine learning, QSAR/QSPR modeling, virtual screening, docking combined with machine learning, graph-based models and explainable artificial intelligence are considered as tools for accelerating early-stage selection of bioactive peptides, polyphenols, food and microbial metabolites, probiotics and prebiotic systems. The paper emphasizes that computational prediction is not evidence of ingredient or product efficacy and must be followed by biochemical, technological, toxicological and regulatory validation. Particular attention is paid to bakery, cereal, flour confectionery and fermented food products, where a bioactive component must be food-relevant, technologically stable, safe and organoleptically acceptable. It is emphasised that the quality and comparability of source data, together with the complexity of the food matrix, remain key limitations, and that models transferred directly from pharmacological chemistry into food technology require caution. For bakery, cereal, flour confectionery and fermented products, particular attention is paid to the stability of bioactive components during mixing, fermentation, baking, drying and storage, their interaction with matrix components, as well as sensory properties and acceptable dosage. Open chemical, food, metabolomic and protein resources, molecular descriptors and model architectures are discussed as parts of a single technological chain. Artificial intelligence is therefore positioned as a tool for hypothesis generation and prioritisation rather than as an independent source of proof of efficacy.

Keywords

Artificial Intelligence, machine learning, functional foods, bioactive compounds, bioactive peptides, polyphenols, food metabolites, food matrix.

The study was funded by a subsidy for the implementation of a state assignment by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of research project No. FSSW-2025-0004.

References

1. GOST R 52349-2005. Functional food products. Terms and definitions // *normativ.kontur.ru*. 2010.
2. GOST R 55577-2013. Functional food products. Information about distinctive features and effectiveness // *docs.cntd.ru*. 2013.
3. Nikitin I.A. Technological aspects of designing personalized bakery and confectionery products based on consumer genetic predispositions // *Bread Products*. 2019. № 5. pp. 42-46.
4. TR CU 021/2011. On the safety of food products // *normativ.kontur.ru*. 2011.
5. TR CU 027/2012. On the safety of certain types of specialized food products // *normativ.kontur.ru*. 2012.
6. Baell J.B., Holloway G.A. New substructure filters for removal of pan assay interference compounds (PAINS) from screening libraries and for their exclusion in bioassays // *Journal of Medicinal Chemistry*. 2010. Vol. 53(7). pp. 2719-2740.
7. Barabasi A.-L., Menichetti G., Loscalzo J. The unmapped chemical complexity of our diet // *Nature Food*. 2020. Vol. 1. pp. 33-37.
8. Breiman L. Random forests // *Machine Learning*. 2001. Vol. 45. pp. 5-32.
9. Brodkorb A., Egger L., Alminger M., Alvito P., Assunção R., Ballance S. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion // *Nature Protocols*. 2019. Vol. 14. pp. 991-1014.
10. Chen T., Guestrin C. XGBoost: a scalable tree boosting system // *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. 2016. pp. 785-794.
11. Cortes C., Vapnik V. Support-vector networks // *Machine Learning*. 1995. Vol. 20. pp. 273-297.
12. Daina A., Michielin O., Zoete V. SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. Article 42717.
13. David L.A., Maurice C.F., Carmody R.N., Gootenberg D.B., Button J.E., Wolfe B.E. Diet rapidly and reproducibly alters the human gut microbiome // *Nature*. 2014. Vol. 505. pp. 559-563.
14. do Valle Í.F., Roweth H.G., Malloy M.W., Moco S., Barron D., Battinelli E., Loscalzo J., Barabasi A.-L. Network medicine framework shows that proximity of polyphenol targets and disease proteins predicts therapeutic effects of polyphenols // *Nature Food*. 2021. Vol. 2. pp. 143-155.
15. European Food Safety Authority. Health claims. EFSA topic page // *EFSA*. 2018.
16. FooDB. The food database: food compounds and their properties // *foodb.ca*. 2026.
17. Gaulton A., Hersey A., Nowotka M., Bento A.P., Chambers J., Mendez D., Mutowo P., Atkinson F., Bellis L.J., Cibrian-Uhalte E. The ChEMBL database in 2017 // *Nucleic Acids Research*. 2017. Vol. 45(D1). pp. D945-D954.
18. Gibson G.R., Hutkins R., Sanders M.E., Prescott S.L., Reimer R.A., Salminen S.J. Expert consensus document: the International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the definition and scope of prebiotics // *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 2017. Vol. 14. pp. 491-502.
19. Gilmer J., Schoenholz S.S., Riley P.F., Vinyals O., Dahl G.E. Neural message passing for quantum chemistry // *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning*. 2017. pp. 1263-1272.
20. Hill C., Guarner F., Reid G., Gibson G.R., Merenstein D.J., Pot B. Expert consensus document: the International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and

appropriate use of the term probiotic // *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 2014. Vol. 11. pp. 506-514.

21. Jiménez-Luna J., Grisoni F., Schneider G. Drug discovery with explainable artificial intelligence // *Nature Machine Intelligence*. 2020. Vol. 2. pp. 573-584.

22. Jumper J., Evans R., Pritzel A., Green T., Figurnov M., Ronneberger O. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold // *Nature*. 2021. Vol. 596. pp. 583-589.

23. Kim S., Chen J., Cheng T., Gindulyte A., He J., He S., Li Q., Shoemaker B.A., Thiessen P.A., Yu B., Zaslavsky L., Zhang J., Bolton E.E. PubChem 2023 update // *Nucleic Acids Research*. 2023. Vol. 51(D1). pp. D1373-D1380.

24. Kipf T.N., Welling M. Semi-supervised classification with graph convolutional networks // *International Conference on Learning Representations*. 2017.

25. Korhonen H., Pihlanto A. Bioactive peptides: production and functionality // *International Dairy Journal*. 2006. Vol. 16(9). pp. 945-960.

26. Kuznetsov M., Klein E., Velina D., Mutallibzoda S., Orlovtsseva O., Tefikova S., Klyuchnikova D., Nikitin I. Using machine learning for the discovery and development of multitarget flavonoid-based functional products in MASLD // *Molecules*. 2025. Vol. 30. Article 4159.

27. Kuznetsov M., Chernyavskaya O., Kutuzov M., Vilkoval D., Novichenko O., Stolyarova A., Mashin D., Nikitin I. Development of a predictive model for the biological activity of food and microbial metabolites toward estrogen receptor alpha (ER α) using machine learning // *Big Data and Cognitive Computing*. 2025. Vol. 9. Article 86.

28. Lundberg S.M., Lee S.-I. A unified approach to interpreting model predictions // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017. Vol. 30.

29. Minekus M., Alminger M., Alvito P., Ballance S., Bohn T., Bourlieu C. et al. A standardised static in vitro digestion method suitable for food // *Food & Function*. 2014. Vol. 5. pp. 1113-1124.

30. Minkiewicz P., Iwaniak A., Darewicz M. BIOPEP-UWM database of bioactive peptides: current opportunities // *International Journal of Molecular Sciences*. 2019. Vol. 20(23). Article 5978.

31. Prokhorenkova L., Gusev G., Vorobev A., Dorogush A.V., Gulin A. CatBoost: unbiased boosting with categorical features // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2018. Vol. 31.

32. Rogers D., Hahn M. Extended-connectivity fingerprints // *Journal of Chemical Information and Modeling*. 2010. Vol. 50(5). pp. 742-754.

33. Trott O., Olson A.J. AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading // *Journal of Computational Chemistry*. 2010. Vol. 31(2). pp. 455-461.

34. Udenigwe C.C., Aluko R.E. Food protein-derived bioactive peptides: production, processing, and potential health benefits // *Journal of Food Science*. 2012. Vol. 77(1). pp. R11-R24.

35. The UniProt Consortium. UniProt: the universal protein knowledgebase in 2023 // *Nucleic Acids Research*. 2023. Vol. 51(D1). pp. D523-D531.

36. U.S. Food and Drug Administration. Label claims for conventional foods and dietary supplements. URL: <https://www.fda.gov/food/food-labeling-nutrition/label-claims-conventional-foods-and-dietary-supplements> (дата обращения: 22.05.2026).

37. U.S. Food and Drug Administration. Generally recognized as safe (GRAS). // [fda.gov](https://www.fda.gov). 2026.

38. Wang M., Carver J.J., Phelan V.V., Sanchez L.M., Garg N., Peng Y., Nguyen D.D. Sharing and community curation of mass spectrometry data with Global Natural Products Social Molecular Networking // *Nature Biotechnology*. 2016. Vol. 34. pp. 828-837.

39. Wishart D.S., Guo A., Oler E., Wang F., Anjum A., Peters H., Dizon R., Sayeeda Z., Tian B., Lee B.L. HMDB 5.0: the human metabolome database for 2022 // *Nucleic Acids Research*. 2022. Vol. 50(D1). pp. D622-D631.

40. Xiong G., Wu Z., Yi J., Fu L., Yang Z., Hsieh C. ADMETlab 2.0: an integrated online platform for accurate and comprehensive predictions of ADMET properties // *Nucleic Acids Research*. 2021. Vol. 49(W1). pp. W5-W14.

41. Zeevi D., Korem T., Zmora N., Israeli D., Rothschild D., Weinberger A. Personalized nutrition by prediction of glycemic responses // *Cell*. 2015. Vol. 163(5). pp. 1079-1094.
42. Zmora N., Zilberman-Schapira G., Suez J., Mor U., Dori-Bachash M., Bashiardes S. Personalized gut mucosal colonization resistance to empiric probiotics is associated with unique host and microbiome features // *Cell*. 2018. Vol. 174(6). pp. 1388-1405.e21.

МАРКЕТИНГ И ФИНАНСЫ

Реконфигурация хлебопекарной отрасли России в контуре FMCG: методология, модель ограничений и управленческие выводы

Олег Михайлович Омельченко

Кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры пищевых технологий и биоинженерии
Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова
Москва, Россия
omelchenko.om@rea.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 07.01.2026

Принята 16.02.2026

Опубликована 30.03.2026

УДК 338.439.4:664.66

EDN HYAKSB

BAK 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)

OECD 05.02.GY. ECONOMICS

Аннотация

В статье рассматривается реконфигурация хлебопекарной отрасли России как структурный процесс изменения продуктовой, корпоративной и управленческой архитектуры в контуре FMCG. Цель исследования состоит в уточнении методологической рамки анализа отрасли, функционирующей одновременно как социально значимый продовольственный сектор и как низкомаржинальный рынок товаров повседневного спроса. Материалы исследования включают авторскую монографию, открытые статистические и отраслевые источники, нормативные документы, корпоративные данные и экспертные материалы. Методический аппарат основан на структурно-функциональном анализе, матричном анализе рисков, индексном подходе, сценарном моделировании, сравнительном анализе стран-компараторов и модели управленческой зрелости хлебопекарного предприятия. Показано, что традиционная модель управления объёмом производства теряет устойчивость вследствие одновременного действия ценового давления, сырьевой волатильности, переговорной асимметрии с ритейлом, кадрового дефицита и инвестиционного голода. Обоснована категория режима управляемого выживания, при котором предприятие сохраняет операционную непрерывность, но не формирует ресурс для расширенного воспроизводства. Предложены управленческие выводы для перехода к портфельному управлению категорией, интеграции цепочки создания стоимости и использованию ИИОР как инструмента сценарной диагностики. Практическая значимость работы связана с возможностью оценивать не только текущую прибыльность предприятия, но и его способность к воспроизводству, модернизации и управляемому переходу в более устойчивые сегменты рынка.

Ключевые слова

хлебопекарная отрасль, реконфигурация, FMCG, интегрированные корпоративные образования, управляемое выживание, ИИОР, модель зрелости, цепочка создания стоимости.

Введение

Хлебопекарная отрасль Российской Федерации сохраняет особое положение в продовольственной системе: она одновременно обеспечивает базовую продовольственную доступность (Беляева, 2018) и выступает самостоятельным сегментом рынка товаров повседневного спроса. Такая двойственная природа определяет противоречивость управленческих решений. С одной стороны, хлеб

является товаром высокой социальной чувствительности, по которому государство и потребители ожидают ценовой стабильности. С другой стороны, предприятие несёт рыночные издержки, сталкивается с ростом затрат на сырьё, труд, энергию, упаковку и логистику, а также вынуждено конкурировать за место в сетевой рознице и в новых каналах продаж.

В традиционной управленческой логике хлебозавод рассматривался прежде всего как производственная площадка (Гатилин, 1975): основная задача сводилась к обеспечению объёма выпуска, загрузке мощностей и соблюдению технологической дисциплины (Ауэрман, 2005; Пащенко, 2009). Эта логика была эффективна в период, когда потребление традиционного хлеба было относительно стабильным, ассортиментная дифференциация имела ограниченное значение, а канальная структура сбыта была менее сложной. Однако современная отрасль уже не сводится к выпуску массового хлеба. В ней одновременно развиваются замороженные хлебобулочные полуфабрикаты, пекарни в торговом зале, функциональные продукты, премиальные форматы, частные марки сетей и B2B-сегменты для HoReCa.

Проблема состоит в том, что видимая стабильность базового спроса маскирует более глубокий структурный сдвиг. Предприятие может сохранять объём реализации и одновременно терять устойчивость, если прибыль формируется в низкомаржинальном регулируемом сегменте, а ресурсы для перехода в новые форматы не создаются. Поэтому оценка отрасли только по тоннажу или краткосрочной выручке становится недостаточной. Для стратегического анализа необходима рамка, которая связывает сырьевую архитектуру, переговорную силу ритейла, компетентностный разрыв, технологическую модернизацию, корпоративную интеграцию и сценарии будущей конфигурации рынка.

Цель настоящей статьи – представить реконфигурацию хлебопекарной отрасли как управляемый процесс перехода от модели объёма к модели стоимости, основанной на диагностике ограничений, зрелости предприятия и сценарных траекторий развития. Исследовательская задача состоит не в описании отдельных проблем отрасли, а в формировании целостной методологической конструкции, применимой для принятия управленческих решений собственником, генеральным директором, операционным директором и HRD.

Научная значимость статьи заключается в переносе анализа хлебопечения из плоскости технологического описания в плоскость отраслевой экономики и корпоративного управления. Практическая значимость связана с тем, что предложенная модель позволяет предприятиям оценивать не только текущую прибыльность, но и способность к воспроизводству, модернизации и управляемому переходу в более устойчивые сегменты.

Материалы и методы исследования

Материалы исследования сформированы на основе авторской монографии «Экономика и управление реконфигурацией хлебопекарной отрасли России» (Омельченко, 2026), открытых статистических данных, нормативных источников (ГОСТ Р 7.0.100-2018), отраслевых обзоров, корпоративной информации и экспертных материалов. В качестве эмпирической базы использованы сведения Росстата, Минсельхоза России, ФАС России, ЕМИСС, отраслевых ассоциаций, корпоративных отчётов и материалов открытых рынков вакансий (Росстат, 2024; ФАС России, 2024). Особое значение имеют источники, позволяющие сопоставлять производственный, сырьевой, кадровый и институциональный контуры отрасли, поскольку реконфигурация не может быть объяснена одним параметром.

Методология исследования носит смешанный характер. Количественный блок включает индексный подход, сценарное моделирование, сопоставление динамики сегментов, оценку структуры себестоимости и анализ операционных показателей. Качественный блок включает структурно-функциональный анализ, интерпретацию корпоративных моделей, матричный анализ рисков (Омельченко, 2023а), экспертное картирование ограничений и анализ управленческих разрывов. Совмещение этих подходов позволяет избежать редукции отрасли к финансовым коэффициентам и одновременно сохранить проверяемость выводов.

Ключевым методическим инструментом выступает модель шести контуров управления интегрированными корпоративными образованиями: правового, институционального, финансово-экономического, операционного, цифрового и верификационного. Каждый контур описывает отдельный слой управленческой реальности. Правовой контур фиксирует нормативные ограничения; институциональный – социальный статус продукта и правила взаимодействия с государством и ритейлом; финансово-экономический – структуру маржи и оборотного капитала; операционный – непрерывность производства и логистики; цифровой – способность управлять данными (Омельченко, 2023б); верификационный – воспроизводимость выводов по открытым источникам.

Для оценки глубины отраслевого сдвига используется интегральный индекс отраслевой реконфигурации (ИИОР). Индекс строится как сводная оценка нескольких субиндексов: концентрации рынка, технологической модернизации, продуктовой реконфигурации, компетентностного разрыва и институционального давления. В статье ИИОР используется не как готовая статистическая величина внешней базы данных, а как авторский диагностический инструмент, позволяющий связать разные показатели отрасли в единую сценарную рамку.

Ограничение исследования связано с тем, что значительная часть корпоративных данных хлебопекарной отрасли не раскрывается публично либо представлена фрагментарно. Поэтому в статье применяется принцип осторожной интерпретации: данные из открытых источников сопоставляются между собой, показатели приводятся в диапазонах, а авторские расчёты маркируются как аналитические оценки. Такой подход соответствует задаче подготовки журнальной статьи и снижает риск категоричных утверждений, не подтверждённых воспроизводимыми источниками.

Таблица 1. Материалы и методический дизайн исследования

Блок	Состав	Метод	Назначение
Официальная статистика	Росстат, Минсельхоз, ЕМИСС, ФАС	Статистический и динамический анализ	Оценка производства, цен, занятости, институционального давления
Отраслевые источники	РОСПИК, ИКАР, Агроэкспорт, рыночные обзоры	Сравнительный и экспертный анализ	Фиксация отраслевых трендов и ограничений
Корпоративные данные	Годовые отчёты, сайты компаний, публичные сообщения	Кейс-анализ и картирование	Описание моделей ИКО и каналов сбыта
Нормативная база	ГОСТы, техрегламенты, налоговые и антимонопольные нормы	Институциональный анализ	Выявление барьеров и условий деятельности
Авторские модели	ИИОР, PACE/HLRM, модель зрелости	Индексный и матричный подход	Переход от описания к диагностике

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Реконфигурация хлебопекарной отрасли отличается от обычной модернизации тем, что затрагивает не один производственный участок, а всю отраслевую архитектуру. Меняется соотношение сегментов, роль каналов продаж, тип необходимых компетенций, распределение маржи и логика взаимодействия с ритейлом. Если модернизация может быть сведена к покупке оборудования или обновлению рецептур (Никитин, 2020), то реконфигурация означает изменение способа воспроизводства бизнеса.

Содержательно реконфигурация проявляется в переходе от доминирования массового хлеба к многосегментной категории. Массовый хлеб сохраняет социальную функцию, но перестаёт быть главным источником роста. Новые источники стоимости формируются в замороженных полуфабрикатах, выпечке в торговом зале, продуктах с функциональной ценностью, форматах быстрого потребления и

В2В-поставках. Это означает, что управленческие решения должны строиться не вокруг одного производственного контура, а вокруг портфеля сегментов с разной экономикой.

Управленчески данная логика требует замены прежнего KPI «объем выпуска» на набор показателей, отражающих маржинальность по продуктам и каналам, долю незарегулированных сегментов, уровень возвратов, ОЕЕ, скорость освоения компетенций и сценарную позицию предприятия. Предприятие, которое сохраняет высокий тоннаж, но не имеет растущих сегментов, фактически удерживает прошлую модель за счёт будущей капитализации. Поэтому стратегическая диагностика должна начинаться с вопроса: где именно формируется маржа и насколько эти источники устойчивы.

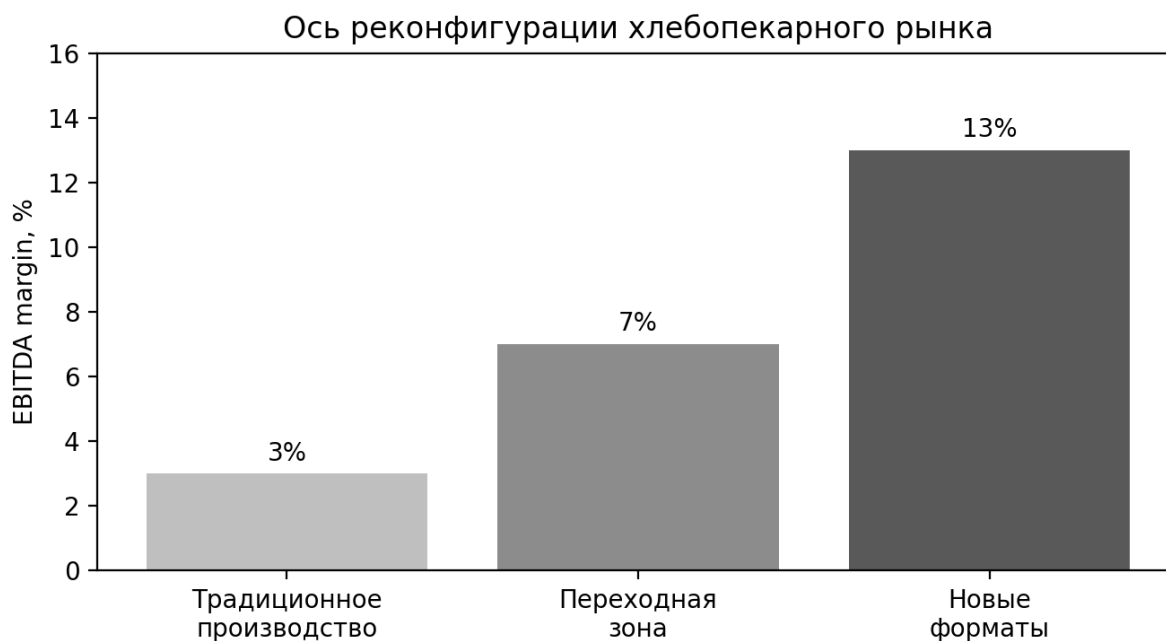


Рисунок 1. Ось реконфигурации хлебопекарного рынка: от традиционного производства к новым форматам

Источник: составлено автором на основе модели реконфигурации монографии.

Таблица 2. Сравнение старой и новой управленческой логики

Параметр	Старая модель	Новая модель	Управленческое следствие
Цель	Максимизация выпуска и загрузки	Максимизация стоимости по сегментам	Переход к P&L по продуктам и каналам
Ассортимент	Широкий и инерционный	Сегментированный и управляемый	ABC-анализ и вывод убыточных SKU
Канал	Локальная и сетевая розница	Оmnikanальность, HoReCa, retail bakery	Раздельные модели договоров и логистики
Кадры	Взаимозаменяемый персонал	Носители специфических компетенций	Корпоративное обучение и PACE/HLRM
Инвестиции	Оборудование как главный объект	Данные, компетенции, цепочка поставок	Синхронизация CAPEX и управленческой зрелости

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Одним из ключевых результатов исследования является уточнение категории режима управляемого выживания. Под ним понимается состояние предприятия, при котором операционная

деятельность продолжается, обязательства перед сетями и поставщиками выполняются, но создаваемой маржи недостаточно для обновления оборудования, развития компетенций и перехода к новым сегментам. Это состояние отличается от кризиса: предприятие не останавливается и не находится в явной неплатёжеспособности. Однако оно постепенно накапливает технологический долг и теряет способность к стратегическому выбору, не формируя ресурс для расширенного воспроизводства (Penrose, 1959).

Режим управляемого выживания поддерживается пятью барьерами. Ценовое регулирование ограничивает перенос затрат в цену; сырьевая волатильность делает себестоимость нестабильной; переговорная асимметрия с сетями изымает часть маржи через ретробонусы и промо-условия; кадровый дефицит тормозит модернизацию (Гимпельсон, 2002; Капелюшников, 2009); инвестиционный голод не позволяет закрывать технологические и компетентностные разрывы. Сочетание барьеров создаёт петлю самовоспроизводства: низкая маржа ограничивает инвестиции, инвестиционный дефицит сохраняет технологический долг, технологический долг повышает себестоимость, а рост себестоимости снова снижает маржу.

Практический вывод состоит в том, что отдельное улучшение одного показателя не разрушает петлю ограничений. Например, повышение загрузки мощностей может увеличить объём выпуска, но не улучшить EBITDA, если канал сбыта забирает маржу через возвраты и ретробонусы. Аналогично закупка нового оборудования не даст ожидаемого эффекта без персонала, способного работать с автоматизированными линиями и цифровым планированием (Омельченко, 2024). Поэтому программа выхода из режима управляемого выживания должна быть комплексной и учитывать одновременно финансовый, операционный, кадровый и каналный блоки.

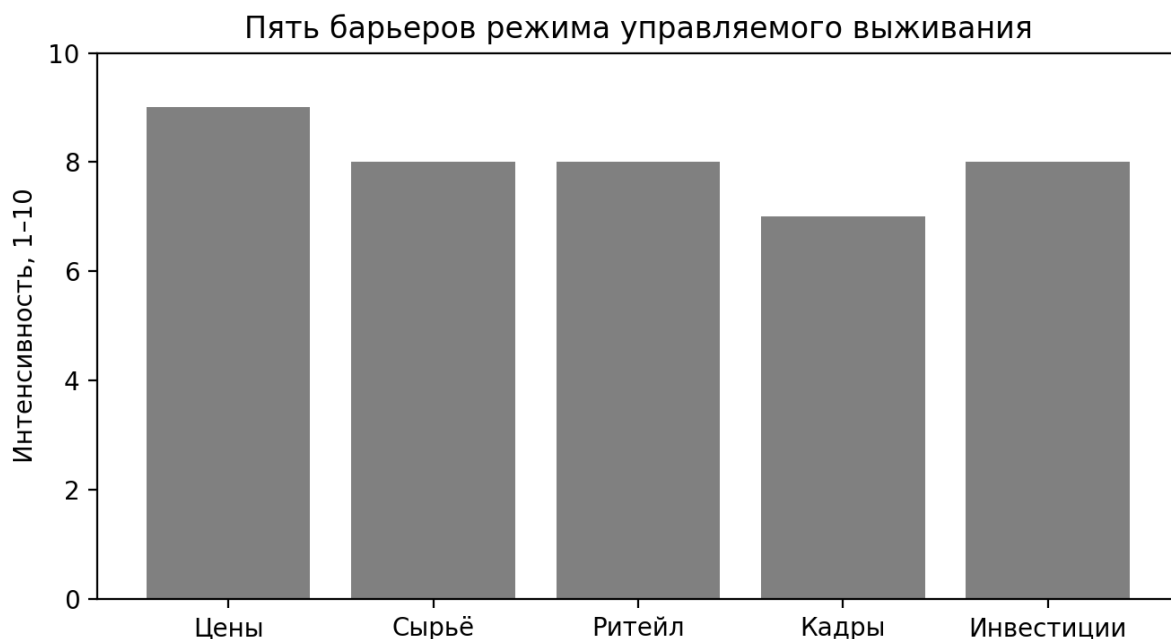


Рисунок 2. Пять барьеров режима управляемого выживания

Источник: составлено автором; шкала 1–10 отражает экспертную критичность барьера.

Таблица 3. Барьеры режима управляемого выживания и управленческие ответы

Барьер	Экономический эффект	Диагностический признак	Приоритетный ответ
Ценовое регулирование	Ограничение pass-through затрат	Рост себестоимости быстрее отпускной цены	Смещение портфеля в незарегулированные сегменты

Сырьевая волатильность	Колебание доли муки в себестоимости	Нестабильная валовая маржа	Долгосрочные контракты и вертикальная координация
Давление ритейла	Ретробонусы, штрафы, промо	Снижение коммерческой маржи	Joint business planning и диверсификация каналов
Кадровый дефицит	Замедление модернизации	Долгое закрытие вакансий и ошибки операторов	PACE/HLRM и целевое обучение
Инвестиционный голод	Невозможность обновления мощностей	Рост среднего возраста линий	Сценарный CAPEX и партнёрство

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Интегрированное корпоративное образование в хлебопекарной отрасли следует рассматривать не только как юридическое объединение активов, но как систему управленческой координации нескольких звеньев цепочки создания стоимости (Омельченко, 2025). Горизонтальная консолидация даёт масштаб закупок и переговорную силу, однако сама по себе не гарантирует синергию. Вертикальная интеграция позволяет контролировать мукомольный, логистический или розничный контур, но повышает сложность управления и требует зрелой операционной системы.

Экономическая логика интеграции связана с тем, что маржа в хлебопечении распределена неравномерно. Производитель массового хлеба сталкивается с высокой долей сырья в себестоимости и ограниченной ценовой свободой. Чем ближе компания к контролю сырья, логистики и канала, тем выше её возможность управлять потерями, качеством и переговорной позицией. Однако интеграция без управленческой зрелости может создать обратный эффект: предприятие приобретает новые звенья, но не получает единой системы планирования, учёта и контроля маржи.

С точки зрения методологии ИКО ключевым становится не масштаб как таковой, а управленческая связность. Если активы объединены финансово, но закупки, рецептуры, логистика, данные и HR-политика остаются разрозненными, компания получает иллюзию масштаба без его экономических преимуществ. Поэтому диагностика ИКО должна включать не только структуру владения, но и фактическую степень операционной интеграции.

Таблица 4. Типы корпоративной конфигурации и управленческие риски

Тип структуры	Основная логика	Потенциальное преимущество	Ключевой риск
Независимое предприятие	Локальный рынок и исторический актив	Гибкость и знание спроса	Уязвимость к сетям и сырьевым ценам
Горизонтальный холдинг	Объединение производственных мощностей	Закупочный масштаб и логистика	Федерация активов без единой системы
Вертикально интегрированная группа	Контроль сырья, производства и логистики	Стабилизация качества и себестоимости	Капиталоёмкость и управленческая сложность
Гибридная ИКО	Сочетание горизонтальной и вертикальной интеграции	Контроль цепочки и диверсификация	Риск перекрёстного субсидирования

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Модель зрелости хлебопекарного предприятия позволяет оценить способность компании не только функционировать сегодня, но и создавать устойчивые результаты в будущем. В отличие от финансовой отчётности, которая фиксирует уже случившийся результат, модель зрелости показывает

качество управленческих систем. Предприятие может иметь положительную EBITDA и одновременно находиться в состоянии управляемого выживания, если прибыль обеспечивается временными факторами, а процессы, компетенции и стратегия не позволяют поддерживать развитие.

В статье используются пять измерений зрелости: управление стоимостью, операционная система, управление цепочкой поставок, компетентностная система и стратегическое управление. Каждое измерение оценивается по уровням от начального до лидирующего. Особое значение имеет согласованность уровней. Если предприятие имеет развитое производство, но не видит маржу по SKU и каналам, операционные улучшения не конвертируются в прибыль. Если стратегия перехода в frozen bakery принята, но отсутствует компетентностная база и холодовая цепь, стратегия остаётся документом.

Именно управленческие разрывы, а не отдельные слабые показатели, определяют риск предприятия. Разрыв «операции без финансов» означает, что линия работает лучше, но компания не понимает, где зарабатывает. Разрыв «стратегия без компетенций» означает, что инвестиционное решение не подкреплено обучением. Разрыв «масштаб без интеграции» означает, что активы консолидированы, но синергия не реализуется. Поэтому план трансформации должен начинаться с диагностики наиболее критичного разрыва.

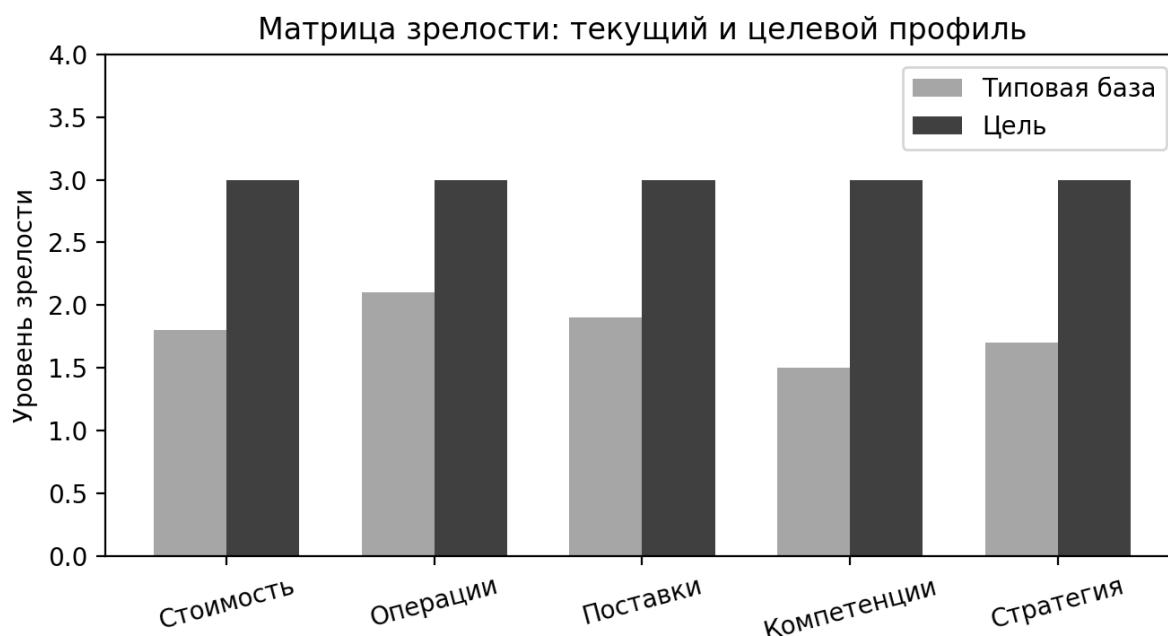


Рисунок 3. Матрица зрелости: текущий и целевой профиль предприятия

Источник: составлено автором на основе пяти измерений управленческой зрелости.

Таблица 5. Измерения зрелости хлебопекарного предприятия

Измерение	Индикаторы	Целевой уровень	Управленческая интерпретация
Управление стоимостью	P&L по продуктам, ABC-анализ, маржа по каналам	Уровень 3	Понимание источников прибыли и потерь
Операционная система	ОЕЕ, брак, возвраты, стандартизация	Уровень 3	Конвертация процессов в устойчивую себестоимость
Цепочка поставок	Доля долгосрочных контрактов, запасы, JBP	Уровень 3	Стабилизация сырьевого и сбытового риска

Компетенции	Time-to-Competence, удержание, HLRM-профили	Уровень 3	Скорость освоения технологий
Стратегия	Сценарии, инвестиционный портфель, KPI	Уровень 3	Связь текущих действий с будущей моделью

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Интегральный индекс отраслевой реконфигурации используется для объединения разнородных факторов в единую аналитическую рамку. Его назначение состоит не в замене детального анализа, а в создании управленческого индикатора, который показывает, насколько отрасль смещается от инерционной модели к многосегментной, технологически и корпоративно интегрированной системе. Индекс особенно полезен для стратегических сессий, поскольку позволяет обсуждать не отдельные симптомы, а траекторию изменения всей отрасли.

Сценарный анализ показывает, что промедление с инвестициями в 2025-2027 годах переводит предприятие в инерционную траекторию. В этом сценарии точечные улучшения не успевают компенсировать давление сырья, кадров и ритейла. Технологический сценарий предполагает выборочные инвестиции в автоматизацию, цифровой контроль и повышение ОЕЕ. Сценарий системной интеграции требует наиболее сложной управленческой архитектуры, но именно он даёт максимальный эффект по устойчивости, марже и стоимости актива.

Для практики управления важно, что сценарии не являются прогнозом в пассивном смысле. Это набор условий и решений. Если компания снижает долю регулируемого сегмента, заключает долгосрочные контракты, инвестирует в компетенции, внедряет управление маржой и развивает новые форматы, она повышает вероятность перехода в активную реконфигурацию. Если эти действия откладываются, внешний рынок всё равно меняется, но предприятие теряет возможность управлять своим положением.

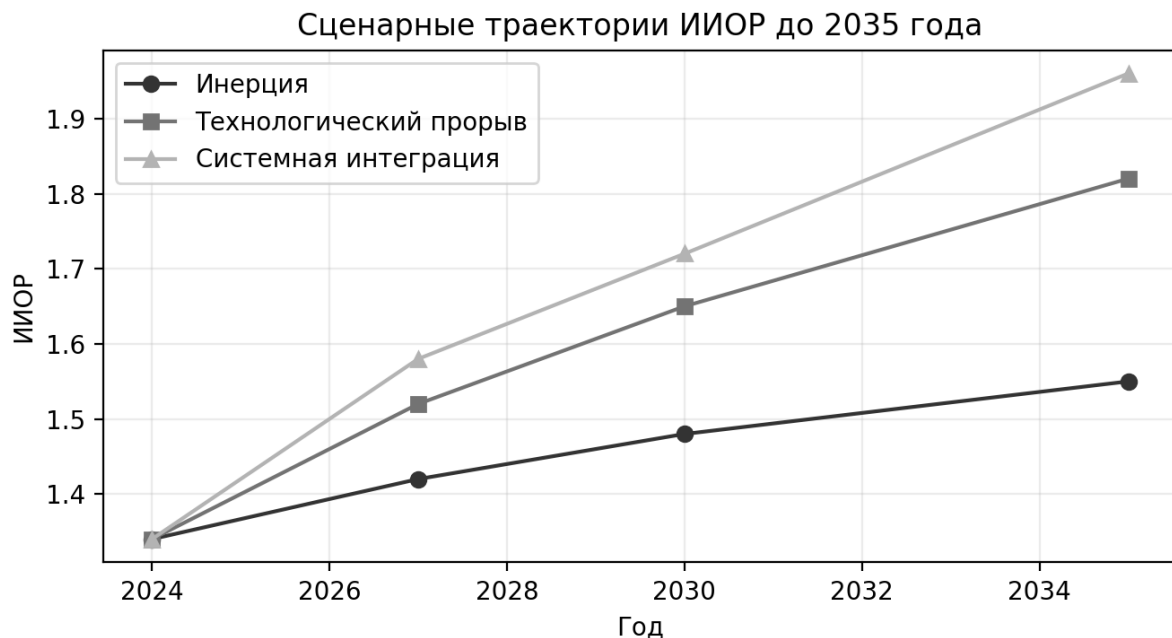


Рисунок 4. Сценарные траектории ИИОР до 2035 года

Источник: авторское сценарное моделирование.

Таблица 6. Структура ИИОР и управленческое назначение субиндексов

Субиндекс	Ключевые показатели	Весовая логика	Решение менеджмента
Концентрация рынка	CR4, ННН, доля ИКО	Отражает олигополизацию	Оценка риска поглощения или роли консолидатора
Технологическая модернизация	Автоматизация, инвестиции, ОЕЕ	Показывает готовность процессов	Планирование CAPEX и цифрового контроля
Продуктовая реконфигурация	Доля ЗПФ, premium, retail bakery	Фиксирует смену категории	Ассортиментная стратегия
Компетентностный разрыв	KP-индекс, TtC, удержание	Ограничивает скорость перехода	PACE/HLRM и образовательные партнёрства
Институциональное давление	Регулирование цен, стандарты, маркировка	Определяет свободу манёвра	Комплаенс и сценарное планирование

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Полученные результаты позволяют уточнить место хлебопекарной отрасли в теории отраслевых рынков (Авдашева, 2011). Формально отрасль относится к зрелым рынкам с высокой стандартизацией базового продукта. Однако зрелость массового сегмента не означает исчерпания категории. Напротив, именно насыщение традиционного спроса запускает перераспределение потребления между форматами, требующими иной логистики, иной технологии и иной системы компетенций. Поэтому традиционный анализ жизненного цикла должен быть дополнен анализом внутренней сегментной реконфигурации.

С точки зрения стратегического управления (Катькало, 2008) отрасль демонстрирует предельный случай низкомаржинальной FMCG-системы, где рост стоимости создаётся не в самом производственном акте, а в управлении цепочкой: сырьём, качеством, каналом, данными и компетенциями (Barney, 1991; Porter, 1985). Это усиливает значение интегрированных корпоративных образований, но не делает интеграцию универсальным рецептом. Интеграция эффективна только при наличии управленческой зрелости. В противном случае она увеличивает сложность и может снизить стоимость бизнеса.

Для государственной и отраслевой политики результаты означают необходимость перехода от поддержки отдельных предприятий к поддержке контуров модернизации: технологического, кадрового, образовательного и нормативного. Если меры государственной поддержки доступны преимущественно крупным игрокам, это ускоряет консолидацию. Если образовательная система не синхронизирована с технологическим переходом, инвестиции в оборудование не дают ожидаемого эффекта. Поэтому реконфигурация отрасли должна рассматриваться как межконтурная задача.

Для предприятий практическая рекомендация состоит в формировании годовой программы «сборки»: диагностика зрелости, выбор целевого состояния, карта управленческих разрывов, портфель инициатив и контроль по горизонтам 90, 180 и 365 дней. Такая программа не заменяет стратегию, но делает её исполнимой. Без неё стратегия остаётся декларацией, а отдельные улучшения не складываются в новую бизнес-модель.

Операционализация результатов исследования предполагает перевод методологии в систему конкретных управленческих действий. Для хлебопекарного предприятия это означает не абстрактную модернизацию, а последовательную настройку контуров: сначала управленческого учёта и ассортимента, затем операционной системы, далее цепочки поставок, компетентностного контура и стратегического мониторинга. Такая последовательность важна, поскольку преждевременные капитальные вложения без видимости маржи и без подготовленного персонала усиливают финансовое давление и не устраняют причину низкой эффективности.

Первым практическим шагом является построение P&L по продуктам и каналам. В типовой ситуации предприятие знает сводную прибыль, но не видит, какие SKU создают маржу, а какие поддерживают только объём. Это приводит к перекрёстному субсидированию: прибыльные позиции

компенсируют убыточные, а управленческое внимание концентрируется на тоннаже. Переход к продуктово-канальному учёту позволяет выявить регулируемый сегмент, позиции с высоким уровнем возвратов, каналы с чрезмерным ретробонусным давлением и продукты, которые целесообразно перепозиционировать или вывести из матрицы.

Вторым шагом становится операционная диагностика. Она должна включать не только общий ОЕЕ, но и структуру потерь: доступность линии, производительность, качество, брак, возвраты и переналадки. Если предприятие планирует переход к новым форматам, особенно frozen bakery, обычного показателя загрузки недостаточно. Высокая загрузка может означать не эффективность, а перегрузку старой модели, в которой предприятие выпускает большой объём низкомаржинального продукта. Поэтому ОЕЕ должен анализироваться совместно с маржей и структурой ассортимента.

Третий шаг связан с управлением компетенциями. В отрасли часто предполагается, что технологическая модернизация автоматически приводит к повышению эффективности. Однако оборудование создаёт эффект только при наличии персонала, способного работать по новым регламентам, интерпретировать данные, управлять отклонениями и поддерживать качество. Поэтому авторская методика PACE/HLRM должна использоваться не как HR-дополнение, а как часть инвестиционного решения: до закупки оборудования необходимо понимать, сколько времени потребуется на освоение новой компетенции и какие блокировки могут возникнуть.

Четвёртый шаг – сценарная оценка. Если предприятие не связывает текущие действия со сценарием отрасли, оно рискует инвестировать в устаревающую конфигурацию. Например, расширение мощностей массового хлеба без параллельного развития новых сегментов может увеличить объём выпуска, но снизить будущую стоимость актива. Сценарная диагностика через ИИОР позволяет оценивать, как изменится положение предприятия при инерционном, технологическом или интеграционном развитии отрасли.

Таблица 7. Операционализация методологии реконфигурации на уровне предприятия

Этап	Содержание	Показатели	Результат
Диагностика маржи	P&L по SKU и каналам	Маржа SKU, доля регулируемого сегмента	Понимание источников прибыли
Операционная диагностика	ОЕЕ, брак, возвраты, переналадки	A, P, Q, доля возвратов	Карта производственных потерь
Компетентностная оценка	PACE/HLRM и Time-to-Competence	TtC, удержание, обученность	План подготовки персонала
Сырьевая устойчивость	Долгосрочные контракты и поставщики	Доля контрактов, сырьевой риск	Стабилизация себестоимости
Сценарный выбор	ИИОР и матрица сценариев	Позиция предприятия, индекс реконфигурации	Выбор траектории развития

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Предложенная методология имеет ограничения, обусловленные характером доступных данных. Российская хлебопекарная отрасль включает крупные интегрированные группы, региональные предприятия, локальные пекарни и смешанные форматы, однако публичная статистика не всегда позволяет разделить их по сегментам, каналам и реальной бизнес-модели. В результате часть показателей должна использоваться как аналитические диапазоны, а не как точечные абсолютные значения. Это не снижает ценности модели, но требует осторожности при переносе выводов на конкретное предприятие.

Второе ограничение связано с неоднородностью продуктовой категории. Массовый хлеб, замороженные полуфабрикаты, розничная выпечка и функциональные продукты имеют разные технологические циклы, сроки реализации, каналы и структуру маржи. Поэтому прямое сравнение предприятий по одному финансовому показателю может быть некорректным. Для последующих

исследований целесообразно формировать панель предприятий с разделением по сегментам и учитывать долю каждого сегмента в выручке.

Третье ограничение касается кадровых данных. Дефицит компетенций часто фиксируется через вакансии, интервью и экспертные оценки, но эти данные не всегда отражают скрытый спрос: предприятие может не публиковать вакансию, если понимает, что нужного специалиста на рынке нет. Поэтому модель PACE/HLRM требует дальнейшей эмпирической калибровки на базе корпоративных данных о сроках обучения, ошибках операторов, удержании и производственных результатах после обучения.

Перспективным направлением дальнейших исследований является построение отраслевого дашборда реконфигурации, который объединял бы данные по сырью, производству, ритейлу, кадрам, инвестициям и нормативным изменениям. Такой инструмент мог бы использоваться не только предприятиями, но и отраслевыми ассоциациями, университетами и органами управления АПК для оценки темпа трансформации и выявления узких мест.

Реализация реконфигурации требует распределения ответственности между управленческими ролями. Собственник определяет стратегическую позицию актива: оставаться самостоятельным нишевым игроком, становиться консолидатором, готовить предприятие к интеграции или выходу из актива. Генеральный директор переводит выбранную позицию в программу действий и отвечает за синхронизацию финансового, операционного, коммерческого и кадрового блоков. Операционный директор отвечает за производственную реализуемость перехода, включая ОЕЕ, потери, переналадки и качество. HRD отвечает за скорость освоения компетенций и удержание ключевых специалистов.

Такое распределение важно потому, что реконфигурация не является проектом одного функционального подразделения. Если её вести только как производственную модернизацию, будет упущена экономика каналов. Если вести только как коммерческий проект, возникнет риск невыполнимых обещаний сети. Если ограничиться HR-программой, компетенции не будут связаны с инвестиционным сценарием. Поэтому статья предлагает рассматривать реконфигурацию как межфункциональный контур управления стоимостью, где каждая роль имеет собственные показатели и общий сценарный результат.

На уровне совета директоров целесообразно закрепить ежеквартальный мониторинг пяти параметров: доли регулируемого сегмента, доли новых форматов, ОЕЕ, индекса компетентностного разрыва и позиции по ИИОР. Такое сочетание показателей позволяет видеть не только текущий финансовый результат, но и качество перехода. Если хотя бы один из параметров систематически отстаёт, программа реконфигурации должна корректироваться до того, как отставание перейдёт в потерю рыночной позиции.

Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Российская хлебопекарная отрасль находится в фазе реконфигурации, а не простой стагнации: базовый массовый сегмент сохраняет социальную функцию, но источники роста перемещаются в более дифференцированные и технологически сложные форматы.
2. Традиционная модель управления объёмом выпуска утрачивает эффективность, поскольку не отражает распределение маржи по продуктам, каналам и звеньям цепочки создания стоимости.
3. Режим управляемого выживания является самостоятельным состоянием предприятия: операционная деятельность продолжается, но ресурс для расширенного воспроизводства не формируется, что создаёт технологический и компетентностный долг.
4. Интегрированные корпоративные образования становятся ответом на низкую маржу, но их эффективность определяется не юридическим масштабом, а уровнем операционной, финансовой, цифровой и кадровой интеграции.
5. Модель зрелости предприятия позволяет выявлять управленческие разрывы раньше, чем они проявятся в финансовой отчётности; поэтому она должна использоваться как инструмент стратегической диагностики.

6. ИИОР целесообразно применять как сценарный индикатор, связывающий концентрацию рынка, технологическую модернизацию, продуктовую реконфигурацию, компетентностный разрыв и институциональное давление.

Список литературы

1. Авдашева С.Б., Розанова Н.М. Теория организации отраслевых рынков: учебник. Москва: Магистр, 2011. 320 с.
2. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства. Санкт-Петербург: Профессия, 2005. 416 с.
3. Беляева Е.А., Омельченко О.М. Стратегическое развитие хлебопекарной промышленности как фактор обеспечения продовольственной безопасности // Экономика и предпринимательство. 2018. № 6 (95). С. 795-799.
4. Гатилин Н.Ф. Проектирование хлебозаводов. Москва: Пищевая промышленность, 1975. 374 с.
5. Гимпельсон В.Е. Занятость в неформальном секторе российской экономики. Москва: ГУ ВШЭ, 2002. 312 с.
6. ГОСТ Р 7.0.100-2018. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления: национальный стандарт Российской Федерации. Москва: Стандартинформ, 2018. 124 с.
7. Капелюшников Р.И. Российский рынок труда: адаптация без реструктуризации. Москва: Изд. дом ВШЭ, 2009. 392 с.
8. Катькало В.С. Эволюция теории стратегического управления. Санкт-Петербург: Высшая школа менеджмента, 2008. 548 с.
9. Никитин И.А. Современные технологии хлебопекарного производства. Москва: ДеЛи плюс, 2020. 248 с.
10. Омельченко О.М., Лялин А.В. Методика риск-моделирования в бизнесе интегрированных корпоративных образований агропромышленного комплекса // Хлебопечение России. 2023а. Т. 67. № 1. С. 34-46.
11. Омельченко О.М., Капитонова Ю.С. Установление многофакторных связей управления бизнес-процессами и процесса управления качеством в интегрированных корпоративных образованиях в контексте цифровой трансформации // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА. 2023б. № 1. С. 150-161.
12. Омельченко О.М. Автоматизация процессов производства хлебобулочных изделий: современные тенденции и перспективы развития // Хлебопечение России. 2024. Т. 68. № 4. С. 17-27.
13. Омельченко О.М. Методология управления интегрированными корпоративными образованиями в промышленности ТПС/FMCG: монография. Москва: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2025.
14. Омельченко О.М. Экономика и управление реконфигурацией хлебопекарной отрасли России: монография. Москва, 2026.
15. Пашенко Л.П. Технология хлебобулочных изделий. Москва: КолосС, 2009. 389 с.
16. Росстат. Производство основных видов продукции в натуральном выражении. Москва: Федеральная служба государственной статистики, 2024.
17. ФАС России. Мониторинг цен на социально значимые продовольственные товары. Москва: Федеральная антимонопольная служба, 2024.
18. Barney J. Firm resources and sustained competitive advantage // Journal of Management. 1991. Vol. 17. № 1. pp. 99-120.
19. Penrose E. The theory of the growth of the firm. Oxford: Blackwell, 1959. 272 p.
20. Porter M.E. Competitive advantage: creating and sustaining superior performance. New York: Free Press, 1985. 557 p.

Reconfiguration of the Russian bakery industry within the FMCG framework: methodology, constraint model and managerial implications

Oleg M. Omelchenko

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Food Technologies and Bioengineering
Plekhanov Russian University of Economics

Moscow, Russian Federation

omelchenko.om@rea.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 07.01.2026

Accepted 16.02.2026

Published 30.03.2026

UDC 338.439.4:664.66

EDN HYAKSB

VAK 5.2.3. Regional and sectoral economics (economic sciences)

OECD 05.02.GY. ECONOMICS

Abstract

The article examines the reconfiguration of the Russian bakery industry as a structural process changing product, corporate and managerial architecture within the FMCG framework. The purpose of the study is to clarify a methodological framework for analyzing an industry that simultaneously functions as a socially significant food sector and a low-margin fast-moving consumer goods market. The materials include the author's monograph, open statistical and industry sources, regulatory documents, corporate data and expert materials. The methodological framework is based on structural-functional analysis, risk matrix analysis, index-based assessment, scenario modeling, comparative country analysis and a maturity model for bakery enterprises. The article shows that the traditional volume-oriented management model loses stability under the simultaneous influence of price pressure, raw material volatility, bargaining asymmetry with retail chains, labor shortages and investment hunger. The category of managed survival is substantiated: the enterprise preserves operational continuity but does not generate resources for expanded reproduction. Managerial implications are proposed for the transition to portfolio category management, integration of the value chain and use of the Integrated Industry Reconfiguration Index as a tool for scenario diagnostics. The practical significance of the work lies in the ability to assess not only the current profitability of an enterprise but also its capacity for reproduction, modernization and a managed transition to more sustainable market segments.

Keywords

bakery industry, reconfiguration, FMCG, integrated corporate entities, managed survival, IIOR, maturity model, value chain.

References

1. Avdasheva S.B., Rozanova N.M. Theory of the organization of industry markets: a textbook. Moscow: Master, 2011. 320 p.
2. Auerman L.Ya. Technology of baking production. Saint Petersburg: Professiya, 2005. 416 p.
3. Belyaeva E.A., Omelchenko O.M. Strategic development of the baking industry as a factor in ensuring food security // Economics and Entrepreneurship. 2018. № 6 (95). pp. 795-799.
4. Gatilin N.F. Design of bakery plants. Moscow: Food Industry, 1975. 374 p.
5. Gimpelson V.E. Employment in the informal sector of the Russian economy. Moscow: HSE, 2002. 312 p.

6. GOST R 7.0.100-2018. Bibliographic record. Bibliographic description. General requirements and rules for compilation: national standard of the Russian Federation. Moscow: Standartinform, 2018. 124 p.
7. Kapelyushnikov R.I. The Russian labor market: adaptation without restructuring. Moscow: HSE Publishing House, 2009. 392 p.
8. Kat'kalo V.S. Evolution of the theory of strategic management. St. Petersburg: Higher School of Management, 2008. 548 p.
9. Nikitin I.A. Modern Technologies of bakery production. Moscow: DeLi plus, 2020. 248 p.
10. Omelchenko O.M., Lyalin A.V. Risk modeling methodology in the business of integrated corporate entities in the agro-industrial complex // Russian Bakery. 2023a. Vol. 67. № 1. pp. 34-46.
11. Omelchenko O.M., Kapitonova Yu.S. Establishing multifactorial links between business process management and quality management in integrated corporate entities in the context of digital transformation // Bulletin of the Moscow University of Finance and Law MFUA. 2023b. № 1. pp. 150-161.
12. Omelchenko O.M. Automation of bakery products production processes: current trends and development prospects // Bakery of Russia. 2024. Vol. 68. № 4. pp. 17-27.
13. Omelchenko O.M. Methodology of management of integrated corporate formations in the tps/fmcg industry: a monograph. Moscow: Plekhanov Russian University of Economics, 2025.
14. Omelchenko O.M. Economics and management of reconfiguration of the Russian bakery industry: a monograph. Moscow, 2026.
15. Pashchenko L.P. Technology of bakery products. Moscow: KolosS, 2009. 389 p.
16. Rosstat. Production of main types of products in natural expr. Moscow: Federal State Statistics Service, 2024.
17. FAS of Russia. Monitoring of prices for socially significant food products. Moscow: Federal Antimonopoly Service, 2024.

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Frozen bakery и retail bakery как новая архитектура хлебной категории: экономика, технологии и управленческие решения

Олег Михайлович Омельченко

Кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры пищевых технологий и биоинженерии

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова

Москва, Россия

omelchenko.om@rea.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 14.01.2026

Принята 24.02.2026

Опубликована 30.03.2026

УДК 338.439.4:664.66

EDN IBOQTJ

БАК 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)

OECD 05.02.PC. MANAGEMENT

Аннотация

В статье исследуется развитие frozen bakery и retail bakery как ключевых контуров новой архитектуры хлебной категории в России. Цель работы состоит в выявлении экономических, технологических и управленческих условий перехода хлебопекарных предприятий от модели поставки массового готового хлеба к модели сегментированного портфеля, включающего замороженные полуфабрикаты, выпечку в торговом зале, функциональные продукты и B2B-поставки для сетевой розницы и HoReCa. Материалы исследования включают авторскую монографию, открытые статистические и отраслевые источники, корпоративные данные, нормативные документы и экспертные оценки. Методы исследования: сравнительный анализ сегментов, матричный анализ рисков, оценка цепочки создания стоимости, сценарное моделирование, анализ ОЕЕ и компетентностное картирование. Показано, что frozen bakery является не ассортиментным расширением, а изменением бизнес-модели, требующим холодовой цепи, новых технологических регламентов, цифрового планирования и специализированных компетенций. Retail bakery рассматривается как канал перераспределения стоимости в пользу ритейла и одновременно как возможность для производителя перейти от роли поставщика готового хлеба к роли B2B-партнёра сетевой пекарни. Сформированы управленческие таблицы, показатели контроля и дорожная карта входа в новые сегменты.

Ключевые слова

frozen bakery, retail bakery, хлебная категория, холодовая цепь, ОЕЕ, сетевой ритейл, ЗПФ, продуктовая реконфигурация.

Введение

Рост хлебопекарного рынка в ближайшие годы всё в меньшей степени будет определяться массовым нарезным хлебом. Этот продукт сохранит социальное и продовольственное значение, но его экономическая логика останется ограниченной: высокая ценовая чувствительность, давление регулирования, короткий срок реализации, высокий риск возвратов и ограниченная возможность дифференциации. В этих условиях стратегический центр тяжести перемещается в сегменты, где продуктовая ценность формируется через удобство, свежесть, готовность к употреблению, технологическую гибкость и контроль канала.

Frozen bakery и retail bakery становятся двумя связанными, но различными контурами такой реконфигурации. Замороженные хлебобулочные полуфабрикаты создают возможность развести производство и момент потребления, увеличить срок хранения, стабилизировать качество и обслуживать B2B-каналы. Пекарня в торговом зале, напротив, переносит финальную стадию приготовления ближе к потребителю и превращает свежую выпечку в инструмент трафика, дифференциации и маржи ритейла. Для производителя это одновременно вызов и возможность: он может потерять часть полочного пространства, но может стать поставщиком заготовок для сетевой пекарни.

Научная проблема статьи состоит в том, что развитие frozen bakery и retail bakery часто описывается как ассортиментный тренд, тогда как фактически речь идёт о смене бизнес-модели. Переход в новые сегменты требует другой экономики, иной цепочки поставок, другой структуры CAPEX, новых технологических компетенций и иной системы договоров с сетями. Поэтому решение о входе в такие сегменты не может приниматься только отделом продаж или технологической службой; оно должно рассматриваться как стратегическое решение собственника и генерального директора.

Цель статьи — раскрыть экономическое и управленческое содержание frozen bakery и retail bakery как элементов новой архитектуры хлебной категории и сформировать прикладные ориентиры для предприятий, планирующих переход из массового низкомаржинального сегмента в форматы с более высокой добавленной стоимостью.

Материалы и методы исследования

Материалы исследования включают авторскую монографию по реконфигурации хлебопекарной отрасли России, открытые данные Росстата и отраслевых ассоциаций, корпоративные публикации участников рынка, рыночные обзоры, нормативные документы и экспертные оценки. Особое внимание уделено данным о структуре сегментов, динамике замороженных полуфабрикатов, развитии пекарен в торговом зале, доле собственных торговых марок, структуре себестоимости, требованиях к холодовой цепи и кадровым ограничениям технологической модернизации.

Методический аппарат основан на сравнительном анализе сегментов хлебной категории. Сопоставляются массовый хлеб, frozen bakery, retail bakery, нишевые и функциональные продукты, а также продукция под собственной торговой маркой сетей. Для каждого сегмента анализируются динамика объёма, маржинальность, ключевой канал, технологические требования, компетентностный профиль и управленческая логика. Такой подход позволяет показать, что различия между сегментами не сводятся к рецептуре или упаковке, а затрагивают всю операционную модель.

Для оценки производственной стороны используется показатель ОЕЕ как внутренняя метрика управленческой зрелости. В статье ОЕЕ рассматривается не как универсальный норматив, а как инструмент выявления потерь доступности, производительности и качества. При переходе к frozen bakery ОЕЕ должен дополняться показателями переналадок, холодового хранения, возвратов, стабильности рецептов после размораживания и качества финального допекания.

Для анализа рисков применяется матричный подход: риски группируются по финансовому, технологическому, логистическому, кадровому и каналному контуру. Отдельно рассматривается зависимость от сетевой розницы и собственных торговых марок, поскольку ритейл не является нейтральным каналом, а активно перераспределяет стоимость внутри хлебной категории.

Таблица 1. Методический дизайн анализа frozen bakery и retail bakery

Объект анализа	Показатели	Метод	Управленческий результат
Сегмент frozen bakery	Рост, маржа, срок хранения, холодовая цепь	Сегментный и технологический анализ	Оценка готовности предприятия к входу

Retail bakery	Роль сети, формат допекания, контрактная модель	Анализ цепочки стоимости	Выбор роли производителя
Производственная система	ОЕЕ, переналадки, качество, возвраты	Операционный анализ	Оценка потерь и узких мест
Компетенции	Технологи ЗПФ, операторы, логистика	Компетентностное картирование	План обучения и HLRM-профили
Каналы сбыта	Сети, HoReCa, e-commerce, СТМ	Матричный анализ рисков	Диверсификация выручки

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Результаты и обсуждение

Новая архитектура хлебной категории строится вокруг различий в сроке реализации, степени готовности продукта, канале сбыта и добавленной стоимости. Массовый хлеб ориентирован на ежедневный спрос и минимальную цену; frozen bakery ориентирован на управляемое разделение производственного и потребительского цикла; retail bakery ориентирован на эффект свежести и трафика; нишевые продукты ориентированы на дифференцированную ценность; СТМ ориентирована на стабильность объёма и контроль сети над категорией.

Экономическая привлекательность frozen bakery связана с более высокой маржой и меньшей зависимостью от ценового регулирования. Однако эта привлекательность сопровождается ростом требований к технологии и логистике. Продукт должен сохранять качество после заморозки, хранения, транспортировки, размораживания и допекания. Это означает необходимость управлять не только рецептурой, но и всей цепочкой температурных режимов. Если холодовая цепь нарушается, экономическое преимущество сегмента превращается в риск потерь качества и репутации.

Retail bakery формирует иную логику. Сеть использует пекарню в торговом зале как инструмент привлечения покупателя и повышения восприятия свежести магазина. Для производителя это означает, что конкуренция переносится внутрь торговой точки. Если производитель поставляет только готовый хлеб, он конкурирует с выпечкой сети. Если он поставляет замороженные заготовки, он становится частью бизнес-модели retail bakery и получает долгосрочный B2B-канал.

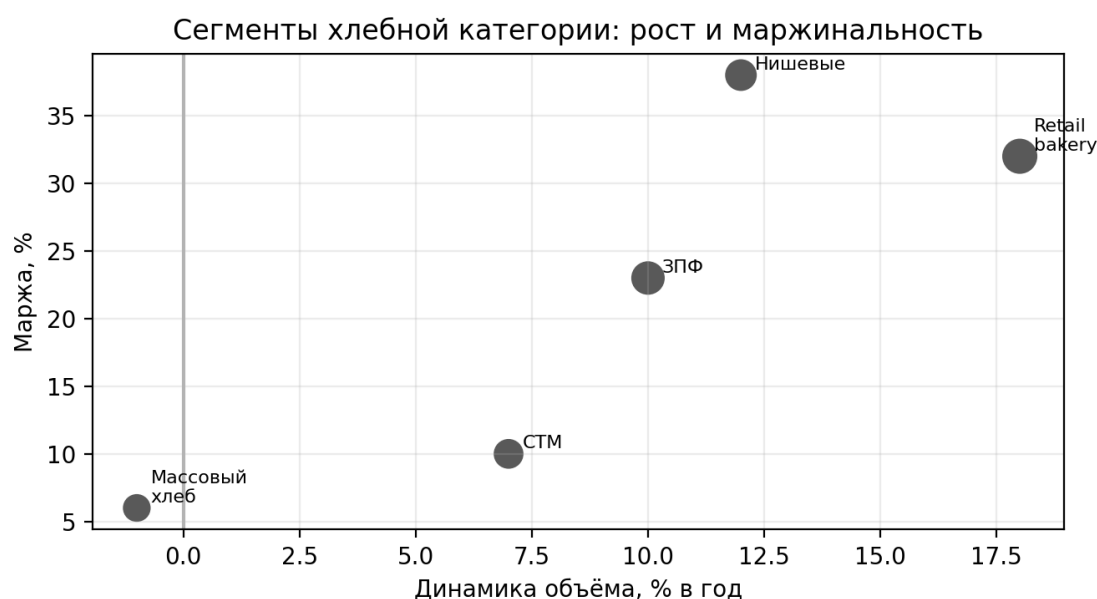


Рисунок 1. Сегменты хлебной категории: рост и маржинальность

Источник: составлено автором; значения представлены как аналитические диапазоны по материалам монографии.

Таблица 2. Сегменты новой архитектуры хлебной категории

Сегмент	Экономика	Канал	Ключевая компетенция
Массовый хлеб	Низкая маржа, высокий объём, ценовая чувствительность	Сетевая и традиционная розница	Контроль себестоимости и возвратов
Frozen bakery	Маржа выше массового хлеба, ниже возвраты	HoReCa, retail bakery, B2B	Шоковая заморозка и холодовая цепь
Retail bakery	Маржа концентрируется у сети	Пекарня в торговом зале	Управление заготовками и допеканием
Нишевые продукты	Малый объём, высокая добавленная стоимость	Специализированная розница, e-commerce	R&D, бренд и продуктовая разработка
СТМ	Стабильный объём, ограниченная маржа	Федеральные сети	Стабильность поставок и контрактная дисциплина

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Переход к frozen bakery нельзя рассматривать как простое добавление нескольких SKU в ассортиментную матрицу. Это изменение бизнес-модели, поскольку предприятие начинает управлять не только выпечкой, но и технологией заморозки, холодовым хранением, транспортировкой, восстановлением продукта и качеством допекания на стороне клиента. Производственный результат становится распределённым во времени и пространстве. Соответственно, растут требования к стандартизации процессов и к цифровому контролю партий.

Финансовая логика сегмента также отличается. Массовый хлеб работает в коротком цикле и несёт высокий риск возвратов, тогда как frozen bakery позволяет увеличить горизонт реализации и обслуживать B2B-каналы. Но для входа требуются инвестиции в камеры шоковой заморозки, холодильные склады, рефрижераторную логистику, упаковку, лабораторный контроль и обучение персонала. Поэтому положительный эффект возникает только при достаточном объёме и стабильном канале сбыта.

Критическим условием становится компетентностная система. Технолог ЗПФ должен понимать поведение теста при замораживании и восстановлении; оператор должен соблюдать температурные режимы и регламенты; логист должен управлять холодовой цепью; коммерческий блок должен работать с B2B-контрактом, где цена, сервис и стабильность поставки важнее единичной продажи. Без этих компетенций предприятие рискует инвестировать в оборудование, которое не создаст устойчивой маржи.

Таблица 3. Экономика frozen bakery по сравнению с массовым хлебом

Параметр	Массовый хлеб	Frozen bakery	Управленческий вывод
Срок реализации	Короткий, высокий риск списаний	Длиннее за счёт заморозки	Снижение возвратов при соблюдении холодовой цепи
Маржа	Ограничена регулированием и каналом	Выше за счёт добавленной технологической ценности	Требуется расчёт P&L по сегменту

Логистика	Быстрая доставка свежего продукта	Температурный режим и складирование	Нужны инвестиции в инфраструктуру
Компетенции	Традиционные производственные роли	Технологии ЗПФ, холодовая цепь, цифровой контроль	Нужна программа обучения
Канал	Розница и локальные магазины	HoReCa, retail bakery, B2B	Коммерческая модель должна быть отдельной

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

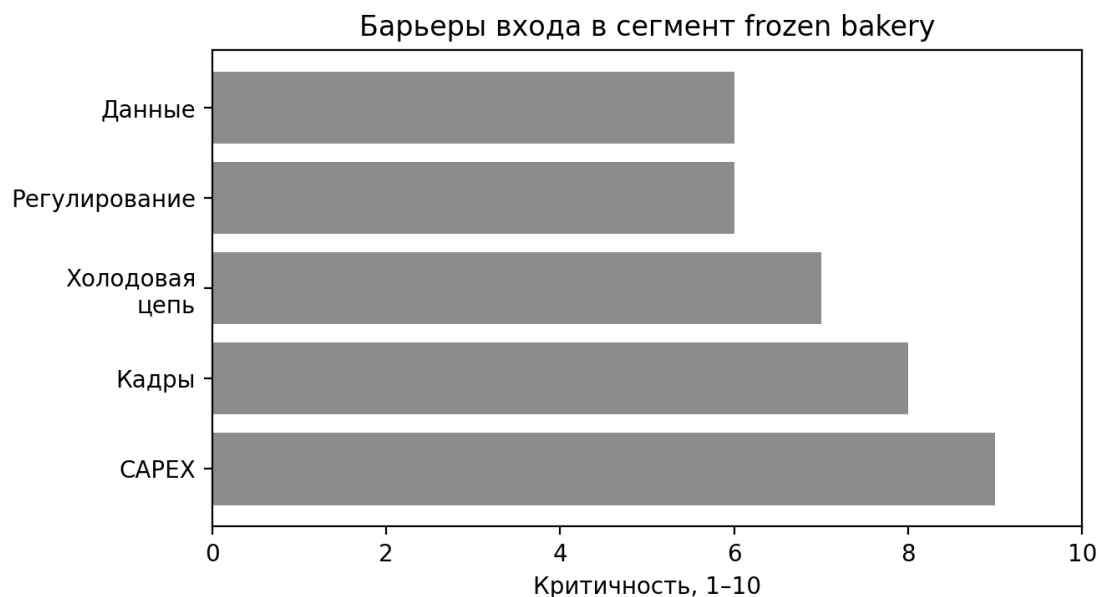


Рисунок 2. Барьеры входа в сегмент frozen bakery

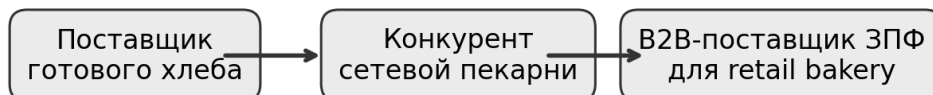
Источник: составлено автором; шкала 1–10 отражает экспертную критичность.

Retail bakery меняет экономику категории, поскольку финальная стадия создания потребительской ценности переносится в торговый зал. Для покупателя ценность выражается в свежести, аромате и удобстве; для сети – в трафике, дифференциации и возможности управлять маржой. Производитель в этой модели перестаёт быть единственным носителем хлебной категории. Он либо теряет часть роли, либо перестраивает её и становится поставщиком технологически подготовленных заготовок.

Трансформация роли производителя проходит три стадии. На первой стадии он поставляет готовый хлеб, а сеть выступает каналом сбыта. На второй стадии сеть открывает собственную пекарню и становится конкурентом производителя внутри магазина. На третьей стадии производитель поставляет замороженные заготовки для сетевой пекарни, а отношения переходят в B2B-партнёрство. Именно третья стадия создаёт возможность стабилизировать объём и повысить маржу, но требует технологической и контрактной зрелости.

Риск состоит в том, что сеть может использовать retail bakery и СТМ как два взаимодополняющих механизма изъятия стоимости. С одной стороны, собственная пекарня снижает зависимость от поставщика готового хлеба; с другой – СТМ фиксирует цену и снижает силу бренда производителя. Поэтому предприятие должно управлять долей СТМ, развивать собственный бренд и одновременно строить B2B-позицию в ЗПФ.

Трансформация роли производителя в retail bakery



От продажи готового продукта — к управлению заготовкой и сервисом для сети

Рисунок 3. Трансформация роли производителя в архитектуре retail bakery

Источник: составлено автором.

Таблица 4. Матрица рисков зависимости от сетевой розницы и СТМ

Зона	Условие	Риск	Решение
Партнёрство	СТМ $\leq 30\%$, сильный бренд	Риск контролируем	ЈВР и развитие ЗПФ
Управляемый риск	СТМ 30–50%, есть технологическая уникальность	Зависимость растёт	Диверсификация каналов
Скрытая зависимость	Низкая переговорная сила, даже при умеренной доле СТМ	Сеть диктует условия	Усиление бренда и B2B-продукта
Субподряд	СТМ $> 50\%$, слабый бренд	Потеря стратегической автономии	Реструктуризация портфеля и выход в новые каналы

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Для входа в frozen bakery и retail bakery недостаточно купить оборудование. Производственная система должна быть способна работать с более сложным ассортиментом, частыми переналадками, строгими температурными режимами и требованиями к воспроизводимости качества. Поэтому ОЕЕ приобретает значение не только технического, но и управленческого индикатора. Он показывает, насколько линия доступна, производительна и способна выпускать годную продукцию в соответствии с требуемым стандартом.

В массовом хлебе низкий ОЕЕ часто маскируется высокой загрузкой: предприятие выпускает значительный объём, но теряет маржу через простои, брак, перерасход сырья и возвраты. В frozen bakery ситуация сложнее: сбой качества может проявиться не сразу, а после размораживания или допекания у клиента. Поэтому нужно не только измерять ОЕЕ, но и дополнять его показателями стабильности рецептур, температурного контроля, качества упаковки, соблюдения cold chain и возвратов по B2B-контрактам.

Производственный директор должен оценивать не только техническую готовность линии, но и способность всей системы поддерживать новый сегмент. Наличие камеры шоковой заморозки без обученного персонала, без складского регламента и без коммерческого канала не является входом в frozen bakery. Это лишь изолированный актив. Управленческий результат возникает, когда оборудование, люди, логистика, данные и договоры соединены в единую операционную модель.

Таблица 5. Производственные узлы frozen bakery и компетентностные требования

Узел	Риск	Требуемая компетенция	KPI
Замес и формование	Нестабильность рецептуры	Технология теста под заморозку	Доля брака, стабильность массы
Предварительная обработка	Потеря структуры продукта	Режимы ферментации и подготовки	Качество после восстановления
Шоковая заморозка	Нарушение температурной кривой	Управление freezing profile	Температура ядра, время цикла
Хранение	Деградация качества	Складская дисциплина и FIFO/FEFO	Срок хранения, потери
Доставка	Разрыв холодовой цепи	Холодовая логистика	Температурные отклонения
Допекание	Несоответствие качества в точке	Регламент для клиента	Жалобы, возвраты, стабильность выпечки

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Переход в frozen bakery и retail bakery должен реализовываться поэтапно. На горизонте 90 дней предприятие проводит сегментный анализ выручки и маржи, оценивает технологическую готовность, проверяет состояние холодовой инфраструктуры, определяет потенциальных сетевых и B2B-клиентов. На этом этапе важно не начинать капитальные затраты до подтверждения спроса и расчёта P&L по сегменту.

На горизонте 180 дней запускается пилотный ассортимент. Оптимально начинать с ограниченного числа позиций, по которым можно проверить рецептуру, стабильность заморозки, логистику, реакцию клиента и фактическую экономику. Параллельно запускается обучение технологов и операторов, разрабатываются регламенты для склада и транспорта, создаётся карта рисков качества. Если пилот не показывает требуемой маржи или устойчивости процесса, масштабирование откладывается.

На горизонте 365 дней предприятие должно получить первый коммерческий контракт, подтвердить стабильность поставок и оценить экономику сегмента. Только после этого целесообразно принимать решение о расширении мощностей. Такой подход снижает риск капитальных вложений в неподтверждённую бизнес-модель и позволяет связать стратегию с измеримыми результатами.

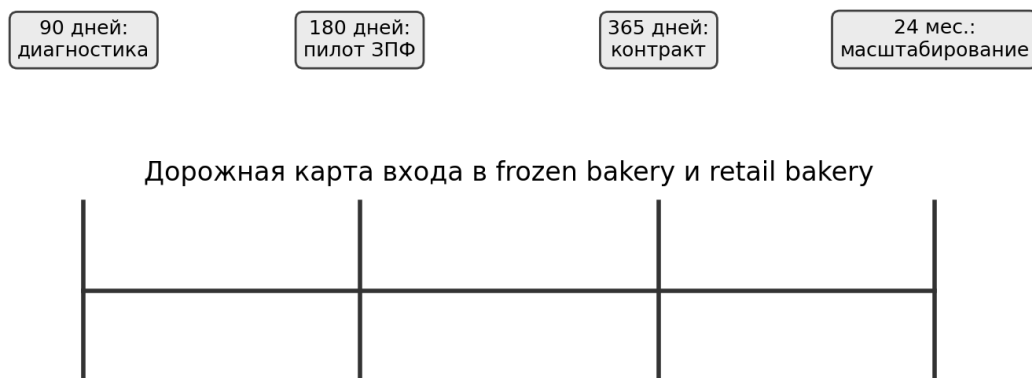


Рисунок 4. Дорожная карта входа в frozen bakery и retail bakery

Источник: составлено автором.

Таблица 6. KPI входа в frozen bakery и retail bakery

Горизонт	Контрольный показатель	Целевое значение	Решение
90 дней	P&L по сегменту и бизнес-кейс	Подготовлен и утверждён	Разрешение на пилот
90 дней	Карта технологической готовности	Узкие места идентифицированы	План CAPEX и обучения
180 дней	Пилотный ассортимент	3–5 позиций	Проверка рецептуры и спроса
180 дней	Отклонения холодовой цепи	Не выше установленного порога	Корректировка логистики
365 дней	Контракт с сетью или HoReCa	Минимум один устойчивый канал	Коммерческое масштабирование
365 дней	Маржа сегмента	Выше массового хлеба	Решение о расширении

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Развитие frozen bakery и retail bakery показывает, что хлебная категория перестаёт быть однородной. Внутри неё формируются сегменты с разной логикой создания стоимости: массовый продукт, технологически подготовленная заготовка, свежая выпечка в торговом зале, нишевой бренд и частная марка сети. Это требует от предприятий перехода от единой ассортиментной политики к портфельному управлению, в котором каждый сегмент имеет собственные KPI, канал, технологию, риски и компетенции.

Для ритейла retail bakery является инструментом управления покупательским опытом и маржой. Для производителя это означает необходимость пересмотреть свою роль. Защищать прежний формат поставки готового хлеба становится всё сложнее, если сеть способна производить свежую выпечку внутри магазина. Более перспективным становится переход к роли поставщика ЗПФ и технологического партнёра, но такой переход требует зрелости, которой нет у многих традиционных предприятий.

Наиболее существенный риск состоит в недооценке комплексности входа в новые сегменты. Предприятие может инвестировать в оборудование, но не обеспечить холодовую цепь; может разработать ассортимент, но не получить контракт; может заключить контракт, но не иметь достаточной стабильности качества. Поэтому управленческая программа должна соединять технологию, рынок, финансы и компетенции. Только в этом случае frozen bakery становится источником роста, а не новым центром затрат.

С точки зрения отраслевой политики развитие новых сегментов требует синхронизации с образовательной системой и нормативной базой. Подготовка технологов ЗПФ, специалистов по холодовой цепи, операторов автоматизированных линий и менеджеров качества должна стать самостоятельным направлением. Без этого технологическая реконфигурация будет ограничена не CAPEX, а скоростью освоения компетенций.

Таблица 7. Управленческая матрица решений для входа в новые сегменты

Решение	Когда принимать	Критерий готовности	Риск при ошибке
Вход в ЗПФ	После расчёта P&L и пилота	Есть технология, канал и команда	CAPEX без маржи
Контракт с retail bakery	После тестирования заготовок	Стабильность качества в точке	Штрафы и потеря клиента
Развитие СТМ	Только как часть портфеля	Доля СТМ не создаёт зависимости	Переход в субподряд
Инвестиции в холодовую цепь	После подтверждения спроса	Контрактная база и сценарий загрузки	Недозагрузка инфраструктуры

Корпоративное обучение	До запуска масштабирования	HLRM-профили и наставники	Технологические ошибки
------------------------	----------------------------	---------------------------	------------------------

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Новые сегменты хлебной категории требуют иной образовательной логики. В массовом хлебопечении ключевыми остаются стабильность рецептуры, выполнение санитарных требований, ритмичность выпуска и контроль себестоимости. В frozen bakery добавляются знания о поведении полуфабриката при замораживании и хранении, управлении температурными профилями, взаимодействии упаковки и продукта, логистике низкотемпературного режима и качестве финального восстановления. Это означает, что обычная технологическая подготовка становится недостаточной.

Для retail bakery компетентностный профиль также усложняется. Производитель должен понимать операционные требования сети: скорость выкладки, стабильность допекания, простоту регламента для персонала магазина, устойчивость качества при разных режимах эксплуатации и минимизацию потерь в торговом зале. Фактически технологическая задача дополняется сервисной: продукт должен быть не только качественным на заводе, но и воспроизводимым в точке продаж, где финальная операция выполняется персоналом ритейла.

В этой связи модель PACE/HLRM может использоваться как инструмент расчёта готовности предприятия к новым сегментам. Если Time-to-Competence по ключевым ролям превышает горизонт запуска пилота, проект следует отложить или изменить его масштаб. Обратная ситуация также важна: если компания имеет подготовленную команду, но не располагает каналом, целесообразно сначала формировать контрактную базу, а не увеличивать штат. Таким образом, компетентностная диагностика должна быть связана с коммерческой и инвестиционной.

Образовательное партнёрство с вузами и колледжами должно строиться вокруг прикладных модулей: шоковая заморозка, холодовая цепь, ОЕЕ, НАССР для ЗПФ, цифровая прослеживаемость, управление возвратами, B2B-сервис для сетей. Это позволяет сократить разрыв между образовательной программой и фактической производственной задачей предприятия.

Таблица 8. Компетентностная модель для frozen bakery и retail bakery

Роль	Ключевые компетенции	Метрика освоения	Риск дефицита
Технолог ЗПФ	Заморозка, рецептуры, восстановление продукта	Time-to-Competence, стабильность качества	Брак после размораживания
Оператор линии	Регламенты, температурные режимы, санитарные операции	Ошибки в смену, выполнение SOP	Простои и отклонения
Логист холодовой цепи	Маршруты, температурный контроль, FEFO	Отклонения температуры, потери	Разрыв cold chain
Менеджер B2B	Контракт с сетью, сервис, прогнозирование	Удержание клиента, SLA	Потеря канала
Специалист качества	НАССР, прослеживаемость, жалобы	Доля рекламаций	Репутационные потери

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Масштабирование frozen bakery ограничивается не только спросом, но и нормативной и инвестиционной средой. Предприятие должно учитывать требования безопасности пищевой продукции, маркировки, прослеживаемости, санитарного контроля, хранения и транспортировки. Чем длиннее

цепочка между производством и потреблением, тем выше значимость документального подтверждения качества. Поэтому нормативный контур нельзя рассматривать как формальное сопровождение; он становится частью операционной модели.

Инвестиционная модель также требует отдельной проработки. Вход в сегмент ЗПФ включает не только стоимость оборудования, но и расходы на проектирование, холодильные мощности, упаковку, транспорт, IT-системы, обучение, лабораторный контроль и коммерческое продвижение. Если компания рассчитывает окупаемость только по цене камеры шоковой заморозки, она недооценивает совокупный CAPEX и последующие операционные расходы. Корректный бизнес-кейс должен включать весь жизненный цикл сегмента.

Важным фактором является региональная неоднородность. В крупных агломерациях cold chain развита лучше, спрос сетей и HoReCa выше, а кадровый рынок шире. В регионах с низкой плотностью сетевой розницы и слабой холодильной инфраструктурой вход в ЗПФ может оказаться экономически неоправданным без партнёрства с логистическим оператором или федеральной сетью. Следовательно, решение о масштабировании должно приниматься по территориальной матрице, а не по усреднённой отраслевой оценке.

Практическая рекомендация заключается в том, что предприятие должно начинать с пилотного региона и пилотного клиента. Если модель подтверждается по качеству, сервису, марже и повторяемости поставок, она может масштабироваться. Если хотя бы один из элементов не подтверждён, расширение увеличивает риск. Такой подход особенно важен для предприятий, находящихся в режиме управляемого выживания, где ошибка CAPEX может ухудшить финансовую устойчивость.

Финансовая модель перехода в frozen bakery и retail bakery должна строиться не только на сравнении маржи сегментов, но и на полном учёте затрат перехода. К прямым капитальным затратам относятся камеры шоковой заморозки, холодильные склады, оборудование упаковки, транспорт и лабораторный контроль. К организационным затратам относятся разработка регламентов, обучение персонала, пилотные партии, изменение учётных систем и коммерческое сопровождение. Если эти статьи не включены в расчёт, проект выглядит более прибыльным, чем он является в действительности.

Критерием инвестиционного решения должен быть не сам факт более высокой маржи ЗПФ, а наличие подтверждённого канала, достаточного объёма, технологической устойчивости и управленческой готовности. Сегмент может демонстрировать привлекательную экономику в среднем, но конкретное предприятие не получит эффект, если оно находится далеко от ключевого клиента, не имеет холодовой логистики, испытывает дефицит технологов или не способно обеспечить стабильность качества. Поэтому бизнес-кейс должен включать сценарий загрузки мощностей и стресс-тест по отказу ключевого клиента.

Для управленческой практики целесообразно использовать правило трёх подтверждений. Первое подтверждение — технологическое: продукт стабильно воспроизводится после заморозки, хранения и допекания. Второе подтверждение — коммерческое: есть клиент или канал, готовый закупать пилотный объём на повторяющейся основе. Третье подтверждение — финансовое: фактическая маржа пилота превышает маржу массового хлеба с учётом дополнительных логистических и складских затрат. Только при наличии трёх подтверждений следует переходить к масштабированию.

Особое значение имеет управление риском недозагрузки. Холодовая инфраструктура имеет высокую долю постоянных затрат, поэтому низкая загрузка резко ухудшает экономику сегмента. В отличие от массового хлеба, где мощность может быть частично использована для базового ассортимента, специализированная инфраструктура ЗПФ требует устойчивого потока заказов. Следовательно, инвестиционное решение должно приниматься после проверки не только производственной возможности, но и рыночной ёмкости конкретного канала.

Финансовая модель также должна учитывать эффект на стоимость предприятия. Наличие устойчивого B2B-контракта в retail bakery, контролируемой холодовой цепи и компетентностной системы повышает инвестиционную привлекательность актива. Напротив, высокая доля СТМ без собственного

бренда и без технологической уникальности снижает оценку бизнеса, поскольку выручка воспринимается как зависящая от ограниченного числа сетевых закупщиков.

Таблица 9. Критерии инвестиционного решения по frozen bakery

Критерий	Минимальное подтверждение	Документ/данные	Решение
Технологическая устойчивость	Стабильное качество после цикла заморозки и допекания	Протокол испытаний	Допуск к пилоту
Коммерческий канал	Повторяемый заказ от сети, HoReCa или B2B-клиента	Письмо о намерениях или контракт	Планирование загрузки
Экономика пилота	Маржа выше массового хлеба с учётом логистики	P&L пилота	Решение о CAPEX
Кадровая готовность	Обучены технологи и операторы	HLRM-профили и аттестация	Запуск смены
Инфраструктура	Холодовая цепь закрыта от производства до клиента	Температурные журналы и SLA	Масштабирование

Источник: составлено автором на основе материалов монографии и открытых данных.

Качество в сегментах frozen bakery и retail bakery должно пониматься шире, чем соответствие готового изделия заводскому стандарту. Продукт проходит несколько стадий, на каждой из которых возможна потеря потребительских свойств: подготовка полуфабриката, заморозка, хранение, транспортировка, размораживание, допекание и выкладка. Поэтому система качества должна быть сквозной. Она должна фиксировать не только брак на выходе линии, но и параметры партии на последующих стадиях движения продукта.

Прослеживаемость партий становится важнейшим элементом договорной модели с сетью. Если возникает отклонение качества в торговой точке, производитель должен иметь возможность определить, связано ли оно с рецептурой, режимом заморозки, хранением, транспортом или допеканием. Без такой прослеживаемости спор с сетью превращается в коммерческий риск, а не в управляемое технологическое расследование. Поэтому цифровой контур в новых сегментах выступает не дополнительным сервисом, а средством защиты маржи и репутации.

Практически это означает необходимость паспорта партии, включающего параметры сырья, технологический режим, температуру заморозки, срок хранения, условия транспортировки и регламент допекания. Такой паспорт может использоваться как основа для внутреннего контроля, обучения клиента и анализа рекламаций. Для предприятия, которое переходит в B2B-поставки для retail bakery, наличие такой системы повышает доверие сети и укрепляет переговорную позицию.

Звключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Frozen bakery является не ассортиментным дополнением, а самостоятельной бизнес-моделью, требующей холодовой цепи, регламентов, цифрового контроля и специализированных компетенций.
2. Retail bakery перераспределяет стоимость внутри хлебной категории в пользу сети, но одновременно открывает для производителя B2B-роль поставщика замороженных заготовок.
3. Вход в новые сегменты должен осуществляться через пилот, проверку P&L и подтверждение канала, а не через немедленную закупку оборудования.

4. ОЕЕ при переходе к frozen bakery необходимо дополнять показателями температурного контроля, стабильности рецептур, качества после восстановления и возвратов по B2B-каналам.
5. Доля СТМ должна управляться как риск концентрации, поскольку высокая зависимость от одного сетевого заказчика снижает стоимость бизнеса и ослабляет бренд производителя.
6. Стратегический эффект достигается только при синхронизации технологии, логистики, коммерческого канала, компетенций и сценарного инвестиционного решения.

Список литературы

1. Авдашева С.Б., Розанова Н.М. Теория организации отраслевых рынков: учебник. Москва: Магистр, 2011. 320 с.
2. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства. Санкт-Петербург: Профессия, 2005. 416 с.
3. Беляева Е.А., Омельченко О.М. Стратегическое развитие хлебопекарной промышленности как фактор обеспечения продовольственной безопасности // Экономика и предпринимательство. 2018. № 6 (95). С. 795-799.
4. Гатилин Н.Ф. Проектирование хлебозаводов. Москва: Пищевая промышленность, 1975. 374 с.
5. Гимпельсон В.Е. Занятость в неформальном секторе российской экономики. Москва: ГУ ВШЭ, 2002. 312 с.
6. ГОСТ Р 7.0.100-2018. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления: национальный стандарт Российской Федерации. Москва: Стандартинформ, 2018. 124 с.
7. Капелюшников Р.И. Российский рынок труда: адаптация без реструктуризации. Москва: ИД ВШЭ, 2009. 392 с.
8. Катькало В.С. Эволюция теории стратегического управления. Санкт-Петербург: Высшая школа менеджмента, 2008. 548 с.
9. Никитин И.А. Современные технологии хлебопекарного производства. Москва: ДеЛи плюс, 2020. 248 с.
10. Омельченко О.М., Лялин А.В. Методика риск-моделирования в бизнесе интегрированных корпоративных образований агропромышленного комплекса // Хлебопечение России. 2023. Т. 67. № 1. С. 34-46.
11. Омельченко О.М., Капитонова Ю.С. Установление многофакторных связей управления бизнес-процессами и процесса управления качеством в интегрированных корпоративных образованиях в контексте цифровой трансформации // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА. 2023. № 1. С. 150-161.
12. Омельченко О.М. Автоматизация процессов производства хлебобулочных изделий: современные тенденции и перспективы развития // Хлебопечение России. 2024. Т. 68. № 4. С. 17-27.
13. Омельченко О.М. Методология управления интегрированными корпоративными образованиями в промышленности ТПС/FMCG: монография. Москва: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2025.
14. Омельченко О.М. Экономика и управление реконфигурацией хлебопекарной отрасли России: монография. Москва, 2026.
15. Пашенко Л.П. Технология хлебобулочных изделий. Москва: КолосС, 2009. 389 с.
16. Росстат. Производство основных видов продукции в натуральном выражении. Москва: Федеральная служба государственной статистики, 2024.
17. ФАС России. Мониторинг цен на социально значимые продовольственные товары. Москва: Федеральная антимонопольная служба, 2024.
18. Barney J. Firm resources and sustained competitive advantage // Journal of Management. 1991. Vol. 17. № 1. pp. 99-120.
19. Penrose E. The theory of the growth of the firm. Oxford: Blackwell, 1959. 272 p.

20. Porter M.E. Competitive advantage: creating and sustaining superior performance. New York: Free Press, 1985. 557 p.
21. Teece D.J. Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of enterprise performance // Strategic Management Journal. 2007. Vol. 28. № 13. pp. 1319-1350.
22. Williamson O.E. The economic institutions of capitalism. New York: Free Press, 1985. 450 p.

Frozen bakery and retail bakery as a new architecture of the bread category: economics, technology and management decisions

Oleg M. Omelchenko

candidate of economic sciences, associate professor, department of food technologies and bioengineering
Plekhanov Russian University of Economics
Moscow, Russia
omelchenko.om@rea.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 14.01.2026

Accepted 24.02.2026

Published 30.03.2026

UDC 338.439.4:664.66

EDN IBOQTJ

VAK 5.2.3. Regional and sectoral economics (economic sciences)

OECD 05.02.PC. MANAGEMENT

Abstract

The article examines frozen bakery and retail bakery as key contours of a new bread category architecture in Russia. The purpose of the study is to identify economic, technological and managerial conditions for the transition of bakery enterprises from the model of supplying mass ready-made bread to a segmented portfolio model including frozen semi-finished products, in-store bakery, functional products and B2B supplies for retail chains and HoReCa. The materials include the author's monograph, open statistical and industry sources, corporate data, regulatory documents and expert assessments. The methods include comparative segment analysis, risk matrix analysis, value chain assessment, scenario modeling, OEE analysis and competency mapping. The article shows that frozen bakery is not merely an assortment extension but a change in the business model requiring a cold chain, new technological regulations, digital planning and specialized competencies. Retail bakery is considered as a channel for value redistribution in favor of retailers and simultaneously as an opportunity for a producer to move from the role of a ready-made bread supplier to the role of a B2B partner of an in-store bakery. Managerial tables, control indicators and a roadmap for entering new segments are proposed.

Keywords

frozen bakery, retail bakery, bread category, cold chain, OEE, retail chains, semi-finished bakery products, product reconfiguration.

References

1. Avdasheva S.B., Rozanova N.M. Theory of industrial organization. Moscow: Magister, 2011. 320 p.
2. Auerman L.Ya. Bakery production technology. Saint Petersburg: Profession, 2005. 416 p.

3. Belyaeva E.A., Omelchenko O.M. Strategic development of the bakery industry as a factor of food security // *Economics and Entrepreneurship*. 2018. № 6 (95). pp. 795-799.
4. Gatilin N.F. Bakery plant design. Moscow: Food Industry, 1975. 374 p.
5. Gimpelson V.E. Employment in the informal sector of the Russian economy. Moscow: HSE, 2002. 312 p.
6. GOST R 7.0.100-2018. Bibliographic record. Bibliographic description. General requirements and rules. Moscow: Standartinform, 2018. 124 p.
7. Kapelyushnikov R.I. The Russian labour market: adaptation without restructuring. Moscow: HSE Publishing House, 2009. 392 p.
8. Katkalo V.S. Evolution of the theory of strategic management. Saint Petersburg: Graduate School of Management, 2008. 548 p.
9. Nikitin I.A. Modern bakery production technologies. Moscow: DeLi Plus, 2020. 248 p.
10. Omelchenko O.M., Lyalin A.V. Risk modeling methodology in the business of integrated corporate entities of the agro-industrial complex // *Bakery of Russia*. 2023. Vol. 67. № 1. pp. 34-46.
11. Omelchenko O.M., Kapitonova Yu.S. Multifactorial links between business process management and quality management in integrated corporate entities in the context of digital transformation // *Bulletin of the Moscow Financial and Law University*. 2023. № 1. pp. 150-161.
12. Omelchenko O.M. Automation of bakery production processes: current trends and development prospects // *Bakery of Russia*. 2024. Vol. 68. № 4. pp. 17-27.
13. Omelchenko O.M. Methodology for managing integrated corporate entities in TPS/FMCG industry. Moscow: Plekhanov Russian University of Economics, 2025.
14. Omelchenko O.M. Economics and management of the reconfiguration of the Russian bakery industry. Moscow, 2026.
15. Pashchenko L.P. Technology of bakery products. Moscow: KolosS, 2009. 389 p.
16. Rosstat. Production of main product types in physical terms. Moscow: Federal State Statistics Service, 2024.
17. FAS Russia. Monitoring of prices for socially significant food products. Moscow: Federal Antimonopoly Service, 2024.
18. Barney J. Firm resources and sustained competitive advantage // *Journal of Management*. 1991. Vol. 17. No. 1. pp. 99-120.
19. Penrose E. The theory of the growth of the firm. Oxford: Blackwell, 1959. 272 p.
20. Porter M.E. Competitive advantage: creating and sustaining superior performance. New York: Free Press, 1985. 557 p.
21. Teece D.J. Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of enterprise performance // *Strategic Management Journal*. 2007. Vol. 28. № 13. pp. 1319-1350.
22. Williamson O.E. The economic institutions of capitalism. New York: Free Press, 1985. 450 p.

Печатное издание «Хлебопечение России»
Том 70 (2026). № 3-4

ISSN 2073-3569

Реестровая запись о регистрации 014330 от 10.01.1996г.
Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и
массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Издание включено в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК и Российский
индекс научного цитирования.

Рукописи подвергаются редакционной обработке. Точки зрения авторов и редакционной коллегии могут
не совпадать. Авторы публикуемых материалов несут ответственность за их научную достоверность.

Адрес редакции: 109028, г. Москва, а/я 50, Российский Союз пекарей
e-mail: xcleb-vak@mail.ru, <https://hbreview.ru>

Подписано к размещению 30.06.2026.
Отпечатано в типографии ООО «Российский союз пекарей», 109028, г. Москва, а/я 50.
Подписано в печать 15.03.2024. Тираж 300 экз. Формат А4. Свободная цена.

© Учредитель ООО «Российский союз пекарей», 2026

Printed edition «Bakery of Russia»
Volume 70 (2026). Issue 3-4

ISSN 2073-3569

Registry record of registration 014330 dated 10.01.1996r.
Registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass
Communications (Roskomnadzor).

The edition is included into The List of The Reviewed Scientific Publications recommended by The Highest
Certifying Commission and The Russian Index of Scientific Citing.

Manuscripts are exposed to editorial processing. The points of view of authors and an editorial board can not
coincide. Authors of the published materials bear responsibility for their scientific reliability.

Address of the editorial office: 109028, Moscow, a/ya 50, Russian Union of Bakers
e-mail: xcleb-vak@mail.ru, <https://hbreview.ru>

Signed for placement on 30.06.2026.
Printed at the printing house of the NGO «Russian Bakers Union», 109028, Moscow, P.O. Box 50.
Signed for printing on 15.03.2024. Print run of 300 copies. A4 format. Free price.

© Founder NGO «Russian Bakers Union», 2026

