

О.В. Зинина¹ ✉Е.А. Вишнякова¹М.Б. Ребезов²¹Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

✉ zininaov@susu.ru

Поступила в редакцию: 30.05.2025

Одобрена после рецензирования: 13.07.2025

Принята к публикации: 28.07.2025

© Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Ребезов М.Б.

Oksana V. Zinina¹ ✉Elena A. Vishnyakova¹Maksim B. Rebezov²¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russia²V. M. Gorbatoev Federal Scientific Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉ zininaov@susu.ru

Received by the editorial office: 30.05.2025

Accepted in revised: 13.07.2025

Accepted for publication: 28.07.2025

© Zinina O.V., Vishnyakova E.A., Rebezov M.B.

Разработка алгоритма оценки антиоксидантных свойств экстрактов вишни методами искусственного интеллекта

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Инструменты искусственного интеллекта играют всё более важную роль в пищевых технологиях и биотехнологиях, значительно ускоряя и улучшая различные процессы. Оперативный контроль колориметрических параметров вишневых экстрактов с помощью компьютерного зрения позволяет быстро оценить содержание биоактивных веществ без затрат на экспериментальные исследования.

Методы. Объектами исследования являются образцы вишневых экстрактов. Для получения изображений опытных образцов подготовлены разведения от 2 до 0,25%. Цветовые характеристики экстрактов определяли с помощью колориметра NR60CP. Количественное определение суммарного содержания полифенолов в растворах экстрактов различной концентрации проводили методом Фолина — Чокальтеу. В качестве входных данных для классификации объектов и составления базы данных получали изображения RGB с цифровой камеры (50 МП). Для разработки программного обеспечения по обработке изображений использовали язык программирования Python, библиотеку OpenCV и TensorFlow. TensorFlow извлекает признаки из фотографий и добавляет их в базу данных.

Результаты. Результаты исследований показали, что с увеличением содержания биоактивных веществ — полифенолов — цвет экстрактов изменяется, становится темнее, что подтверждают и результаты оценки цветовых характеристик колориметром: с повышением концентрации повышается краснота и снижается светлота образцов. Создана база данных путем извлечения признаков с помощью библиотеки TensorFlow из готовых изображений образцов. Разработана программа оценки содержания полифенолов в экстрактах на языке программирования Python. Описанная модель системы мониторинга качества экстрактов с помощью компьютерного зрения может облегчить в промышленных масштабах определение содержания биоактивных веществ, требующих значительных затрат времени и ресурсов.

Ключевые слова: вишневый экстракт, компьютерное зрение, колориметрические параметры, алгоритм, антиоксидантные свойства

Для цитирования: Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Ребезов М.Б. Разработка алгоритма оценки антиоксидантных свойств экстрактов вишни методами искусственного интеллекта. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 136–143.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-136-143>

Development of an algorithm for assessing the antioxidant properties of cherry extracts using artificial intelligence methods

ABSTRACT

Relevance. Artificial intelligence tools are playing an increasingly important role in food technology and biotechnology, significantly accelerating and improving various processes. Operational control of colorimetric parameters of cherry extracts using computer vision allows for a quick assessment of the content of bioactive substances without the cost of experimental studies.

Methods. The objects of the study are samples of cherry extracts. Dilutions from 2 to 0.25% were prepared to obtain images of the test samples. The color characteristics of the extracts were determined using an NR60CP colorimeter. Quantitative determination of the total content of polyphenols in solutions of extracts of different concentrations was carried out using the Folin — Ciocalteu method. RGB images from a digital camera (50 MP) were obtained as input data for classifying objects and compiling a database. The Python programming language, OpenCV library and TensorFlow were used to develop image processing software. TensorFlow extracts features from photographs and adds them to the database.

Results. The research results showed that with an increase in the content of bioactive substances — polyphenols — the color of the extracts changes and becomes darker, which is confirmed by the results of the evaluation of color characteristics with a colorimeter: with an increase in concentration, the redness increases and the lightness of the samples decreases. A database was created by extracting features using the TensorFlow library from ready-made sample images. A program for assessing the content of polyphenols in extracts was developed in the Python programming language. The described model of the system for monitoring the quality of extracts using computer vision can facilitate the determination of the content of bioactive substances on an industrial scale, which requires significant time and resources.

Key words: cherry extract, computer vision, colorimetric parameters, algorithm, antioxidant properties

For citation: Zinina O.V., Vishnyakova E.A., Rebezov M.B. Development of an algorithm for assessing the antioxidant properties of cherry extracts using artificial intelligence methods. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 136–143 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-136-143>

Введение/Introduction

Пищевая индустрия — одна из основных сфер, нуждающаяся в модернизации производства [1, 2]. От качества пищевых продуктов зависит качество жизни населения страны [3–6], а также пищевая безопасность [7, 8].

Обязанности, которые традиционно выполнял естественный (человеческий) интеллект, теперь выполняются с помощью современных компьютерных систем, которые называются искусственным интеллектом (ИИ). Эти высокотехнологичные вычислительные системы моделируют человеческий мозг и проводят анализ для решения задач. Другими словами, сначала рассматривается, как человек решает задачу, а затем его логика переводится на компьютерный язык с помощью кодов. Существует ряд направлений, которые классифицируются в зависимости от их применения, например распознавание образов и голоса, цифровая обработка сигналов, машинное обучение и обработка естественного языка. Часть функций человеческого мозга может быть имитирована или даже улучшена с помощью ИИ [9–11].

ИИ — это обширная область компьютерных технологий, которая имитирует процессы человеческого интеллекта с помощью машин и компьютеров и разрабатывает системы для выполнения задач, которые обычно требуют человеческого интеллекта. Фактически он позволяет использовать данные в реальном времени для повышения эффективности систем мониторинга, минимизации ошибок, повышения устойчивости производственного процесса и экономии затрат [12–15].

Компьютерное зрение — это технология, позволяющая извлекать, обрабатывать и интерпретировать визуальные данные из окружающей среды с высокой скоростью, точностью и без физического вмешательства. С применением современных методов обработки изображений, интеллектуальных алгоритмов и систем ИИ компьютерное зрение способно частично имитировать человеческое восприятие, выявляя даже трудноразличимые дефекты. Основные достоинства таких решений — высокая точность, быстрая обработка данных и стабильность результатов [16–19].

Системы автоматического контроля качества на базе компьютерного зрения могут использоваться на различных стадиях производственного цикла. Наиболее типичными примерами являются контроль исходного сырья, сортировка продукции, контроль технологических процессов и оценка качества упаковки [16, 20–22].

Благодаря своим функциональным возможностям компьютерное зрение оказывает заметное влияние на управление цепочками поставок в пищевой индустрии, способствуя стабильному качеству выпускаемой продукции и снижению уровня отходов за счет своевременного обнаружения брака. Это в свою очередь позволяет сократить количество рекламаций, предотвратить возможные отзывы продукции и снизить затраты на обслуживание, минимизируя риск перебоев в производстве [23, 24].

В таблице 1 представлены основные направления модернизации и использования ИИ в пищевой промышленности [25].

Таблица 1. Основные направления модернизации и использования искусственного интеллекта в пищевой промышленности [25]

Table 1. Main directions of modernization and use of artificial intelligence in the food industry [25]

Алгоритм (модель)	Применение
1	2
Сверточные нейронные сети	Обнаружение болезней сельскохозяйственных культур: классификация изображений для выявления болезней сельскохозяйственных культур и вредителей
Долгая краткосрочная память	Прогнозирование роста сельскохозяйственных культур: прогнозирование роста и урожайности сельскохозяйственных культур на основе исторических данных и факторов окружающей среды
Случайный лес	Обнаружение и управление сорняками: классификация для определения различий между сельскохозяйственными культурами и сорняками с помощью изображений, полученных с беспилотников или камер
Метод опорных векторов	Мониторинг домашнего скота: анализ данных датчиков домашнего скота для контроля состояния здоровья, поведения и продуктивности
Метод k-средних	Точное земледелие: сегментирование полей в зависимости от характеристик почвы для оптимизации стратегий орошения и внесения удобрений
Рекуррентная нейронная сеть	Прогнозирование климата: последовательное моделирование для прогнозирования погоды и климата
Анализ главных компонентов	Анализ питательных веществ в почве: снижение размерности и анализ данных о питательных веществах в почве для рекомендации стратегий внесения удобрений
Генетический алгоритм	Селекция сельскохозяйственных культур: генетические алгоритмы для оптимизации программ селекции сельскохозяйственных культур путем выбора желаемых генетических признаков
Марковский процесс принятия решений	Управление орошением: принятие решений по оптимизации графика орошения на основе потребностей культур в воде и уровня влажности почвы
Обучение с подкреплением	Навигация автономной машины: обучение автономной машины навигации по полям, избеганию препятствий и оптимизации планирования пути
Линейная регрессия	Прогнозирование рыночных цен: прогнозирование цен на сырьевые товары на основе рыночных данных и динамики спроса и предложения
Нечеткая логика	Системы управления орошением: принятие решений в автоматизированных системах орошения на основе уровней влажности почвы, прогнозов погоды и потребностей в воде
Деревья принятия решений	Борьба с вредителями: выявление моделей заражения вредителями и рекомендации по соответствующим стратегиям борьбы с ними в зависимости от факторов окружающей среды и культуры

Продолжение Таблицы 1. на стр. 138

(продолжение табл. 1, начало на стр. 137)

1	2
Байесовская сеть	Оценка риска для урожая: анализ множества факторов, таких как погодные условия, качество почвы и исторические данные, для оценки и прогнозирования рисков, связанных с неурожаем или вспышками болезней
Ансамблевое обучение	Прогнозирование урожайности: объединение прогнозов, полученных с помощью нескольких моделей, для повышения точности прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур на основе множества параметров
Глубокая сеть доверия	Идентификация вредителей в растениях: анализ изображений и идентификация вредителей в растениях, включая хранящееся зерно, что помогает предотвратить послеуборочные потери
Наивный байесовский классификатор	Рекомендация сортов сельскохозяйственных культур: анализ данных о почве и климате для рекомендации подходящих сортов сельскохозяйственных культур, которые, вероятно, будут процветать в конкретных условиях окружающей среды
Самоорганизующаяся карта Кохонена	Картографирование урожайности: кластеризация и визуализация пространственных закономерностей в данных об урожайности, собранных с полей, что упрощает целевые вмешательства и методы управления
Глубокое обучение с подкреплением	Автономные дроны для опрыскивания сельскохозяйственных культур: обучение беспилотников автономному обнаружению и распылению гербицидов или пестицидов на целевых участках, что минимизирует использование химикатов и вредное воздействие на окружающую среду
Логистическая регрессия	Прогнозирование распространения заболеваний: моделирование вероятности вспышек заболеваний на основе таких факторов, как погодные условия, типы сельскохозяйственных культур и исторические данные о заболеваемости

Использование методов компьютерного зрения на различных этапах производства для контроля за качеством продукции находит всё более широкое применение [26–28]. За последние несколько лет технологии машинного зрения шагнули далеко вперед. Это обусловлено двумя факторами: во-первых, были разработаны новые алгоритмы обработки изображений, в том числе методы обработки изображений с применением сверточных нейронных сетей, что позволило сократить время обработки и нагрузку на компьютерную систему, занимающуюся обработкой; во-вторых, во много раз увеличилось качество оборудования для съемки видео, в том числе увеличались размеры матриц видеокамер в потребительски доступном сегменте рынка, а также были усовершенствованы и приобрели большее распространение камеры, захватывающие видео в диапазоне инфракрасного света.

Преимущества использования методов компьютерного зрения заключаются в возможности комплексного выполнения нескольких задач одной точкой установки камеры. Подразумевается, что одна и та же камера может как отслеживать качество продукции с точки зрения органолептических показателей, так и следить за отсутствием брака или возникновением нестандартных ситуаций. Комплексность подхода обусловлена тем, что большая часть логики работы камеры, в том числе комплекс обработки изображения, система принятия решений, расположена вне датчика (камеры), что позволяет упаковать программный комплекс в единое производственное решение, чем сократить экономические затраты [29–33].

Анализ компьютерным зрением полученных данных опирается на сложные алгоритмы и техники, включающие несколько ключевых этапов:

- обработку изображений (улучшение качества, изменение масштаба, цветокоррекцию);

- извлечение признаков (выделение характерных особенностей, таких как края и текстуры, часто с использованием фильтров Собеля¹, Хаара² или конволюционных нейронных сетей — CNN³);
- распознавание образов (классификацию изображений или объектов);
- сегментацию изображений (разделение изображения на отдельные области);
- 3D-реконструкцию (восстановление трехмерной модели из нескольких двумерных изображений).

Ниже приведены некоторые из существующих разработок систем мониторинга в пищевой промышленности: система анализа изображений и ИИ для выявления ошибок в соотношениях смесей, которые могут возникнуть во время непрерывных процессов нагревания массово производимых морепродуктов сурими [34]; система компьютерного зрения с использованием изображений смартфона для классификации нежности говяжьего и свиного стейка, прогнозирования усилия сдвига, содержания жира для проведения оценки качества мяса потребителями [35]; система прогнозирования физико-химических изменений черешни во время хранения [36]; алгоритм использования изображений и индексов RGB для точного прогнозирования содержания антоцианов в лепестках розы *R. chinensis* [37]; система прогнозирования и определения веса, длины, ширины и химических свойств (в том числе содержания антоцианов) в плодах винограда сорта *Flame Seedless* на основе колориметрических данных [38]; система отслеживания для обнаружения загрязнений свиных туш [39]; прогнозирование роста растений с использованием RGB-D-характеристик [40]; алгоритм классификации повреждений клубники от заморозков [41]; система прослеживаемости и контроля качества в мясной промышленности с

¹ <https://habr.com/ru/articles/645521/>

² <https://habr.com/ru/articles/198338/>

³ <https://www.ultralytics.com/ru/glossary/convolutional-neural-network-cnn>

помощью отслеживания физических характеристик мяса [42].

Анализ литературы показал, что использование методов ИИ, в частности компьютерного зрения, способствует совершенствованию технологического процесса, упрощению и повышению достоверности оценки качества продукции и полуфабрикатов. Актуальны разработки алгоритмов прогнозирования качества экстрактов с помощью метода ИИ — компьютерного зрения, поскольку проведение лабораторных исследований в данной области дорогостоящее и трудозатратное.

Цели работы — разработка и тестирование алгоритма прогнозирования содержания полифенолов в вишневых экстрактах по их колориметрическим характеристикам.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Объект исследования — экстракты вишни, полученные по технологии, представленной на рисунке 1⁴.

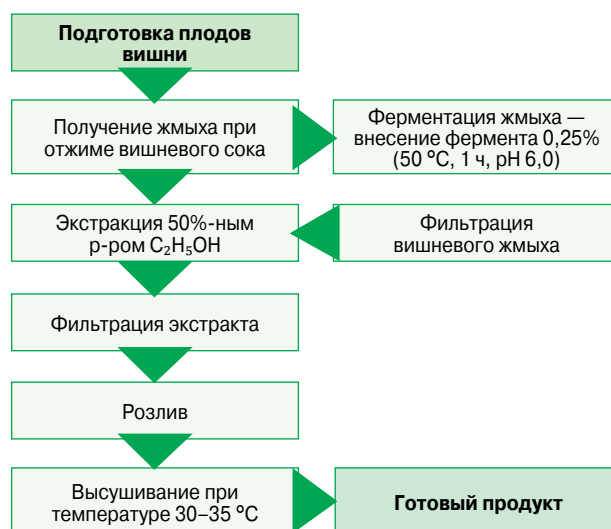
Важным показателем в экстрактах является содержание биоактивных веществ — полифенолов. Цвет экстрактов изменяется в зависимости от содержания полифенолов.

Для получения изображений опытных образцов вишневых экстрактов были подготовлены разведения от 2 до 0,25%.

Цветовые характеристики экстрактов определяли с помощью колориметра NR60CP (Китай). Перед измерениями проводили калибровку прибора с использованием белой стандартной пластинки ($L^* = 96,77$, $a^* = 0,11$, $b^* = -0,71$), которую применяли в качестве фона при измерении цветовых характеристик растворов экстрактов: светлоты (L^*), красноты (a^*) и желтизны (b^*).

Количественное определение суммарного содержания полифенолов в растворах экстрактов различной концентрации проводили методом Фолина — Чокальтеу⁵. 0,1 мл каждого образца экстракта смешивали с 0,1 мл реагента Фолина — Чокальтеу, 1 мл 20%-ного (мас/об) карбоната натрия и 8,8 мл дистиллированной воды, 30 мин. выдерживали в темноте и измеряли поглощение на спектрофотометре при 700 нм. В качестве стандарта использовали галловую кислоту (25–250 мг/л; $R^2 = 0,996$), результаты выражали в мг-эквивалентах галловой кислоты.

Рис. 1. Блок-схема «Технология получения экстракта»
Fig. 1. Block diagram “Technology for obtaining extract”



Как видно из описания, методика определения полифенолов требует дорогостоящих реактивов и оборудования, а также времени. Компьютерное зрение же является неразрушающей технологией для получения и анализа цифрового изображения для получения информации о продукте и считается ценным инструментом для улучшения автоматической оценки качества продуктов питания [43].

Следующий этап — получение изображений RGB с цифровой камеры (50 МП)⁶ в качестве входных данных для классификации объектов и составления базы данных. Для получения изображений растворы экстрактов помещали в прозрачные стеклянные кюветы.

Для разработки программного обеспечения по обработке изображений использовали язык программирования Python⁷, библиотеку OpenCV⁸ и TensorFlow⁹. TensorFlow извлекал признаки из фотографий и добавлял их в базу данных.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Исходные данные для написания программы и составления базы данных приведены в таблице 2.

Результаты исследований показали, что с увеличением содержания биоактивных веществ — полифенолов — цвет экстрактов изменяется, становится темнее, что подтверждают и результаты

⁴ Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Науменко Н.В., Ребезов М.Б. Оптимизация процесса экстракции биоактивных веществ из вишневого жмыха. Пищевые системы. 2025 (статья в печати). https://www.fsjour.com/jour?locale=ru_RU

⁵ <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-modifitsirovannogo-metoda-foлина-chokalteu-dlya-otsenki-antioksidantnoy-emkosti-emulsionnyh-rastitelnyh-napitkov-s>

⁶ Для получения RGB-изображений с цифровой камеры (50 МП) необходимо учитывать несколько аспектов: датчик изображения, процессор обработки и цветовую модель RGB. Датчик собирает свет, превращая его в электрические сигналы. Процессор интерпретирует эти сигналы, определяя цвет и яркость каждого пикселя. RGB (красный, зеленый, синий) — это модель, используемая для представления цветов в цифровых изображениях.

⁷ <https://blog.skillfactory.ru/glossary/python/>

⁸ <https://blog.skillfactory.ru/glossary/opencv/>

⁹ <https://www.tensorflow.org/?hl=ru>

Таблица 2. Показатели растворов экстрактов

Table 2. Parameters of extract solutions

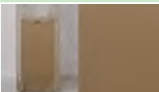
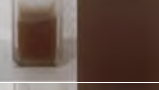
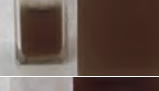
Концентрация экстракта, %	Изображение образца	Суммарное содержание полифенолов, мг экв. галловой кислоты	Показатель	Значение
0,25		0,819	L	42,10
			a	4,36
			b	13,9
0,5		1,325	L	34,37
			a	4,85
			b	11,49
0,75		1,832	L	32,03
			a	5,21
			b	10,81
1		2,338	L	30,72
			a	8,24
			b	9,84
1,25		2,844	L	28,10
			a	8,73
			b	7,91
1,5		3,351	L	28,01
			a	10,93
			b	6,89
1,75		3,857	L	22,00
			a	11,35
			b	4,43
2,0		4,364	L	21,02
			a	11,68
			b	3,39

Рис. 2. Пример базы данных

Fig. 2. Example of a database

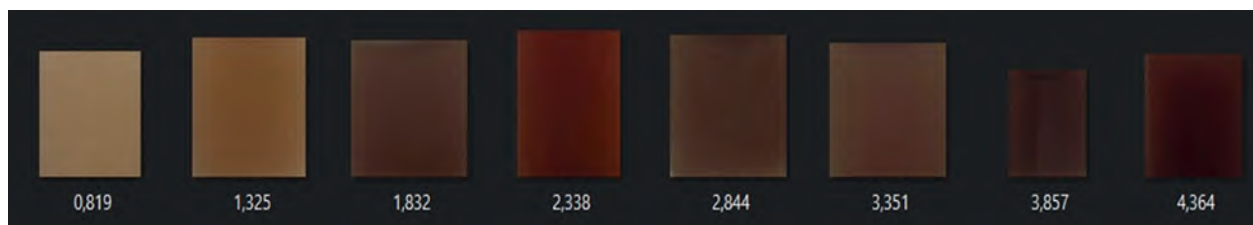
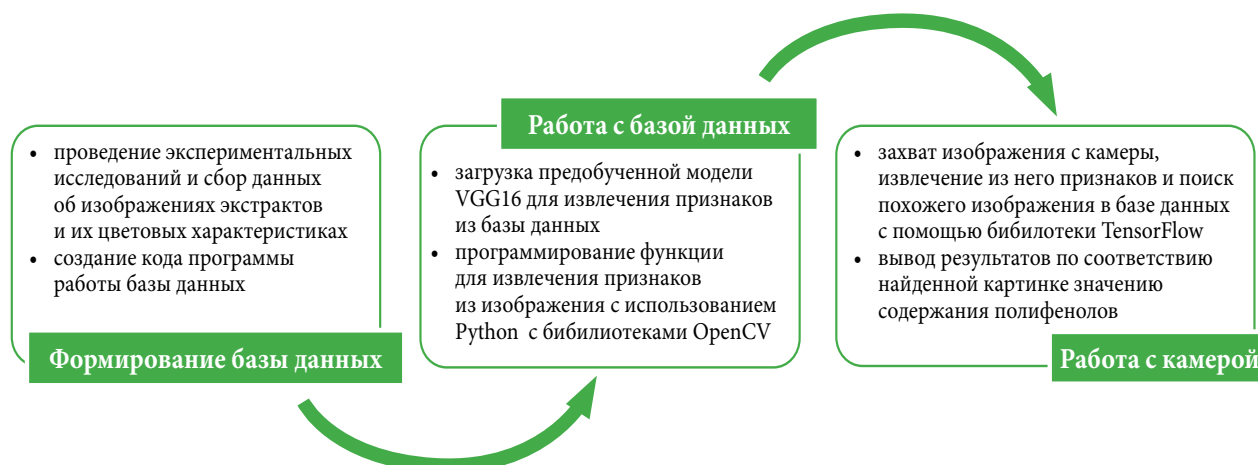


Рис. 3. Алгоритм оценки содержания полифенолов в экстрактах с помощью компьютерного зрения

Fig. 3. Algorithm for assessing the content of polyphenols in extracts using computer vision

¹⁰ <https://habr.com/ru/articles/678260/>¹¹ https://www.nic.ru/help/biblioteka-dlya-mashinnogo-obucheniya-tensorflow-kak-ustanovit6-tensorflow_11703.html?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com

Выводы/Conclusions

В результате выполнения работы получены вишневые экстракты разной концентрации, установлены их антиоксидантные свойства, цветовые характеристики и сделаны изображения камерой. Из полученных данных созданы база данных и программа, сопоставляющая изображения исследуемых экстрактов с изображениями из базы данных с выводом соответствующего содержания полифенолов.

Предложен алгоритм оценки качественных характеристик экстрактов с помощью метода ИИ — компьютерного зрения.

Таким образом, результатом данной работы стала программа, позволяющая определить содержание полифенолов в экстракте по его цветовым характеристикам. Предлагаемая разработка может существенно упростить проведение лабораторного анализа по определению содержания полифенолов в различных источниках.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sarkar T. *et al.* Application of bio-inspired optimization algorithms in food processing. *Current Research in Food Science*. 2022; 5: 432–450. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.02.006>
2. Sarkar T. *et al.* The Fuzzy Cognitive Map-Based Shelf-life Modelling for Food Storage. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(3): 579–597. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02147-5>
3. Дмитриев Н.Д., Rogozina E.A. Применение инновационных технологий на пищевых предприятиях. *Вестник университета*. 2020; (7): 36–44. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2020-7-36-44>
4. Meinert C. *et al.* Food safety and food security through predictive microbiology tools: a short review. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2023; 17: 324–342. <https://doi.org/10.5219/1854>
5. Sarkar T. *et al.* Underutilized green leafy vegetables: frontier in fortified food development and nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023; 63(33): 11679–11733. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2095555>
6. Shafiq M. *et al.* Development and quality cum nutritional assessment based on physical properties for corn extruded snacks enriched with protein and carbohydrates: a remedy to malnutrition for society. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2024; 18: 633–653. <https://doi.org/10.5219/1942>
7. Abdel Salam S.G. *et al.* Bioactive components and antibacterial activity of raw and boiled Egyptian pepper. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2024; 14(3): e11878. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.11878>
8. Smaoui S. *et al.* Beyond Conventional Meat Preservation: Saddling the Control of Bacteriocin and Lactic Acid Bacteria for Clean Label and Functional Meat Products. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2024; 196(6): 3604–3635. <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04680-x>
9. Kalandarov P.I., Abdullaev Kh.Kh., Khaitov A.N., Sharifov Kh.S., Murodova G.F. Modeling of biotechnological objects. *BIO Web of Conferences*. 2024; 108: 25005. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410825005>
10. Кобринский Б.А. Доверие к технологиям искусственного интеллекта. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2024; (3): 3–17. <https://doi.org/10.14357/20718594240301>
11. Skuliabina O., Petrova K., Nass O., Bapiyev I., Vakhitova A., Baigubenova S. *et al.* An approach to creating a thinking process in systems empowered with intelligence using 3D environments. *E3S Web of Conferences*. 2023; 389: 07001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338907001>
12. Mukherjee A. *et al.* Development of Artificial Vision System for Quality Assessment of Oyster Mushrooms. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(6): 1663–1676. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02241-2>
13. Sarkar T. *et al.* Expert Knowledge-Based System for Shelf-Life Analysis of Dairy Cheese Ball (Rasgulla). *Food Analytical Methods*. 2022; 15(7): 1945–1960. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02261-y>
14. Mishra M. *et al.* Allergen30: Detecting Food Items with Possible Allergens Using Deep Learning-Based Computer Vision. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(11): 3045–3078. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02353-9>

REFERENCES

1. Sarkar T. *et al.* Application of bio-inspired optimization algorithms in food processing. *Current Research in Food Science*. 2022; 5: 432–450. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.02.006>
2. Sarkar T. *et al.* The Fuzzy Cognitive Map-Based Shelf-life Modelling for Food Storage. *Food Analytical Methods*. 2022; 14 (11). <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02147-5>
3. Dmitriev N.D., Rogozina E.A. Application of innovative technologies at food enterprises. *Vestnik Universiteta*. 2020; (7): 36–44 (in Russian). <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2020-7-36-44>
4. Meinert C. *et al.* Food safety and food security through predictive microbiology tools: a short review. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2023; 17: 324–342. <https://doi.org/10.5219/1854>
5. Sarkar T. *et al.* Underutilized green leafy vegetables: frontier in fortified food development and nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023; 63(33): 11679–11733. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2095555>
6. Shafiq M. *et al.* Development and quality cum nutritional assessment based on physical properties for corn extruded snacks enriched with protein and carbohydrates: a remedy to malnutrition for society. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2024; 18: 633–653. <https://doi.org/10.5219/1942>
7. Abdel Salam S.G. *et al.* Bioactive components and antibacterial activity of raw and boiled Egyptian pepper. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2024; 14(3): e11878. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.11878>
8. Smaoui S. *et al.* Beyond Conventional Meat Preservation: Saddling the Control of Bacteriocin and Lactic Acid Bacteria for Clean Label and Functional Meat Products. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2024; 196(6): 3604–3635. <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04680-x>
9. Kalandarov P.I., Abdullaev Kh.Kh., Khaitov A.N., Sharifov Kh.S., Murodova G.F. Modeling of biotechnological objects. *BIO Web of Conferences*. 2024; 108: 25005. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410825005>
10. Kobrinsky B.A. Trust in artificial intelligence technologies. *Artificial intelligence and decision making*. 2024; (3): 3–17 (in Russian). <https://doi.org/10.14357/20718594240301>
11. Skuliabina O., Petrova K., Nass O., Bapiyev I., Vakhitova A., Baigubenova S. *et al.* An approach to creating a thinking process in systems empowered with intelligence using 3D environments. *E3S Web of Conferences*. 2023; 389: 07001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338907001>
12. Mukherjee A. *et al.* Development of Artificial Vision System for Quality Assessment of Oyster Mushrooms. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(6): 1663–1676. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02241-2>
13. Sarkar T. *et al.* Expert Knowledge-Based System for Shelf-Life Analysis of Dairy Cheese Ball (Rasgulla). *Food Analytical Methods*. 2022; 15(7): 1945–1960. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02261-y>
14. Mishra M. *et al.* Allergen30: Detecting Food Items with Possible Allergens Using Deep Learning-Based Computer Vision. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(11): 3045–3078. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02353-9>

15. Zribi M., Pagliuca P., Pitolli F. A Computer Vision-Based Quality Assessment Technique for the automatic control of consumables for analytical laboratories. *Expert Systems with Applications*. 2024; 256: 124892. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124892>
16. Samoilova E.M. *et al.* Monitoring as an element of quality management system of technological systems. *AIP Conference Proceedings*. 2023; 2700(1): 020059. <https://doi.org/10.1063/5.0125186>
17. Gusynina Y.S., Shornikova T.A. Image processing and pattern recognition issues. *Proceedings of SPIE*. 2022; 12251: 122510B. <https://doi.org/10.1117/12.2631054>
18. Tikhonyuk N., Paytaeva K., Ivanova S. Digital Production and Biotechnology as a New Techno-Economic Paradigm. *BIO Web of Conferences*. 2023; 57: 01003. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20235701003>
19. Kovshov E., Kuvshinnikov V., Dolgov N. Digital twins creation based on discrete modelling of non-destructive evaluation objects. *E3S Web of Conferences*. 2023; 431: 05003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343105003>
20. Degtyareva K.V., Nikolaev S.V., Nelyub V.A., Tynchenko V.S., Borodulin A.S. Automatic monitoring system designed to detect defects in PET preforms. *E3S Web of Conferences*. 2023; 458: 02002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345802002>
21. Rogozhina I., Guseva M., Andreeva E. Garment Production Quality Evaluation Using Machine Vision. Solovyov D.B., Savalei V.V., Bekker A.T., Petukhov V.I. (eds.). *FarEastCon 2021. Proceeding of the International Science and Technology Conference*. Singapore: Springer. 2022; 309–318. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8829-4_27
22. Благовещенский И.Г. Использование системы компьютерного зрения для контроля в режиме онлайн качества сырья и готовой продукции пищевой промышленности. *Пищевая промышленность*. 2015; (6): 9–13. <https://www.elibrary.ru/ulrkkx>
23. Lysova N., Solari F., Montanari R. Investigating Research Trends in Computer Vision for Food Quality Control: A Bibliometric Approach. *Procedia Computer Science*. 2025; 253: 1923–1932. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.254>
24. Костышина Е.Я. Цифровая экономика и компьютерное зрение: интеграция и практика применения в пищевой промышленности. *Вестник ИМСИТа*. 2024; (4): 27–33. <https://www.elibrary.ru/cxqamm>
25. Pandey D.K., Mishra R. Towards sustainable agriculture: Harnessing AI for global food security. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2024; 12: 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2024.04.003>
26. Бартенев Д.С., Илларионова Е.Е. Перспектива применения методов машинного зрения для контроля качества сухого молока. *Пищевая промышленность*. 2023; (12): 85–89. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.12.12.017>
27. Савостин С.Д., Бесфамильная Е.М., Вартанов Г.В., Василькин Д.П. Методология разработки программного обеспечения автоматизированного поиска сорной примеси в потоке с применением оборудования компьютерного зрения. *Пищевая промышленность*. 2024; (2): 68–71. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.2.2.013>
28. Миронченко В.И. Метод определения количества дефектных изделий в выборке по одному результату измерения. *Измерительная техника*. 2024; (2): 30–34. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2024-2-30-34>
29. Толстель О.В., Ширкин А.Е., Калабин А.Л. Построение системы технического зрения для выравнивания содержимого упаковок дельта-манипулятором на пищевом производстве. *Программные продукты и системы*. 2023; 36(2): 334–341. <https://doi.org/10.15827/0236-235X.142.334-341>
30. Климачев С.А., Соловьев Н.А. Методика принятия решений на основе компьютерного зрения и выбора Парето-оптимальной альтернативы технологических параметров производства. *Информационные технологии*. 2023; 29(7): 382–388. <https://doi.org/10.17587/it.29.382-388>
31. Бобырь М.В., Емельянов С.Г., Милостная Н.А. Оптимизация числа проходов в задаче логической фильтрации изображений. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2023; (2): 98–107. <https://doi.org/10.14357/20718594230208>
32. Обухов А.Д., Назарова А.О. Метод управления на основе технологий компьютерного зрения и машинного обучения для адаптивных систем. *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2023; 24(1): 14–23. <https://doi.org/10.17587/mau.24.14-23>
33. Диязитдинова А.А. Критерии совмещения изображений в двухкамерной системе технического зрения. *Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии*. 2024; 16(2): 307–314. <https://doi.org/10.17725/rensit.2024.16.307>
15. Zribi M., Pagliuca P., Pitolli F. A Computer Vision-Based Quality Assessment Technique for the automatic control of consumables for analytical laboratories. *Expert Systems with Applications*. 2024; 256: 124892. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124892>
16. Samoilova E.M. *et al.* Monitoring as an element of quality management system of technological systems. *AIP Conference Proceedings*. 2023; 2700(1): 020059. <https://doi.org/10.1063/5.0125186>
17. Gusynina Y.S., Shornikova T.A. Image processing and pattern recognition issues. *Proceedings of SPIE*. 2022; 12251: 122510B. <https://doi.org/10.1117/12.2631054>
18. Tikhonyuk N., Paytaeva K., Ivanova S. Digital Production and Biotechnology as a New Techno-Economic Paradigm. *BIO Web of Conferences*. 2023; 57: 01003. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20235701003>
19. Kovshov E., Kuvshinnikov V., Dolgov N. Digital twins creation based on discrete modelling of non-destructive evaluation objects. *E3S Web of Conferences*. 2023; 431: 05003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343105003>
20. Degtyareva K.V., Nikolaev S.V., Nelyub V.A., Tynchenko V.S., Borodulin A.S. Automatic monitoring system designed to detect defects in PET preforms. *E3S Web of Conferences*. 2023; 458: 02002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345802002>
21. Rogozhina I., Guseva M., Andreeva E. Garment Production Quality Evaluation Using Machine Vision. Solovyov D.B., Savalei V.V., Bekker A.T., Petukhov V.I. (eds.). *FarEastCon 2021. Proceeding of the International Science and Technology Conference*. Singapore: Springer. 2022; 309–318. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8829-4_27
22. Blagoveshchensky I.G. The use of computer vision systems to control online the quality of raw materials and finished food industry products. *Food processing industry*. 2015; (6): 9–13 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ulrkkx>
23. Lysova N., Solari F., Montanari R. Investigating Research Trends in Computer Vision for Food Quality Control: A Bibliometric Approach. *Procedia Computer Science*. 2025; 253: 1923–1932. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.254>
24. Kostyshina E.Ya. Digital economy and computer vision: integration and application practice in the food industry. *Vestnik IMSIT*. 2024; (4): 27–33 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/cxqamm>
25. Pandey D.K., Mishra R. Towards sustainable agriculture: Harnessing AI for global food security. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2024; 12: 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2024.04.003>
26. Bartenev D.S., Illarionova E.E. The prospect of using machine vision methods for quality control of milk powder. *Food processing industry*. 2023; (12): 85–89 (in Russian). <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.12.12.017>
27. Savostin S.D., Besfamlnaya E.M., Vartanov G.V., Vasilkin D.P. Methodology for developing software for automated search for trash in a stream using computer vision equipment. *Food processing industry*. 2024; (2): 68–71 (in Russian). <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.2.2.013>
28. Mironchenko V.I. Method for determining the number of defective products in a sample based on one measurement result. *Izmeritel'naya tekhnika*. 2024; (2): 30–34 (in Russian). <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2024-2-30-34>
29. Tolstel O.V., Shirkin A.E., Kalabin A.L. Constructing a computer vision system for aligning the contents of packages by a delta manipulator in food production. *Software & Systems*. 2023; 36(2): 334–341 (in Russian). <https://doi.org/10.15827/0236-235X.142.334-341>
30. Klimachev S.A., Solovyov N.A. The Decision-Making Technique Based on Computer Vision and Selection of Pareto-Optimal Alternative of Technological Production Parameters. *Information Technologies*. 2023; 29(7): 382–388 (in Russian). <https://doi.org/10.17587/it.29.382-388>
31. Bobyr M.V., Emelyanov S.G., Milostnaya N.A. Optimization of the number of passes in the problem of logical image filtering. *Artificial intelligence and decision making*. 2023; (2): 98–107 (in Russian). <https://doi.org/10.14357/20718594230208>
32. Obukhov A.D., Nazarova A.O. A Control Method Based on Computer Vision and Machine Learning Technologies for Adaptive Systems. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*. 2023; 24(1): 14–23 (in Russian). <https://doi.org/10.17587/mau.24.14-23>
33. Diyazitdinova A.A. Criteria for image superposition in a two-camera technical vision system. *Radioelectronics. Nanosystems. Information technologies*. 2024; 16(2): 307–314 (in Russian). <https://doi.org/10.17725/rensit.2024.16.307>

34. Yoon W.B., An S., Oyinloye T.M., Kim J. Developing a Quality Control System in a Continuous Hot Air Heating Process in Surimi Seafood Processing Using Image Analysis and Artificial Intelligence. *Processes*. 2023; 11(11): 3187. <https://doi.org/10.3390/pr11113187>
35. Menezes G.L. *et al.* Empowering informed choices: How computer vision can assist consumers in making decisions about meat quality. *Meat Science*. 2025; 219: 109675. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109675>
36. Shahedi Y., Zandi M., Bimakr M. A computer vision system and machine learning algorithms for prediction of physicochemical changes and classification of coated sweet cherry. *Heliyon*. 2024; 10(20): e39484. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39484>
37. Liu X.-Y., Yu J.-R., Deng H.-N. Non-Destructive Prediction of Anthocyanin Content of *Rosa chinensis* Petals Using Digital Images and Machine Learning Algorithms. *Horticulturae*. 2024; 10(5): 503. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050503>
38. Al-Saif A.M., Abdel-Sattar M., Aboukarima A.M., Eshra D.H., Górník K. Physico-Chemical Properties Prediction of Flame Seedless Grape Berries Using an Artificial Neural Network Model. *Foods*. 2022; 11(18): 2766. <https://doi.org/10.3390/foods11182766>
39. Lund D.H., Alban L., Hansen C., Dalsgaard A., Denwood M., Olsen A. Using latent class modelling to evaluate the performance of a computer vision system for pig carcass contamination. *Preventive Veterinary Medicine*. 2025; 241: 106556. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2025.106556>
40. Kang Z., Zhou B., Fei S., Wang N. Predicting the greenhouse crop morphological parameters based on RGB-D Computer Vision. *Smart Agricultural Technology*. 2025; 11: 100968. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100968>
41. Sunil G.C., Khan A., Horvath D., Sun X. Evaluation of multispectral imaging for freeze damage assessment in strawberries using AI-based computer vision technology. *Smart Agricultural Technology*. 2025; 10: 100851. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100851>
42. Liao Q. *et al.* Improving traceability and quality control in the red-meat industry through computer vision-driven physical meat feature tracking. *Food Chemistry*. 2025; 480: 143830. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143830>
43. Anjali *et al.* State-of-the-art non-destructive approaches for maturity index determination in fruits and vegetables: principles, applications, and future directions. *Food Production, Processing and Nutrition*. 2024; 6: 56. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00205-5>

ОБ АВТОРАХ

Оксана Владимировна Зинина¹

доктор технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий
zininaov@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4817-1645>

Елена Александровна Вишнякова¹

аспирант
l_vishny@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8557-9239>

Максим Борисович Ребезов²

доктор сельскохозяйственных наук, профессор; главный научный сотрудник
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹ Южно-Уральский государственный университет, пр-т им. Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия

² Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук,

ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

34. Yoon W.B., An S., Oyinloye T.M., Kim J. Developing a Quality Control System in a Continuous Hot Air Heating Process in Surimi Seafood Processing Using Image Analysis and Artificial Intelligence. *Processes*. 2023; 11(11): 3187. <https://doi.org/10.3390/pr11113187>

35. Menezes G.L. *et al.* Empowering informed choices: How computer vision can assist consumers in making decisions about meat quality. *Meat Science*. 2025; 219: 109675. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109675>

36. Shahedi Y., Zandi M., Bimakr M. A computer vision system and machine learning algorithms for prediction of physicochemical changes and classification of coated sweet cherry. *Heliyon*. 2024; 10(20): e39484. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39484>

37. Liu X.-Y., Yu J.-R., Deng H.-N. Non-Destructive Prediction of Anthocyanin Content of *Rosa chinensis* Petals Using Digital Images and Machine Learning Algorithms. *Horticulturae*. 2024; 10(5): 503. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050503>

38. Al-Saif A.M., Abdel-Sattar M., Aboukarima A.M., Eshra D.H., Górník K. Physico-Chemical Properties Prediction of Flame Seedless Grape Berries Using an Artificial Neural Network Model. *Foods*. 2022; 11(18): 2766. <https://doi.org/10.3390/foods11182766>

39. Lund D.H., Alban L., Hansen C., Dalsgaard A., Denwood M., Olsen A. Using latent class modelling to evaluate the performance of a computer vision system for pig carcass contamination. *Preventive Veterinary Medicine*. 2025; 241: 106556. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2025.106556>

40. Kang Z., Zhou B., Fei S., Wang N. Predicting the greenhouse crop morphological parameters based on RGB-D Computer Vision. *Smart Agricultural Technology*. 2025; 11: 100968. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100968>

41. Sunil G.C., Khan A., Horvath D., Sun X. Evaluation of multispectral imaging for freeze damage assessment in strawberries using AI-based computer vision technology. *Smart Agricultural Technology*. 2025; 10: 100851. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100851>

42. Liao Q. *et al.* Improving traceability and quality control in the red-meat industry through computer vision-driven physical meat feature tracking. *Food Chemistry*. 2025; 480: 143830. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143830>

43. Anjali *et al.* State-of-the-art non-destructive approaches for maturity index determination in fruits and vegetables: principles, applications, and future directions. *Food Production, Processing and Nutrition*. 2024; 6: 56. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00205-5>

ABOUT THE AUTHORS

Oksana Vladimirovna Zinina¹

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology
zininaov@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4817-1645>

Elena Aleksandrovna Vishnyakova¹

Postgraduate
l_vishny@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8557-9239>

Maksim Borisovich Rebezov²

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹ South Ural State University, 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia

² All-Russian Research Institute of Confectionery Industry – branch of the V.M. Gorbатов Federal Scientific Center for Food Systems Russian Academy of Sciences, 26 Talalikhin Str., Moscow, 109316, Russia