

Использование искусственного интеллекта в бережливом производстве для пивоваренной отрасли

Даниил Р. Кулигин	¹	kuligin470@gmail.com	 0009-0007-3133-4467
Екатерина А. Саввина	¹	katenok2207@ya.ru	 0000-0002-0728-8313
Владислав М. Васечкин	¹	vasechkinvm@gmail.com	 0009-0003-0700-7344
Леонид С. Чесников	¹	leonid.chesnikov@ya.ru	 0009-0002-6124-5426
Екатерина Ю. Желтоухова	¹	katsturova@gmail.com	 0000-0002-7463-9013

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Рассматриваются возможности применения искусственного интеллекта в системе бережливого производства пивоваренной отрасли с целью сокращения потерь, повышения стабильности качества и роста производительности. Цель работы заключается в определении круга технологических и управленческих задач, решаемых с использованием искусственного интеллекта в рамках концепции бережливого производства. Проанализированы этапы пивоваренного процесса, наиболее чувствительные к отклонениям параметров, включая обработку сырья, брожение, фильтрацию и упаковку. Показано, что ключевое значение имеет этап брожения, для которого интеллектуальные системы обеспечивают непрерывный контроль температуры, кислотности и концентрации сахаров. Установлено, что внедрение алгоритмов машинного обучения позволяет оптимизировать режимы брожения и сократить его продолжительность с 21 до 7 дней без ухудшения показателей качества. Приведена классификация методов машинного обучения и обосновано их применение для прогнозирования окончания брожения, раннего выявления аномалий работы оборудования и автоматизированного контроля качества продукции. Рассмотрена интеграция интеллектуальных решений в иерархию производственных информационных систем уровня планирования ресурсов предприятия, управления производственными операциями и диспетчерского контроля. Показано, что совместное использование инструментов бережливого производства и искусственного интеллекта обеспечивает синергетический эффект за счет снижения потерь сырья, уменьшения простоев и сокращения доли брака. Сделан вывод о целесообразности внедрения искусственного интеллекта на пивоваренных предприятиях различного масштаба в качестве инструмента непрерывного совершенствования и повышения конкурентоспособности.

Ключевые слова: искусственный интеллект; бережливое производство; пивоварение; брожение; качество.

The use of artificial intelligence in lean manufacturing for the brewing industry

Daniil R. Kuligin	¹	kuligin470@gmail.com	 0009-0007-3133-4467
Ekaterina A. Savvina	¹	katenok2207@ya.ru	 0000-0002-0728-8313
Vladislav M. Vasechkin	¹	vasechkinvm@gmail.com	 0009-0003-0700-7344
Leonid S. Chesnikov	¹	leonid.chesnikov@ya.ru	 0009-0002-6124-5426
Ekaterina Y. Zheltoukhova	¹	katsturova@gmail.com	 0000-0002-7463-9013

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The paper examines the application of artificial intelligence within lean manufacturing systems in the brewing industry aimed at loss reduction, quality stabilization, and productivity growth. The objective of the study is to identify technological and managerial tasks that can be effectively solved using artificial intelligence under lean manufacturing principles. Key stages of the brewing process sensitive to parameter deviations are analyzed, including raw material processing, fermentation, filtration, and packaging. Fermentation is identified as the most critical stage, where intelligent systems provide continuous monitoring of temperature, acidity, and sugar concentration. The study demonstrates that the use of machine learning algorithms enables optimization of fermentation regimes and reduction of fermentation time from 21 to 7 days without compromising product quality. A classification of machine learning methods is presented, and their application is justified for predicting fermentation completion, early detection of equipment anomalies, and automated quality control. Integration of artificial intelligence into production information systems covering enterprise resource planning, manufacturing execution, and supervisory control levels is considered. It is shown that combining lean manufacturing tools with artificial intelligence produces a synergistic effect by reducing raw material losses, minimizing downtime, and lowering defect rates. The study concludes that artificial intelligence is a practical tool for continuous improvement and increased competitiveness of brewing enterprises regardless of their production scale.

Keywords: artificial intelligence; lean manufacturing; brewing; fermentation; quality.

Для цитирования

Кулигин Д.Р., Саввина Е.А., Васечкин В.М., Чесников Л.С., Желтоухова Е.Ю. Использование искусственного интеллекта в бережливом производстве для пивоваренной отрасли // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 4. С. 112–117. doi:10.20914/2310-1202-2025-4-112-117

For citation

Kuligin D.R., Savvina E.A., Vasechkin V.M., Chesnikov L.S., Zheltoukhova E.Y. The use of artificial intelligence in lean manufacturing for the brewing industry. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 4. pp. 112–117. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-4-112-117

Введение

Бережливое производство – это система, основанная на принципах и методах, обеспечивающих повышение производительности при минимизации различных видов потерь [4]. В пивоваренной отрасли применение бережливых технологий затрагивает все этапы производства – от заторения и брожения до упаковки и логистики. Использование ИИ в этом контексте позволяет значительно расширить набор инструментов для непрерывных улучшений [5]. Как описывается в ряде статей, внедрение ИИ дает возможность управлять ферментацией в реальном времени (контролируя температуру, уровень сахара, pH и другие параметры), что способствует предотвращению дефектов и обеспечению стабильного качества пива [2, 6]. Современные цифровые решения позволяют также предсказывать окончание брожения и другие ключевые моменты процесса. В совокупности это приводит к снижению затрат и минимизации отходов [3]. Исходя из этого, задача статьи – определить, какие именно управленические и технологические задачи пивоваренного производства может решать ИИ в рамках принципов бережливого производства

Материалы и методы

Для достижения поставленных целей использовались аналитические и эмпирические методы. В основе исследования лежит анализ данных о производстве пива с применением технологий ИИ, изучение зарубежного опыта. Исследование базируется на информации, полученной из отраслевых отчетов, научных публикаций и практических кейсов.

Настоящая работа предлагает комплексное видение роли ИИ в бережливом производстве пивоваренной отрасли, раскрывая его преимущества для оптимизации процессов, улучшения качества продукции и укрепления позиций на рынке.

Результаты

Применительно к пивоваренному производству ИИ рассматривается как дополнительный инструмент бережливых технологий, усиливающий их эффект. Анализ показывает, что интеграция ИИ позволяет компаниям получать выгоду, аналогичную той, что наблюдается в других отраслях (сокращение времени формирования запасов, ускорение доставки материалов, рост производительности и т. д.) [1]. Для пивоварен это означает оптимизацию планирования рецептур, прогнозирование спроса и своевременную поставку ингредиентов. В основе решения этих задач лежит обработка больших объемов данных: в современных условиях широко используются Big Data, глубокое обучение и методы машинного обучения (Business Intelligence [1].

Машинное обучение (МО) представляет собой анализ данных с помощью алгоритмов, которые обучаются на основе накопленных наблюдений [7]. В процессе работы модели адаптируются к новым данным, обеспечивая точность и согласованность предсказаний [8]. Рассмотрим основные типы МО и их применение к пивоваренному производству:

– Контролируемое обучение. Основано на размеченных наборах данных. Подходит для задач классификации и прогнозирования (например, автоматическая оценка качества сваренного пива или прогноз выхода партии). Алгоритмы присваивают метки объектам данных, что позволяет обучаться на исторических примерах [9]. В пивоварении такой подход может использоваться для автоматизации контроля качества продукции (определение цвета, плотности, содержания алкоголя и др.) по образцам или сенсорным данным [10].

– Неконтролируемое обучение. Не требует заранее размеченных данных. Алгоритмы выявляют скрытые закономерности и кластеры в данных. Этот подход эффективен для мониторинга работы оборудования (ферментеров, охладительных систем и т. п.) и раннего обнаружения аномалий (например, необычные колебания температуры или давления). Он применяется для кластеризации данных и выявления скрытых зависимостей, что позволяет прогнозировать возможные отказы оборудования до их появления [11].

– Полуконтролируемое обучение. Сочетает элементы контролируемого и неконтролируемого обучения. Имеются метки для части данных, а остальные данные алгоритм анализирует самостоятельно. Такой подход может быть полезен для оптимизации серийного или мелкосерийного производства пива с целью снижения брака и отходов. Например, даже ограниченное число отобранных по качеству образцов может направлять алгоритм к более точной оценке качества остальных партий сусла или пива [12].

– Обучение с подкреплением. Алгоритм находит оптимальное действие путем проб и ошибок, оценивая полезность каждого шага. Пивоварни могут применять его для оценки различных вариантов улучшения технологических процессов (например, режимов нагрева заторения или сроков брожения), выбирая те стратегии, которые максимизируют выход качественного продукта [13].

На современном предприятии все задачи управления должны решаться с опорой на мощные информационные системы и решения ИИ. Эталонная иерархия таких систем включает уровни ERP, MES и SCADA.

На стратегическом уровне ERP (Enterprise Resource Planning) формирует главную задачу предприятия и разбивает её на множество частных производственных задач, передаваемых на уровень MES (Manufacturing Execution System). На уровне MES сосредоточены алгоритмы решения этих задач: формируются инструкции, контролируется выполнение, а информация о статусе возвращается на уровень ERP. Это позволяет оперативно корректировать стратегические цели и планировать производство. На нижнем уровне SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition) обеспечивают сбор и отображение данных с датчиков оборудования и выполняют команды MES по управлению производственным процессом. Таким образом, формируется замкнутый цикл управления: $ERP \leftrightarrow MES \leftrightarrow SCADA$.

Инструменты бережливого производства, такие как 5S, TPM, JIT (точно вовремя), картирование потока создания ценности, «система вытягивания» (пул) и «пока-ёк» (устранение ошибок), также находят применение в пивоварении. ИИ интегрируется с этими инструментами. Например, в малых пивоварнях календарное планирование выпуска продукции (смешанный запуск различных сортов на одной линии) приобретает особую важность. ИИ может помочь составлять планы варок таким образом, чтобы минимизировать ожидание заказов и увеличить скорость выполнения разных рецептур. Аналогично, в режиме Just-In-Time системы ИИ обеспечивают изготовление партий пива точно к сроку отгрузки, без накопления лишних запасов и простоев.

ИИ эффективно решает задачи сокращения ошибок персонала и уменьшения времени простоев при переналадках оборудования. Технологии компьютерного зрения на базе ИИ позволяют отслеживать перемещения сотрудников и оборудования на производстве, что способствует повышению эффективности использования рабочей силы и повышению безопасности труда [14]. Не менее важны приложения ИИ для контроля качества пива и диагностики состояния оборудования: системы машинного обучения выявляют отклонения рецептуры и оценивают параметры продукта, предотвращая появление брака.

Рисунок 1 демонстрирует сравнительную эффективность традиционных методов и подходов с использованием ИИ на ключевых этапах пивоварения.

- Анализ сырья: системы ИИ позволяют быстрее и точнее анализировать состав и качество сырья, устранив человеческий фактор.

- Ферментация: традиционные методы контролируют параметры вручную, тогда как ИИ обеспечивает прогнозирование и автоматизацию в реальном времени.

- Фильтрация: с помощью предиктивных моделей ИИ снижаются потери продукта, в отличие от фиксированных настроек оборудования.

- Упаковка: ИИ учитывает экологические и экономические факторы, оптимизируя выбор материалов и процессы упаковки.

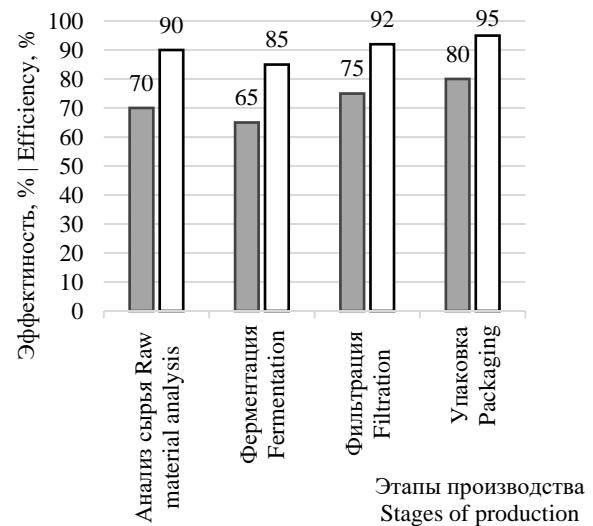


Рисунок 1. Соотношение эффективности традиционных методов и ИИ на разных этапах производства
Figure 1. Correlation of efficiency of traditional methods and AI at different stages of production.

Для глубокого понимания производственных процессов промышленный ИИ «контекстуализирует» данные: он объединяет информацию о текущих технологических параметрах с бизнес-данными (планами, историческими показателями, маркетинговыми прогнозами) и на её основе строит математическую модель процесса [15]. При этом алгоритмы машинного обучения очищают данные от шумов и ложных срабатываний, позволяя точно выявлять целевые показатели для производственных команд [16–18]. Машинное обучение обеспечивает прогнозную аналитику: инженеры-технологи получают заранее предсказания о возможных сбоях или отклонениях (например, о подъёме температуры или увеличении мутности), чтобы своевременно скорректировать процесс и избежать потерь [19].

Наиболее актуальным для контроля будет процесс сбраживания пивного сусла.

Брожение – один из самых ответственных этапов пивоварения. Использование информационных систем и ИИ позволяет оптимизировать процесс брожения, контролируя условия для дрожжей [11].

ИИ-системы могут регулировать температуру брожения, концентрацию сахаров и другие параметры таким образом, чтобы обеспечить оптимальную активность микроорганизмов и ускорить процесс брожения с 21 дня до 7 дней. Тем самым увеличивая выпуск продукции высокого качества (Рисунок 4).

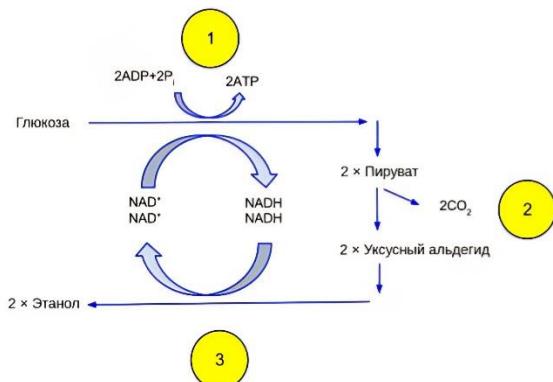


Рисунок 2. Процесс спиртового брожения

Figure 2. Alcoholic fermentation process

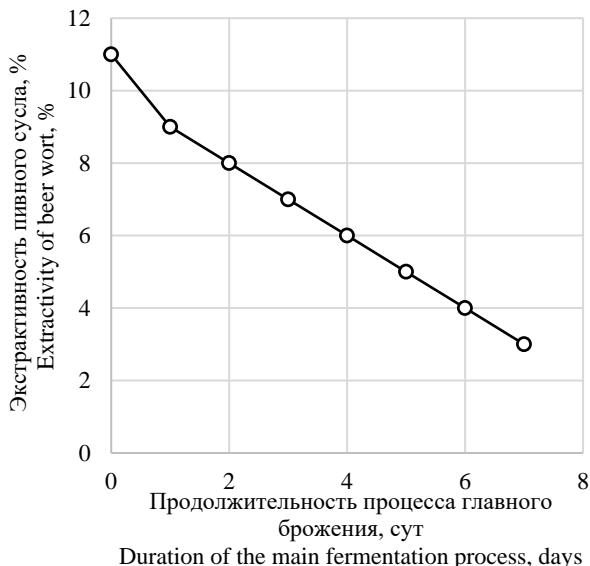


Рисунок 3. Динамика изменения параметров процесса главного брожения

Figure 3. Dynamics of changes in the parameters of the main fermentation process.

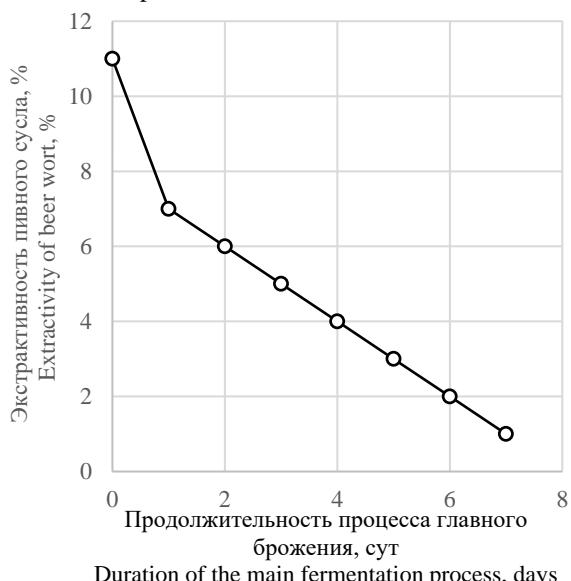


Рисунок 4. Динамика изменения параметров процесса главного брожения при использовании ИИ-систем

Figure 4. Dynamics of changes in the parameters of the main fermentation process when using AI systems

Кроме того, алгоритмы ИИ анализируют качество сырья (солода, хмеля, воды), выявляя отклонения от стандартов и возможные примеси. Это повышает качество исходных материалов и минимизирует риски на последующих этапах производства. Предиктивные модели на базе МО обеспечивают точное прогнозирование окончания процесса брожения и позволяют заранее определить критические точки технологической цепочки. Таким образом, интеграция ИИ в информационные системы пивоварен способствует сокращению общего времени производства пива и снижению потерь за счёт более эффективного управления температурными режимами и составом сусла.

В результате предприятия, использующие промышленные ИИ как неотъемлемую часть своих бережливых методик, получают возможность непрерывно совершенствовать производственные процессы и минимизировать отходы [20]. Анализ данных и предиктивное моделирование позволяют инженерам-технологам тестировать различные параметры пивоварения (режимы заторования, дозировки ингредиентов и т. д.) до достижения оптимальных настроек, что прямо влияет на сокращение брака и повышение выхода годного продукта.

Заключение

Центральное место в философии бережливого производства занимает идея непрерывного совершенствования. Готовность к изменениям на пивоваренном предприятии должна поддерживаться постоянно, чтобы при появлении возможностей для улучшения можно было незамедлительно внедрить соответствующие меры. Применение ИИ позволяет своевременно выявлять потенциальные улучшения и автоматически предлагать пути их реализации. При выявлении проблемы производство обычно приостанавливается, члены команды проводят анализ «остановка–запуск», что нарушает принцип непрерывности. Инструменты ИИ дают возможность сократить количество таких остановок или вовсе избегать их.

В текущий момент приложения машинного обучения и ИИ могут эффективно применяться на предприятиях пивоваренной отрасли любого масштаба независимо от используемых технологий. Интеграция ИИ в процессы бережливого производства обеспечивает синергетический эффект: повышается производительность труда, улучшается качество продукции и экономическая эффективность за счёт автоматизации, оптимизации ресурсов и минимизации потерь. Таким образом, сочетание бережливых подходов с возможностями ИИ способствует значительному росту эффективности и конкурентоспособности пивоваренного производства.

Литература

- 1 Анисимов А.Ю., Алексахин А.Н., Алексахина С.А., Алёхин Е.И. Искусственный интеллект в современном обществе: текущее состояние и оценка перспектив развития // CyberLeninka. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-v-sovremennom-obschestve-tekuschee-sostoyanie-i-otsenka-perspektiv-razvitiya> (дата обращения: 08.12.2024).
- 2 Васильев А.И. Искусственный интеллект в управлении качеством пива // Пивоварение и безалкогольная промышленность. 2021. № 1. С. 22–28.
- 3 Дементьев К.И. Анализ мирового опыта применения искусственного интеллекта для оптимизации бизнес-процессов предприятий // CyberLeninka. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-mirovogo-opyuta-primeneniya-iskusstvennogo-intellekta-dlya-optimizatsii-biznes-protsessov-predpriyatiu> (дата обращения: 08.12.2024).
- 4 Дрогин А.В. Искусственный интеллект в пивоварении. URL: <https://drogin.ru/iskusstvennyj-intellekt-v-pivovarenii/> (дата обращения: 08.12.2024).
- 5 Ибрагимова Н.А., Ибрагимов З.З. Эффективное использование искусственного интеллекта в производстве // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. 2019. С. 639–642.
- 6 Мальцева И.Ф., Шульгина Ю.В. Использование систем искусственного интеллекта в управленческих и производственных процессах // Естественно-гуманитарные исследования. 2024. С. 220–228.
- 7 Михеев П.Н. Технологии искусственного интеллекта в пищевой промышленности // Инновации и инвестиции. 2023. С. 536–539.
- 8 Монахов Р.Р., Батищев А.В. Применение искусственного интеллекта в собственном бизнесе в сфере информационных технологий // Естественно-гуманитарные исследования. 2024. С. 514–520.
- 9 Применение технологий искусственного интеллекта в инновационной деятельности промышленных предприятий / Пасечник Д. [и др.] // European Scientific Journal. URL: <https://esj.today/PDF/101ECVN623.pdf> (дата обращения: 10.12.2024).
- 10 Русов А.В. Современные тенденции и использование искусственного интеллекта и машинного обучения в бизнесе и научных исследованиях // Научный журнал. 2023. С. 172–177.
- 11 Скрипников А.В., Фролова Л.Н., Саввина Е.А., Кулигин Д.Р., Васечкин В.М. Цифровизация с использованием AI, как фактор повышения качества и эффективности при производстве спирта // Сборник научных статей и докладов XI Международной научно-практической конференции. 2024. С. 594–600.
- 12 Смирнов С.И. Интеллектуальные системы в пивоварении: от анализа данных до управления производством // Технологии пищевой промышленности. 2021. № 3. С. 12–18.
- 13 Тимчук Е.Г. Применение искусственного интеллекта в пищевой промышленности // Научные труды Дальрыбвтуза. 2022. Т. 61. № 3. С. 21–42.
- 14 Тимчук Е.Г. Важность искусственного интеллекта и робототехники в пищевой промышленности и производстве напитков // Научные труды Дальрыбвтуза. 2022. Т. 61. № 4. С. 24–44.
- 15 Хацкевич А.Н., Рудаков С.А., Егоров Г.А. Применение технологий искусственного интеллекта как один из факторов конкурентоспособности бизнеса в четвёртой промышленной революции // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2024. № 1. С. 184–199.
- 16 Anderson T., White R. Machine Learning Applications in Brewing: A Case Study // Journal of Artificial Intelligence in Food Science. 2023. Vol. 7. P. 45–60.
- 17 Beer Organoleptic Optimisation: Utilising Swarm Intelligence and Evolutionary Computation Methods / al-Rifaie M.M., Cavazza M. // arXiv preprint. 2020. arXiv:2004.03438. URL: <https://arxiv.org/abs/2004.03438> (дата обращения: 11.12.2024).
- 18 Johnson R., Smith K. Artificial Intelligence in Brewing: A Comprehensive Review // Journal of Food Engineering. 2020. Vol. 45. P. 123–135.
- 19 Brown L., Taylor M. AI-Driven Quality Control in Beer Production // International Journal of Brewing Science. 2021. Vol. 12. P. 89–102.
- 20 Lee H., Park J. Application of Neural Networks for Flavor Profiling in Craft Beer // Food Research International. 2022. Vol. 56. P. 210–225.

References

- 1 Anisimov A.Yu., Aleksakhin A.N., Aleksakhina S.A., Alyokhin E.I. Artificial intelligence in modern society: current state and assessment of development prospects. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-v-sovremennom-obschestve-tekuschee-sostoyanie-i-otsenka-perspektiv-razvitiya> (date of access: 08.12.2024). (in Russian)
- 2 Vasilyev A.I. Artificial intelligence in beer quality management. Brewing and Non-Alcoholic Industry. 2021. no. 1. pp. 22–28. (in Russian)
- 3 Dementiev K.I. Analysis of world experience in the application of artificial intelligence for optimizing business processes of enterprises. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-mirovogo-opyuta-primeneniya-iskusstvennogo-intellekta-dlya-optimizatsii-biznes-protsessov-predpriyatiu> (date of access: 08.12.2024). (in Russian)
- 4 Drogyn A.V. Artificial intelligence in brewing. Available at: <https://drogin.ru/iskusstvennyj-intellekt-v-pivovarenii/> (date of access: 08.12.2024). (in Russian)
- 5 Ibragimova N.A., Ibragimov Z.Z. Effective use of artificial intelligence in production. Scientific Bulletin: Finance, Banks, Investments. 2019. pp. 639–642. (in Russian)
- 6 Maltseva I.F., Shulgina Yu.V. Use of artificial intelligence systems in management and production processes. Natural and Human Studies. 2024. pp. 220–228. (in Russian)
- 7 Mikheev P.N. Artificial intelligence technologies in the food industry. Innovations and Investments. 2023. pp. 536–539. (in Russian)
- 8 Monakhov R.R., Batishchev A.V. Application of artificial intelligence in one's own business in the field of information technology. Natural and Human Studies. 2024. pp. 514–520. (in Russian)

- 9 Application of artificial intelligence technologies in innovative activities of industrial enterprises / Pasechnik D. et al. European Scientific Journal. Available at: <https://esj.today/PDF/101ECVN623.pdf> (date of access: 10.12.2024). (in Russian)
- 10 Rusov A.V. Modern trends and use of artificial intelligence and machine learning in business and scientific research. Scientific Journal. 2023. pp. 172–177. (in Russian)
- 11 Skripnikov A.V., Frolova L.N., Savvina E.A., Kuligin D.R., Vasechkin V.M. Digitalization using AI as a factor in improving quality and efficiency in alcohol production. Collection of scientific articles and reports of the XI International Scientific and Practical Conference. 2024. pp. 594–600. (in Russian)
- 12 Smirnov S.I. Intelligent systems in brewing: from data analysis to production management. Food Industry Technologies. 2021. no. 3. pp. 12–18. (in Russian)
- 13 Timchuk E.G. Application of artificial intelligence in the food industry. Scientific Works of Dalrybvtuza. 2022. vol. 61. no. 3. pp. 21–42. (in Russian)
- 14 Timchuk E.G. The importance of artificial intelligence and robotics in the food and beverage industry. Scientific Works of Dalrybvtuza. 2022. vol. 61. no. 4. pp. 24–44. (in Russian)
- 15 Khatskelevich A.N., Rudakov S.A., Egorov G.A. Application of artificial intelligence technologies as one of the factors of business competitiveness in the fourth industrial revolution. Bulletin of PNRPU. Socio-economic sciences. 2024. no. 1. pp. 184–199. (in Russian)
- 16 Anderson T., White R. Machine Learning Applications in Brewing: A Case Study. Journal of Artificial Intelligence in Food Science. 2023. vol. 7. pp. 45–60.
- 17 Beer Organoleptic Optimisation: Utilising Swarm Intelligence and Evolutionary Computation Methods / al-Rifaie M.M., Cavazza M. arXiv preprint. 2020. arXiv:2004.03438. Available at: <https://arxiv.org/abs/2004.03438> (date of access: 11.12.2024).
- 18 Johnson R., Smith K. Artificial Intelligence in Brewing: A Comprehensive Review. Journal of Food Engineering. 2020. vol. 45. pp. 123–135.
- 19 Brown L., Taylor M. AI-Driven Quality Control in Beer Production. International Journal of Brewing Science. 2021. vol. 12. pp. 89–102.
- 20 Lee H., Park J. Application of Neural Networks for Flavor Profiling in Craft Beer. Food Research International. 2022. vol. 56. pp. 210–225.

Сведения об авторах

Даниил Р. Кулигин студент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kuligin470@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-3133-4467>

Екатерина А. Саввина к.т.н., доцент, кафедра корпоративных информационных систем и программирования, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katenok2207@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0728-8313>

Владислав М. Васечкин студент, кафедра корпоративных информационных систем и программирования, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vasechkinvm@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0003-0700-7344>

Леонид С. Чесников студент, кафндра информационных технологий, моделирования и управления, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, leonid.chesnikov@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0002-6124-5426>

Екатерина Ю. Желтоухова к.т.н., доцент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katsturova@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7463-9013>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за plagiat

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Daniil R. Kuligin student, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kuligin470@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-3133-4467>

Ekaterina A. Savvina Cand. Sci. (Engin), associate professor, corporate information systems and programming department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, katenok2207@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0728-8313>

Vladislav M. Vasechkin student, corporate information systems and programming department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vasechkinvm@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0003-0700-7344>

Leonid S. Chesnikov student, information technology, modeling and management department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, leonid.chesnikov@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0002-6124-5426>

Ekaterina Y. Zheltoukhova Cand. Sci. (Engin), associate professor, food processing machines and apparatuses department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, katsturova@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7463-9013>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 10/11/2025	После редакции 26/11/2025	Принята в печать 10/12/2025
Received 10/11/2025	Accepted in revised 26/11/2025	Accepted 10/12/2025