

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЛОЧНОГО СКОТОВОДСТВА НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

О. М. НЕДЮХИНА, А. Л. ТАРАНОВА

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: aksana-gorki@yandex.by,
taranova77@yandex.ru*

(Поступила в редакцию 30.04.2026)

В статье представлено комплексное и глубокое исследование проблемы применения традиционных контактных методов идентификации крупного рогатого скота и их негативного влияния на производственные показатели животноводческих комплексов. Разработана и научно обоснована инновационная методика внедрения мобильной интеллектуальной платформы «AgroID: Bio-Link», осуществляющей бесконтактную биометрическую идентификацию особей по папиллярному узору носового зеркала с помощью нейросетевых алгоритмов. Опираясь на фундаментальные труды белорусских и зарубежных исследователей, рассчитан экономический эффект от внедрения: доказано снижение прямых издержек, полная окупаемость за 7 месяцев и минимизация технологического стресса животных. Предложен подробный поэтапный алгоритм интеграции системы в цифровой контур сельскохозяйственного предприятия в соответствии с требованиями современной экономики.

Ключевые слова: *искусственный интеллект, цифровизация АПК, биометрическая идентификация, компьютерное зрение, YOLOv8, крупный рогатый скот, зоотехнический учет, экономическая эффективность.*

This article presents a comprehensive and in-depth study of the application of traditional contact methods for identifying cattle and their negative impact on the production performance of livestock farms. An innovative method for implementing the mobile intelligent platform "AgroID: Bio-Link" has been developed and scientifically substantiated. It enables contactless biometric identification of animals based on the papillary pattern of their nasal mirrors using neural network algorithms. Based on the fundamental work of Belarusian and international researchers, the economic impact of the implementation has been calculated: a reduction in direct costs, a full payback within 7 months, and minimization of technological stress on animals. A detailed, step-by-step algorithm for integrating the system into the digital framework of an agricultural enterprise in accordance with the requirements of the modern economy is proposed.

Key words: *artificial intelligence, digitalization of the agro-industrial complex, biometric identification, computer vision, YOLOv8, cattle, livestock accounting, economic efficiency.*

Введение. На современном этапе развития агропромышленного комплекса Республики Беларусь повышение операционной эффективности, устойчивости и глобальной конкурентоспособности

отрасли неразрывно связано с форсированным внедрением передовых информационных технологий [1]. Стратегическим вектором данного процесса является Государственная программа «АПК Будущего» на 2026–2030 годы, постулирующая необходимость тотальной цифровой трансформации производственных и управленческих процессов в сельском хозяйстве [1]. Одним из критических барьеров на пути реализации концепции точного животноводства (Precision Livestock Farming) остается архаичность систем зоотехнического и ветеринарного учета, базирующихся на контактных методах идентификации поголовья [11, р. 5].

Традиционный инструментарий идентификации, основой которого является использование пластиковых ушных бирок, демонстрирует фундаментальную несостоятельность в реалиях интенсивного промышленного скотоводства. Практика показывает, что до 10–12 % ушных бирок ежегодно теряются или получают критические повреждения [19]. Это провоцирует системный хаос в логистике стада, нарушает контуры прослеживаемости продукции и ведет к критическим ошибкам в селекционно-племенной работе [13, р. 2]. Кроме того, процедуры физического мечения и регулярные фиксации животных для считывания инвентарных номеров выступают мощнейшим стресс-фактором [12, р. 4]. Выделение кортизола вследствие технологического стресса угнетает физиологические функции организма, что напрямую конвертируется в прямые экономические убытки: средняя потеря молочной продуктивности (надоев) из-за нарушений учета и стресса достигает 15 % [20, р. 320].

Целью данного исследования является разработка научно-методических подходов и практического инструментария для перехода к бесконтактной идентификации крупного рогатого скота (КРС) на основе алгоритмов компьютерного зрения, а также подробная оценка экономической эффективности внедрения разработанной мобильной платформы «AgroID: Bio-Link».

Анализ источников. Проблематика цифровизации сельского хозяйства и внедрения интеллектуальных систем управления в АПК Республики Беларусь фундаментально исследована в трудах ведущих отечественных ученых. В частности, академик В. Г. Гусаков [2, с. 45] и профессор Н. В. Киреенко [5, с. 112] в своих трудах обосновывают, что цифровая трансформация отрасли выступает безальтернативным путем повышения конкурентоспособности, предлагая научные принципы регулирования данных процессов. Значительный вклад в

оценку цифрового потенциала перерабатывающих организаций и аграрных предприятий внесли Л. В. Пакуш, А. Г. Ефименко и Е. В. Волкова [7, с. 75], акцентируя внимание на базисе для формирования интеллектуальных систем. Роль цифровой экономики как драйвера устойчивого развития и технологических решений для сельского хозяйства всесторонне обоснована в работах В. Журавлева [4, с. 62].

Вопросы обеспечения экономической безопасности предприятий АПК в условиях цифровизации, включая финансовые риски, подробно рассмотрены А. Г. Ефименко и С. А. Картель [3, с. 44]. Специфика формирования цен и использования математических моделей в условиях волатильности рынков раскрыта в исследованиях И. Н. Шафранского и И. В. Шафранской [9, с. 122]. Вопросы социально-трудовых факторов и условий устойчивого роста в цифровой среде проанализированы А. В. Пилипуком и О. А. Пашкевич [8, с. 89]. Кроме того, Е. С. Митяков указывает на необходимость систем мониторинга экономической безопасности и управления рисками при внедрении сквозных технологий в АПК [6, с. 15].

На международном уровне применение нейронных сетей в сельском хозяйстве стремительно расширяется. Исследования научных коллективов под руководством А. И. Авада [10], С. Кумара [17] и З. Чена [14] доказали превосходство моделей машинного обучения над традиционными статистическими методами визуального контроля. Идентификация по папиллярному узору носового зеркала, впервые предметно описанная Х. Минагавой [18, р. 352], получила новое развитие с появлением сверточных нейронных сетей (CNN) [16, р. 71]. Влияние систем автоматизации на цепочки создания стоимости и экономические эффекты исследовано в работах А. Смита [20] и А. Бхале [13, р. 3]. Оценка применимости алгоритмов машинного обучения для нужд сельского хозяйства подробно разбирает К. Гупта [15, р. 2].

Тем не менее, глубокий анализ источников выявил существенный дефицит прикладных программных решений, адаптированных под мобильные устройства и способных функционировать в офлайн-режиме (Edge AI) в условиях реальных белорусских ферм. Данный технологический пробел актуализирует разработку полностью автономных систем биометрической идентификации.

Основная часть. В процессе выполнения исследования применялся комплекс общенаучных и специальных методов, соответствующих требованиям современной академической практики:

- Системно-структурный анализ — применялся при изучении фундаментальных проблем действующей системы инвентарного учета крупного рогатого скота и логистики перемещения стада.

- Методы машинного обучения и компьютерного зрения. Ядром вычислительной платформы выступила современная архитектура одностадийной детекции объектов YOLOv8, обученная на специализированных датасетах для выделения биометрических паттернов КРС [16, р. 75].

- Экономико-математическое моделирование – использовалось для расчета комплексных показателей экономической эффективности (срока окупаемости, прямой и косвенной экономии) при масштабировании технологии.

- Эмпирические методы (полевой эксперимент). Пилотное тестирование программно-аппаратного комплекса проводилось в реальных производственных условиях на базе молочно-товарного комплекса ОАО «Мирополье» в марте 2026 года.

Для кардинального решения проблемы искажения зоотехнического учета и минимизации производственного травматизма нами разработана инновационная платформа «AgroID: Bio-Link». Данное решение представляет собой мобильное приложение (рис. 1), осуществляющее моментальную бесконтактную идентификацию животного по уникальному папиллярному узору носа без использования электронных чипов или пластиковых бирок.

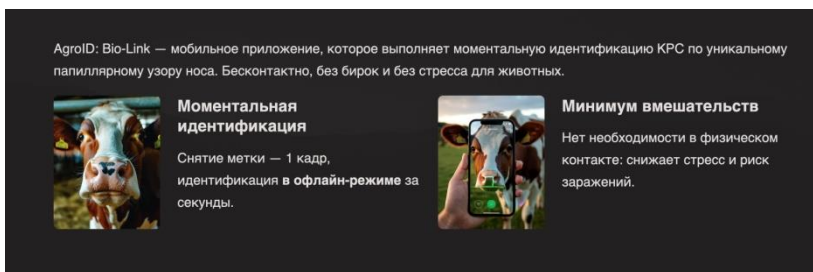


Рис. 1. Мобильное распознавание по носовому зеркалу

Фундаментальной концепцией разработанного продукта является устранение любого физического контакта человека с животным в

процессе инвентаризации. Для инициализации распознавания зоотехнику достаточно навести камеру стандартного смартфона на морду коровы.

Мобильное приложение выполняет роль «FaceID» для стада, обеспечивая считывание данных с безопасного расстояния. В основе программного продукта лежит высокооптимизированный алгоритм на базе сверточной нейросети YOLOv8 [16]. Процесс идентификации адаптирован для работы на локальных вычислительных мощностях современных мобильных процессоров без потери точности детекции.

Нейросеть мгновенно локализует носовое зеркало в кадре и сегментирует его для выделения строго контролируемых биометрических маркеров [19, р. 106031]. В ходе глубокого обучения модели на размеченном наборе данных были определены и классифицированы ключевые топологические паттерны папиллярного узора: «Звезда», «Птица» и «Трилистник» (рис. 2).

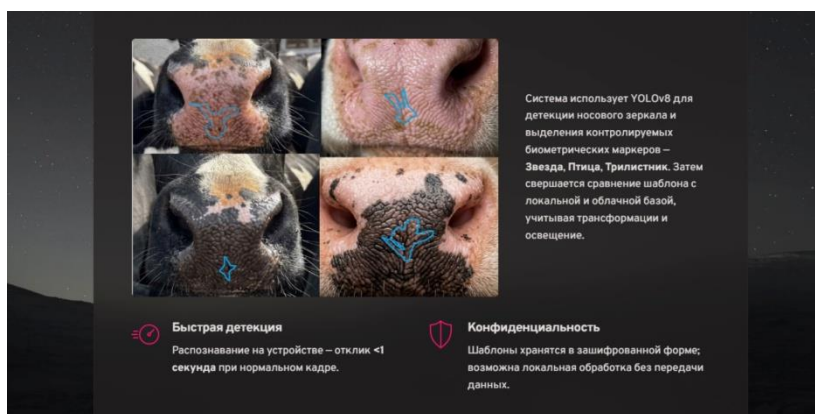


Рис. 2. Технология YOLOv8 и биометрия носового зеркала

Сформированный уникальный шаблон математически описывает геометрию борозд и проходит процедуру сопоставления с локальной и облачной базами данных с учетом возможных аффинных трансформаций и изменяющихся условий освещения.

Главным технологическим преимуществом разработанной системы является возможность полноценной и безотказной работы в офлайн-режиме. В условиях большинства животноводческих помещений (коровников) стабильное интернет-соединение отсутствует, поэтому

все вычислительные процессы происходят непосредственно на устройстве (технология Edge Computing) [15, р. 4]. Для успешного снятия метки требуется всего 1 нормальный кадр, а скорость отклика системы при идентификации составляет менее 1 секунды. Вопросы информационной безопасности решены на архитектурном уровне: биометрические шаблоны хранятся в зашифрованной форме с локальной обработкой данных, что жестко предотвращает утечки коммерческой информации сельскохозяйственного предприятия.

Архитектура мобильного приложения «AgroID: Bio-Link» не ограничивается исключительно функцией визуального распознавания, а представляет собой комплексную систему цифрового управления стадом, включающую три глубоко интегрированных функциональных модуля:

1. AI-сканер: базовый аналитический модуль детекции и верификации животного. Сразу после распознавания система выводит на экран исчерпывающие подсказки по идентичности особи (инвентарный номер, порода, точный вес) и ее ветеринарной истории.

2. «Умный светофор»: модуль предиктивной автоматической оценки статуса здоровья и физиологического состояния животного. Приложение визуализирует статус через интуитивно понятную цветовую индикацию для быстрого принятия оперативных решений персоналом: зеленый цвет означает норму; желтый цвет сигнализирует об опасности или острой необходимости наблюдения; синий цвет указывает на статус «успешно осеменена» (рис. 3).

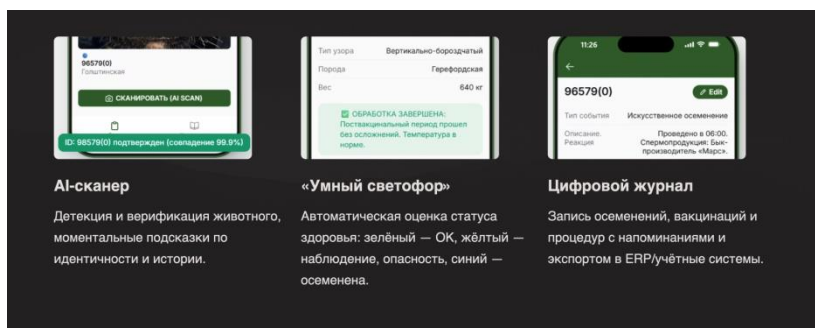


Рис. 3. Функционал приложения

3. Цифровой журнал: защищенная электронная база данных событий, позволяющая зоотехнику или ветеринару в один клик

производить запись осеменений, плановых вакцинаций и иных лечебных процедур непосредственно у стойла. Журнал поддерживает систему интеллектуальных напоминаний и обладает функционалом прямого экспорта (API) данных в корпоративные ERP/учетные системы предприятия, что полностью исключает двойной ручной ввод и бумажную волокиту.

Высокая операционная эффективность и надежность системы были подтверждены в ходе пилотного внедрения. 27 марта 2026 года на МТК ОАО «Мирополье» Борисовского района в ходе планового утреннего обхода приложение «AgroID: Bio-Link» идентифицировало особь, у которой была зафиксирована критическая гипертермия – температура тела животного поднялась до 40,1 °С, что явно свидетельствовало о сильной негативной реакции на проведенную накануне плановую вакцинацию. Система за доли секунды классифицировала статус животного как «опасный» (на экране загорелся желтый маркер «ТРЕВОГА») (рис. 4), зафиксировала событие в локальной базе данных и автоматически сгенерировала экстренное push-уведомление дежурному ветеринарному врачу комплекса.

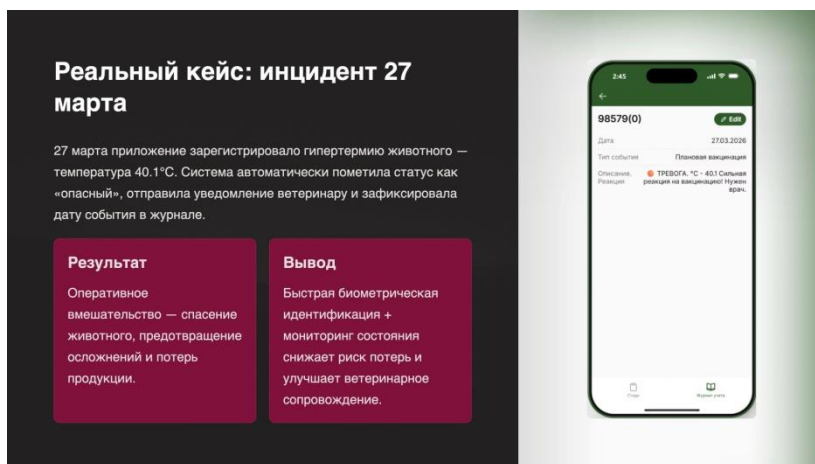


Рис. 4. Пилотное внедрение приложения

Этот практический кейс неопровержимо доказывает, что сверхбыстрая биометрическая идентификация в связке с непрерывным

мониторингом состояния радикально улучшает качество ветеринарного сопровождения. Своевременное и точное вмешательство медицинского специалиста позволило оперативно купировать аллергическую реакцию, спасти жизнь животному и предотвратить неминуемые финансовые потери хозяйства.

Для оценки экономической целесообразности инвестиций в цифровизацию был проведен расчет экономической эффективности (E) внедрения интеллектуальной платформы «AgroID: Bio-Link». Формула расчета комплексного экономического эффекта может быть представлена в следующем виде:

$$E = \sum (C_{tags} + C_{labor}) + \Delta P_{milk} + \Delta C_{vet} - C_{system},$$

где C_{tags} – экономия на закупке и восстановлении пластиковых бирок;

C_{labor} – экономия фонда оплаты труда персонала, задействованного в ручной инвентаризации;

ΔP_{milk} – предотвращенные потери молочной продуктивности за счет исключения технологического стресса;

ΔC_{vet} – сокращение ветеринарных издержек благодаря предиктивной диагностике;

C_{system} – стоимость лицензирования и внедрения системы.

Анализ экономики внедрения подтверждает высочайшую инвестиционную привлекательность платформы для агробизнеса. При расчете финансовой модели для типового молочно-товарного комплекса поголовьем в 1000 голов, только прямая ежегодная экономия ($C_{tags} + C_{labor}$) составляет около 3000 долларов США. Эта базовая сумма складывается исключительно из полного отказа от постоянной закупки бирок, их регулярной замены при утере, затрат на логистику и оплату нецелевых трудовых затрат линейного персонала. Оценочный срок окупаемости (ROI) программно-аппаратного комплекса составляет всего 7 месяцев при среднем (базовом) уровне внедрения аналитических модулей мониторинга.

Однако совокупный экономический эффект масштабируется кратно за счет устранения скрытых производственных потерь. Во-первых, гарантированное снижение стресс-фактора благодаря бесконтактным процедурам сохраняет до 15 % потенциальной молочной продуктивности (нивелируются потери молока, связанные со скачками кортизола) [12, р. 8]. Во-вторых, радикально сокращается время визуального поиска нужного животного в большом стаде. В-третьих, ранняя аппаратная диагностика («Умный светофор») существенно снижает общие ветеринарные расходы на лечение запущенных стадий заболеваний. В-четвертых, бесшовная интеграция цифрового журнала с ERP-системой предприятия полностью исключает фактор человеческой ошибки и оптимизирует затраты на рутинный ввод данных.

Для минимизации операционных и технологических рисков нами разработан четкий трехэтапный план внедрения и глубокой интеграции платформы в бизнес-процессы:

1. Запуск пилота (1–2 фермы). Комплексное тестирование нейросетевой модели в реальных производственных условиях, ее точная калибровка под специфическое освещение коровников и фенотипические особенности породы, а также первичное обучение персонала хозяйства работе с планшетами и смартфонами.

2. Масштабирование. Централизованное развертывание системы на всех производственных площадках холдинга и полная двусторонняя синхронизация баз данных с корпоративной ERP-системой (1С и др.).

3. Поддержка и предиктивная аналитика. Регулярное дообучение моделей ИИ на постоянно расширяющихся массивах данных и формирование ежеквартальной глубокой аналитики продуктивности стада для поддержки принятия стратегических управленческих решений топ-менеджментом.

Заключение. Проведенное исследование неопровержимо доказывает, что переход от физических методов мечения к бесконтактным интеллектуальным решениям является экономически детерминированной необходимостью для современного АПК. Разработанная и успешно апробированная платформа «AgroID: Bio-Link» решает фундаментальную логистическую и зоотехническую проблему промышленного животноводства, навсегда устраняя хаос в учете, вызванный ежегодной потерей до 12 % пластиковых бирок.

Применение передовой архитектуры YOLOv8 для математического анализа уникального папиллярного узора носового зеркала

обеспечивает беспрецедентную скорость (отклик менее 1 секунды) и высочайшую точность верификации в офлайн-режиме, не требуя физического контакта с КРС. Доказано, что устранение технологического стресса способствует сохранению до 15 % потенциальных надоев, а интегрированные модули предиктивного мониторинга («Умный светофор» и «Цифровой журнал») надежно предотвращают потери от заболеваемости скота и повышают качество ветеринарного контроля.

Быстрый срок окупаемости системы (всего 7 месяцев) и прямая документально подтвержденная экономия от 3000 долларов США в год на каждую 1000 голов стада свидетельствуют о коммерческой и практической ценности программного продукта. Системное масштабирование платформы «AgroID: Bio-Link» в деятельность отечественных сельхозпредприятий выступит технологическим драйвером успешной реализации Государственной программы «АПК Будущего» на 2026–2030 годы, повышая цифровой суверенитет, устойчивость и маржинальность животноводческой отрасли Республики Беларусь.

Список литературы

1. Государственная программа «АПК Будущего» на 2026–2030 годы [Электронный ресурс] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by>.
2. Гусаков, В. Г. Научные принципы регулирования развития АПК: предложения и механизмы реализации / В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2024. – 126 с.
3. Ефименко, А. Г. Методика оценки финансово-экономической безопасности мясоперерабатывающих организаций АПК / А. Г. Ефименко, С. А. Картель // Проблемы экономики. – 2025. – № 1 (40). – С. 43–57.
4. Журавлёв, В. Цифровизация сельского хозяйства в Республике Беларусь: технологические решения для развития / В. Журавлёв // Аграрная экономика. – 2024. – № 3. – С. 60–70.
5. Киреенко, Н. В. Система сбыта продукции АПК на основе маркетингового подхода: теория, методология, практика: в 2 ч. / Н. В. Киреенко; под ред. В. Г. Гусакова. – Минск: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2015. – Ч. 1. – 267 с.
6. Митяков, Е. С. Мониторинг экономической безопасности: трансформация в условиях цифровой экономики / Е. С. Митяков // Развитие и безопасность. – 2022. – № 3. – С. 14–25.
7. Пакуш, Л. В. Особенности развития процесса цифровой трансформации экономики Беларуси и оценка цифрового потенциала перерабатывающих организаций АПК / Л. В. Пакуш, А. Г. Ефименко, Е. В. Волкова // Проблемы экономики. – 2025. – № 1 (40). – С. 74–82.
8. Пилипук, А. В. Социально-трудовые факторы и условия устойчивого роста деловой активности и предпринимательской инициативы в регионах Беларуси и России /

А. В. Пилипук, О. А. Пашкевич // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2021. – № 2. – С. 88–96.

9. Шафранский, И. Н. Формирование цены реализации мясной продукции с использованием экономико-математических моделей / И. Н. Шафранский, И. В. Шафранская // Проблемы экономики. – 2025. – № 1 (40). – С. 121–132.

10. Awad, A. I., Hassaballah, M. Machine Learning for Animal Identification: Current Status, Challenges, and Future Directions // *Animal Biometrics*. – 2023. – P. 15–42.

11. Banhazi, T. M., Lehr, H., Black, J. L. Precision Livestock Farming: An international review of scientific and commercial aspects // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. – 2012. – Vol. 5(3). – P. 1–9.

12. Bezen, R., Edan, Y., Halachmi, I. Computer vision in precision livestock farming: A review // *Annual Reviews in Control*. – 2020. – Vol. 50. – P. 1–12.

13. Bhole, A., Falzon, O., Azzopardi, M. Muzzle point pattern based cattle identification using computer vision // *Biosystems Engineering*. – 2022. – Vol. 215. – P. 1–15.

14. Chen, Z. Automated Agriculture Commodity Price Prediction System with Machine Learning Techniques / Z. Chen [et al.] // arXiv preprint arXiv:2106.12747. – 2021.

15. Gupta, K. A Review of Machine Learning Applications in Predicting Agricultural Commodity Prices / K. Gupta // 2024 16th International Conference on Knowledge and System Engineering (KSE). – IEEE, 2024. – С. 1–6.

16. Kamilaris, A., Prenafeta-Boldú, F. X. Deep learning in agriculture: A survey // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2018. – Vol. 147. – P. 70–90.

17. Kumar, S., Singh, S. K. Cattle recognition: A new frontier in visual animal biometrics // *Pattern Recognition Letters*. – 2020. – Vol. 138. – P. 65–72.

18. Minagawa, H., Ichikawa, M., Ito, K. Biometric identification of cattle using muzzle print patterns // *Journal of Agricultural Engineering Research*. – 2002. – Vol. 81(4). – P. 351–356.

19. Shojaeipour, A., Falzon, O. Automated muzzle print recognition for precision livestock farming // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2021. – Vol. 182. – P. 106031.

20. Smith, A. Automation's Impact on Agriculture: Opportunities, Challenges, and Economic Effects / A. Smith [et al.] // *Agriculture*. – 2024. – Vol. 14. – P. 320.