



Оценка стереокамер для цифрового мониторинга экстерьера коров

Сергей Сергеевич Юрочка,
 кандидат технических наук,
 старший научный сотрудник,
 e-mail: yssvim@yandex.ru;
Дмитрий Юрьевич Павкин,
 кандидат технических наук,
 старший научный сотрудник,
 e-mail: dimqaqa@mail.ru;

Артем Рустамович Хакимов,
 младший научный сотрудник,
 e-mail: arty.hv@gmail.com;
Павел Сергеевич Бердюгин,
 младший научный сотрудник,
 e-mail: bps71188@yandex.ru;
Савр Олегович Базаев,
 кандидат сельскохозяйственных наук,
 научный сотрудник,
 e-mail: sbazaeff@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-76-10041, <https://rscf.ru/project/23-76-10041/>

Реферат. Отметим значительный потенциал для внедрения цифровизации в животноводстве. К актуальным направлениям использования цифровых технологий относится замена ручного сбора данных о фенотипе животных, включая линейные показатели экстерьера. В вопросе создания бесконтактной системы цифрового мониторинга экстерьера крупного рогатого скота важным элементом являются камеры, обеспечивающие точное определение расстояния до объекта. Цифровая реконструкция морфометрии тела животных с помощью бесконтактного метода измерения и автоматическое определение размеров могут эффективно решить проблемы с неточностью и субъективностью бонитёров. *(Цель исследования)* Изучить возможность использования стереокамер для измерения расстояния до объектов с необходимой точностью, а также проанализировать работу системы стереозрения в разных участках кадра. *(Материалы и методы)* В исследовании использована стереопара из двух расположенных на плате объективов 1/3-Inch CMOS OV4689 на 4 мегапикселя на расстоянии 6,3 сантиметра друг от друга. Ориентиром достаточной точности измерения расстояния принималось достижение погрешности не более 1-2 процентов (1-2 сантиметра) от расстояния до объекта (0,5-1 метра). В качестве испытательного стенда использовался размеченный лист с шагом 25 сантиметров, а сами стереокамеры выполняли съемку стенда на расстоянии от 30 до 100 сантиметров с шагом 10 сантиметров. *(Результаты и обсуждение)* В двух этапах исследования применялись две конфигурации камер: одиночная стереокамера и единый блок из трех таких камер. Результаты съемки одиночной стереокамеры показали погрешность измерений 5-10 сантиметров на расстоянии 0,3-1 метра до объекта. Для блока из трех стереокамер точность оказалась аналогичной. Определили, что в центре кадра точность выше: средняя ошибка при близких к нулю углах зрения составила 3 сантиметра. *(Выводы)* Доказали отсутствие влияния количества стереопар на точности и то, что выявленная погрешность – это предел возможностей стереозрения для данных стереопар.

Ключевые слова: корова, экстерьер, бонитировка, цифровой мониторинг, стереокамера.

■ **Для цитирования:** Юрочка С.С., Павкин Д.Ю., Хакимов А.Р., Бердюгин П.С., Базаев С.О. Оценка стереокамер для цифрового мониторинга экстерьера коров // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №4. С. 34-40. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-34-40. EDN: IWEHUE.

Scientific article

Assessing Stereo Camera Applicability for Digital Monitoring of Cattle Exterior

Sergey S. Yurochka,
 Ph.D.(Eng.), senior researcher,
 e-mail: yssvim@yandex.ru;
Dmitry Yu. Pavkin,
 Ph.D.(Eng.), senior researcher,
 e-mail: dimqaqa@mail.ru;

Artem R. Khakimov,
 junior researcher, e-mail: arty.hv@gmail.com;
Pavel S. Berdyugin,
 junior researcher, e-mail: bps71188@yandex.ru;
Savr O. Bazaev,
 Ph.D.(Agri), researcher, e-mail: sbazaeff@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation № 23-76-10041, <https://rscf.ru/en/project/23-76-10041/>

Abstract. The paper highlights the substantial potential for digitalization in animal husbandry. Current applications of digital technologies include replacing manual data collection on animal phenotypes, particularly linear measurements of physical traits. In creating a contactless digital monitoring system for cattle exterior traits, cameras play a crucial role, as they enable accurate distance measurement to the object. Digital reconstruction of animal body morphometry using a contactless measurement method and automated size determination can effectively address the issues with inaccuracy and subjectivity associated with traditional scoring methods. (*Research purpose*) The study aims to explore the feasibility of using stereo cameras to measure object distances with the required accuracy and to analyze the performance of the stereo vision system across different areas of the frame. (*Materials and methods*) The study used a stereo pair of two 1/3-Inch CMOS OV4689 4-megapixel lenses mounted on the board, spaced at 6.3 centimeters from each other. Accurate distance measurement was considered achieved when the error remained within 1-2 percent (1-2 centimeters) of the object's distance (0.5-1 meter). A marked sheet with 25 centimeter intervals served as a test stand, and the stereo cameras captured the stand from distances of 30 to 100 centimeters, with a 10 centimeter increments. (*Results and discussion*) The study employed two camera configurations over two stages: a single stereo camera and a block of three cameras. Filming results with the single stereo camera showed a measurement error of 5-10 centimeters at distances ranging from 0.3 to 1 meter from the object. For the three-camera block, the accuracy remained comparable. It was found that accuracy was higher at the center of the frame, with an average error of 3 centimeters at viewing angles near zero. (*Conclusions*) The study confirmed that the number of stereo pairs does not impact accuracy, and the observed error represents the accuracy limit for these stereo pairs in stereo vision applications.

Keywords: cow, exterior, grading, digital monitoring, stereo camera.

■ **For citation:** Yurochka S.S., Pavkin D.Yu., Khakimov A.R., Berdyugin P.S., Bazaev S.O. Assessing stereo camera applicability for digital monitoring of cattle exterior. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N4. 34-40 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-18-4-34-40. EDN: IWEHUE.

Использование цифровых и интеллектуальных технологий позволяет достичь высоких показателей товарного производства и улучшений в части содержания сельскохозяйственных животных [1]. Условием реализации значительного потенциала развития сельского хозяйства в России является повышение эффективности путем создания и внедрения средств автоматизации, роботизации, цифровых технологий и искусственного интеллекта [2]. Применяемые сегодня в аграрном секторе средства производства безнадежно устарели, более 50% из них находятся за пределами сроков амортизации, и эта ситуация требует обновления типов машин и оборудования [3, 4]. Не менее острая проблема в молочном скотоводстве связана с дефицитом кадров рабочих и специалистов, решить которую поможет цифровизация [5].

Приоритетами становятся создание систем мониторинга и оптимизации в области селекции и генетики животных, управления, планирования и прогнозирования. Для развития мясного и молочного животноводства необходимо повышение производительности [6]. Экстерьер относится к важным элементам общей оценки скота по комплексу признаков, поскольку связан с продуктивными и репродуктивными качествами крупного рогатого скота [7].

Сбор данных о фенотипе животных, в том числе о линейных показателях экстерьера, преимущественно проводится при обмере туловища. Оценка экстерьера с последующей обработкой информации, ее анализом и прогнозированием – долгий и сложный процесс, который часто нарушается из-за человеческого фактора [8, 9]. Традиционные методы бонитировки основаны на визуальном осмотре и ручных промеров при непосредственном контакте специалиста с животным [10]. Глазомерная и визуальная оценка экстерьера животных проводится с использованием мерной ленты и мерной палки. Точность таких методов субъективна и требует многочисленных повторений [11]. Решением проблемы служит создание интеллектуальной системы бесконтактной цифровой оценки экстерьера крупного рогатого скота с помощью видеокамер.

Использование систем видеонаблюдения открывает широкие возможности сбора и накопления информации о животном: его идентификации, местоположении, биофизиологических особенностях, хронологии жизненного цикла, а также позволяет контролировать работу персонала фермы, оценивать прием и поедание корма, приращение объема и массы, следить за моционом и поведением, проводить бонитировку, диагностику заболеваний, другие ветеринарные и профилактические мероприятия.

тия [12]. Интеграция и интерпретация сенсорной информации позволяет управлять животными благодаря мониторингу в реальном времени состояния здоровья, поведения, продуктивности, воспроизводства, воздействия на окружающую среду [13].

Бесконтактные датчики могут работать непрерывно без участия оператора, и обычно считается, что они способны с высокой точностью количественно оценивать поведение животного в рамках заранее определенного процесса, который существенно не меняется [14]. Но сами бесконтактные датчики – это лишь средство получения изображения, а для проведения цифровой бонитировки необходимы обученные нейросети.

Подходы глубокого обучения для нейросетей интенсивно развиваются, позволяя добиться точности и скорости обнаружения объектов в реальном времени, но для обучения нейросетей цифровой бонитировке животных нужны большие массивы данных [15]. Главной целью исследований в этой области ставится повышение точности обнаружения объектов на изображении, а также обеспечение быстрой работы алгоритмов в реальном времени [16].

К сожалению, фермерские и другие коммерческие организации редко публикуют такую информацию в открытом доступе [17]. В реальных условиях важные показатели параметров тела животных часто недостаточно измеряются, что отражается на организации процессов разведения, откорма и в целом на успехе точного животноводства. Цифровая реконструкция морфометрии тела с помощью бесконтактного метода измерения (2D- или 3D-изображения) и автоматическое определение размеров тела помогают эффективно преодолеть эти проблемы [18].

Достижение погрешности измерения расстояния должно составлять не более 1-2% от расстояния до объекта (1 см на расстоянии 0,5-1 м).

Цель исследования – изучить возможность использования стереокамер для измерения расстояния до объектов с необходимой точностью.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследование включало два этапа оценки точности стереозрения: с помощью одиночных и набора из трех стереокамер. Среди прочего ставилась цель выяснить, дает ли увеличение количества камер более высокую точность измерения расстояния до объекта. В исследовании применялись одинаковые объективы и проводились сравнения на одном и том же стенде.

Камеры. В эксперименте использовалась стереопара из расположенных на плате двух объективов 1/3-Inch CMOS OV4689 (4Мп) на расстоянии 6,3 см друг от друга. На втором этапе в целях повышения точности измерений устанавливали одновременно три такие стереопары (рис. 1).

Каждая стереокамера выводит одновременно два изображения с заранее известным смещением

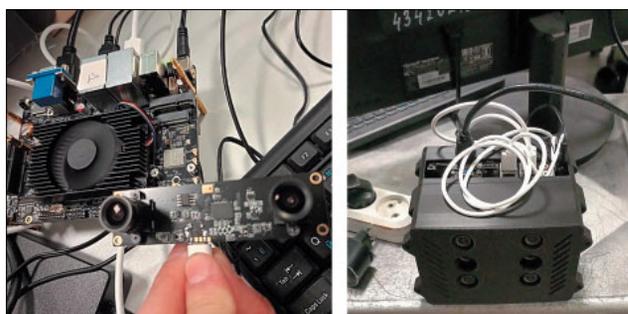


Рис. 1. Одиночная стереокамера (а) и корпус с тремя стереопарами (б) с одноплатным компьютером
Fig. 1. A single stereocamera (a) and a case with three stereo pairs (b) with a single-board computer

(рис. 2). Был выполнен анализ работы стереозрения в разных участках кадра.

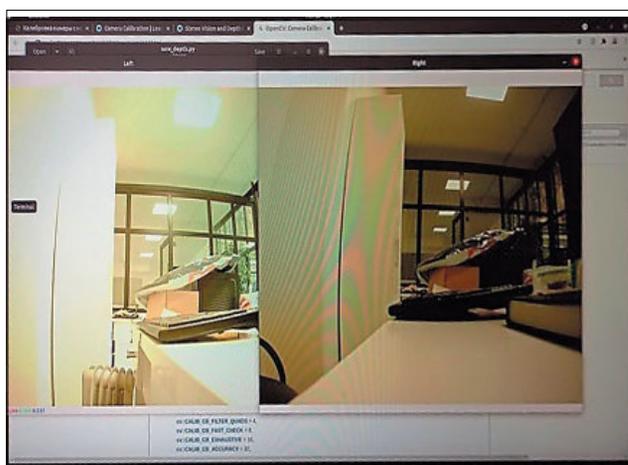


Рис. 2. Пример изображения, получаемого каждым объективом стереокамеры
Fig. 2. Example of an image captured by each lens of the stereo camera

Программное обеспечение. Реализован код на Python с использованием библиотеки OpenCV, производящий калибровку камер и после этого вычисляющий по снимкам объекта (по одному снимку каждой камерой) расстояние до них. Объект предполагается находить на снимках с помощью нейросети.

Испытательный стенд. На лист фанеры были нанесены отметки, образующие сеть с шагом 25 см, а камеры выполняли съемку стенда на расстоянии от 30 до 100 см с интервалом 10 см (рис. 3). Ставилась задача вычисления пространственных координат отметок на стенде.

Калибровка. В качестве шаблона для калибровки одиночной стереокамеры использовалось распечатанное на принтере изображение черно-белой шахматной доски 10×10 клеток со стороной 1 см, приклеенное на ровную деревянную поверхность. Было сделано 50 снимков шаблона в различных ра-



Рис. 3. Съемка стенда стереокамерами. Черные точки на стенде – отметки, координаты которых необходимо найти (выделены кружками)

Fig. 3. Imaging of the stand using stereo cameras. The black dots on the stand are marks whose coordinates need to be determined (highlighted with circles)

курсах на расстоянии до 0,5 м таким образом, что доска занимала большую часть кадра. Аналогично в опытах с тремя стереопарами было сделано по 100 снимков шаблона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. На первом этапе изучали точность определения стереокамерой координат по трем осям x , y , z . Для визуальной оценки погрешность определения координат в зависимости от угла зрения представлена разноцветными точками: синие точки – ошибка до 10 см, оранжевые – от 10 до 20 см, зеленые – от 20 до 30 см, красные – от 30 до 40 см, фиолетовые – от 40 до 50 см, коричневые – от 50 до 60 см. Точность определения z -координаты представлена на *рисунке 4*, на осях графика – углы зрения по обеим координатам в градусах.

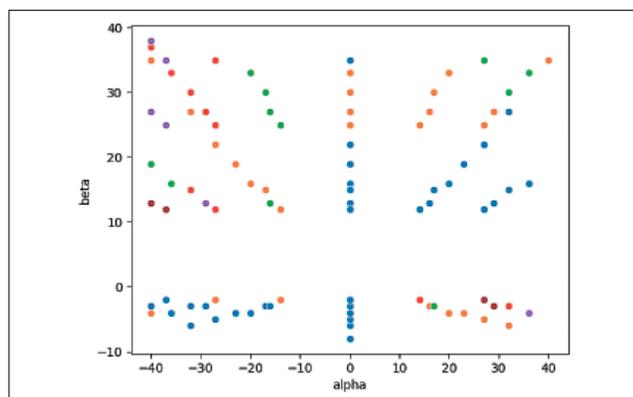


Рис. 4. Точность определения z -координаты в зависимости от угла зрения

Fig. 4. Accuracy of determining z -coordinate depending on the viewing angle

Видно, что стереозрение дает очень плохой и хаотичный результат в правом нижнем углу. Вероятно, это связано с дефектами недорогой оптики объективов стереопары, вследствие чего при калибровке не удалось полностью исправить кривизну кадра в данной области. В остальных частях снимка точность плавно снижается при удалении от центра кадра, причем видна четкая взаимосвязь между углами зрения и точностью. В связи с этим корректировку проводили по углам зрения. Следует отметить, что на практике настоящие углы зрения будут неизвестны, и можно опираться только на данные, которые предоставляет стереозрение. В данном исследовании оказалось, что расхождение между измеренными и фактическими углами зрения невелико и очень хорошо поддается линейной корректировке (*рис. 5*).

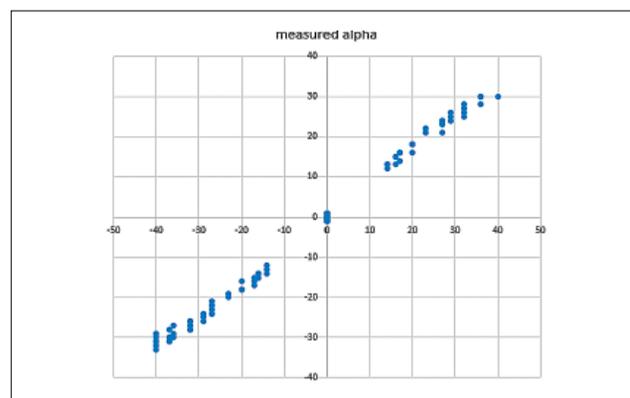


Рис. 5. Корректировка значений

Fig. 5. Value adjustment

Следующий шаг после корректировки углов зрения – выбор координаты, которая измеряется точнее всего, с целью ее линейной корректировки для достижения максимально точного результата. Далее по ней, используя полученные ранее углы зрения, можно восстановить две остальные координаты.

Оказалось, что наиболее точно стереозрение дает y -координату; ошибка по ней фактически представляла собой просто сдвиг на 5 см. После линейной корректировки средняя ошибка по y -координате составила 1,5 см. Теперь можно восстановить x и z -координаты. Несмотря на плохое качество изображения правого нижнего угла кадра (*рис. 6*), точность очень существенно повысилась. Синие точки – ошибка до 10 см, оранжевые – от 10 до 20 см, зеленые – от 20 до 30 см, красные – от 30 до 40 см.

Средняя ошибка составила 7 см, разброс 5 см. Таким образом, проводя измерение с учетом корректировки, можно рассчитывать, что ошибка будет в пределах 5-10 см. Отмечено, что в центре кадра точность выше: средняя ошибка при близких к нулю углах зрения составила 3 см, и ошибка по координате x составила 3 см.

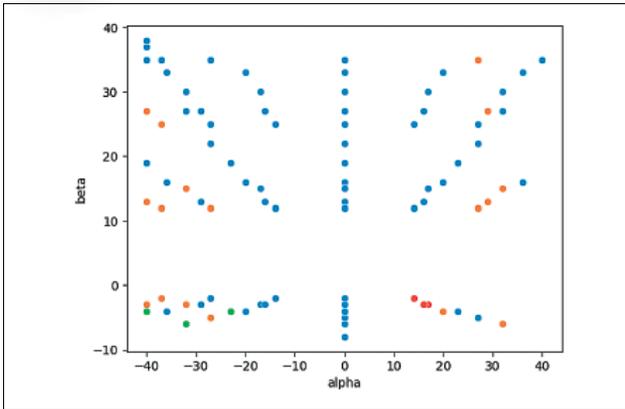


Рис. 6. Точность определения z -координаты в зависимости от угла зрения после корректировки
 Fig. 6. Accuracy of determining z -coordinate depending on the viewing angle after correction

На основании испытаний одиночной стереокамеры можно сделать вывод, что данная реализация стереозрения после корректировки на большей части кадра может обеспечивать точность измерений 5-10 см на расстоянии 0,3-1 м до объекта, т.е. ниже, чем у *TOF*-камеры (1-2 см). Возможно, результат улучшится, если установить более качественные объективы с качественной оптикой, но из-за существенного повышения стоимости использовать такое оборудование будет экономически нецелесообразным по сравнению с *TOF*-камерой.

В качестве альтернативы для дальнейшего увеличения точности был проверен вариант дублирования стереопар. Предполагалось, что одновременное получение изображения с трех стереопар, идентичных используемой на первом этапе исследования, может улучшить точность измерений до 1-2 см и при этом реализуемо на одном однопланном компьютере.

На втором этапе эксперимента выявлены области кадра с существенно более высокой ошибкой, чем в соседних областях, и/или с не поддающимися интерпретации результатами измерений. Данное явление могло быть вызвано дисторсиями бюджетной оптики объективов. Измерения в этих областях были исключены из дальнейшего исследования как непригодные для обработки и корректировки. Пример крайне высокой ошибки представлен на *рисунке 7*.

Результаты показали более высокую точность определения координат x и y , но меньшую точность в отношении координаты z . Как и на предыдущем этапе, за основу корректировки были выбраны углы зрения. После этого проводилась корректировка координаты y ; исходя из ее результатов и откорректированных углов зрения вычислялись координаты x и z . В координате z (четко зависевшей от углов зрения) была выявлена систематическая ошибка и ис-

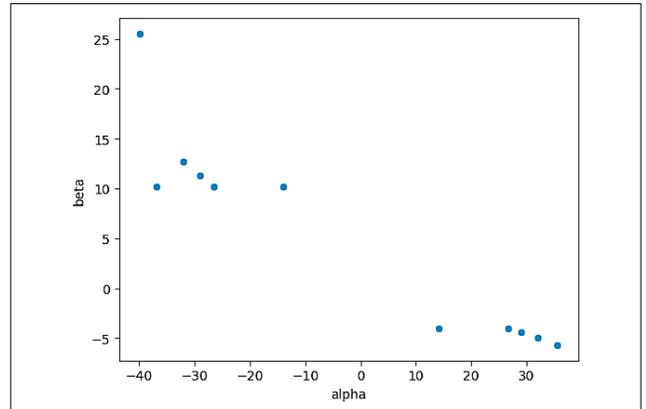


Рис. 7. Области кадра с крайне высокой ошибкой
 Fig. 7. Areas of the frame with extremely high error

правлена с помощью дополнительной корректировки.

Итоговая корректировка была усреднена по всем трем стереопарам для повышения точности. Результат представлен на *рисунке 8*. Синие точки – ошибка до 4 см, оранжевые – от 4 до 8 см, зеленые – от 8 до 12, красные – от 12 до 16, фиолетовые – более 16 см. Область кадра с высокой ошибкой исключена.

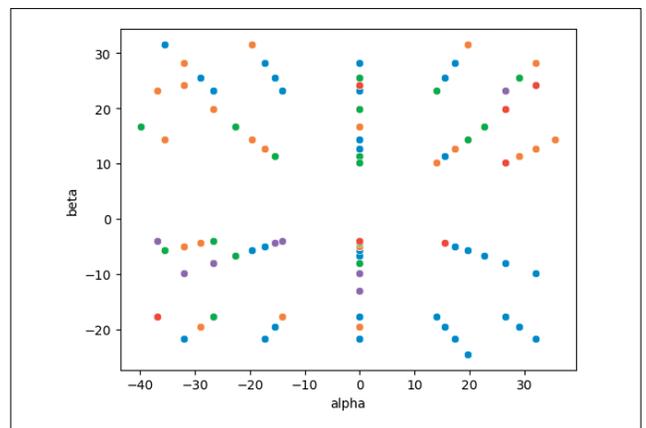


Рис. 8. Точность определения z -координаты в зависимости от угла зрения после корректировки
 Fig. 8. Accuracy of determining z -coordinate depending on the viewing angle after correction

Оценив итоговые результаты, мы пришли к выводу, что если до дополнительной корректировки прослеживалась четкая зависимость точности от расстояния до центра кадра, то после нее точки с различной достоверностью имеются во всех частях кадра, и дальнейшая корректировка будет малоэффективной.

Средняя ошибка составила 7 см, разброс 5 см. Таким образом, проводя измерение, с учетом корректировки можно рассчитывать, что ошибка будет в пределах 5-10 см.

Выводы. По результатам двух этапов исследования определено, что существующая ошибка 5-10 см на 1 м расстояния практически одинакова для

одиночных и строенных стереокамер. Можно сделать вывод, что данная точность – это предел возможностей стереозрения выбранного для эксперимента оборудования. Возможно улучшение результата в случае более качественных объективов с качественной оптикой, но данное требование серьезно повышает стоимость оборудования, делая

его использование экономически нецелесообразным по сравнению с *TOF*-камерой.

Таким образом, использование стереозрения в задачах, требующих точности измерений 1-2 см на расстоянии 1 м, представляется нецелесообразным. Однако если выявленная погрешность допустима, такое решение будет дешевле по сравнению с *TOF*-камерой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N2. С. 4-13. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13.
2. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N4. С. 6-10. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.
3. Кирсанов В.В., Владимиров Ф.Е., Павкин Д.Ю. и др. Сравнительный анализ и подбор систем мониторинга здоровья КРС // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2019. N1(33). 27-31. EDN: ZAIQZN.
4. Anderson D.M., Estell R.E., Cibils A.F. Spatiotemporal cattle data – a plea for protocol standardization. *Positioning*. 2013. N4. 115-136. DOI: 10.4236/pos.2013.41012.
5. Дорохов А.С., Кирсанов В.В., Владимиров Ф.Е. и др. Температура и уровень pH рубца КРС как показатели вероятности репродуктивного успеха // *Вестник НГИЭИ*. 2019. N6(97). С. 117-126. EDN: IURGBX.
6. Alem H. The role of technical efficiency achieving sustainable development: A dynamic analysis of Norwegian dairy farms. *Sustainability*. 2021. N13(4). 1841. DOI: 10.3390/su13041841.
7. Батанов С.Д., Баранова И.А., Старостина О.С. Модель прогнозирования молочной продуктивности коров по их экстерьерным особенностям // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2019. N1 (49). С. 55-62. DOI: 10.31563/1684-7628-2019-49-1-55-62.
8. Харченко А.В., Фейзуллаев Ф.Р., Лепёхина Т.В. Экстерьерные особенности казахской белоголовой породы крупного рогатого скота // *Инновационная наука*. 2022. N6(1). С. 62-64. EDN: HCHSJB.
9. Чиндалиев А.Е., Калимолдинова А.С., Алипов А.У., Баймуканов А.Д. Использование линейной оценки экстерьера коров // *Главный зоотехник*. 2019. N8. С. 32-38. EDN: HUCFXA.
10. Ситдиков Ф.Ф., Цой Ю.А., Зиганшин Б.Г. Основные направления и проблемы цифровизации агропромышленного комплекса // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 14. N3. С. 112-115. DOI: 10.12737/article_5db97473887137.67106533.
11. Shi Ch., Zhang J., Teng G. Mobile measuring system based on LabVIEW for pigbody components estimation in a large-scale farm. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. N156. 399-405. DOI: 10.1016/j.compag.2018.11.042.
12. Королев В.А., Башилов А.М. Видеоцифровое системно-метрическое управление агротехнологическими процессами // *Вестник аграрной науки Дона*. 2019. N4(48). С. 68-75. EDN: VSYVCN.
13. Buller H., Blokhuis H., Lokhorst K. et al. Animal welfare management in a digital world. *Animals*. 2020. N10. 1779. DOI: 10.3390/ani10101779.
14. Xue T., Qiao Y., Kong H. et al. One-shot learning-based animal video segmentation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2021. Vol. 18. N6. 3799-3807. DOI: 10.1109/TII.2021.3117020.
15. Власенкова Т.А., Козырева Ю.Ю. Цифровизация как основа эффективного ведения сельского хозяйства // *Менеджмент в АПК*. 2021. N2. С. 11-16. DOI: 10.35244/2782-3776-2021-1-2-11-16.
16. Zhengxia Z., Zhenwei S., Yuhong G., Jieping Y. Object detection in 20 years: a survey. *Computer Vision and Pattern Recognition*. 2019. 1905.05055v2. DOI: 10.48550/arXiv.1905.05055.
17. Jones J.W., Antle J.M., Basso B. et al. Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. *Agricultural Systems*. 2017. N155. 269-288. DOI: 10.1016/j.agsy.2016.09.021.
18. Qiao Y., Kong H., Clark C. et al. Intelligent perception-based cattle lameness detection and behaviour recognition: a review. *Animals*. 2021. N11. 3033. DOI: 10.3390/ani11113033.

REFERENCES

1. Tsench Yu.S. Scientific and technological potential as the main factor for agricultural mechanization development. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Т. 16. N2. С. 4-13 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13.
2. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021. Т. 15. N4. С. 6-10 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.
3. Kirsanov V.V., Vladimirov F.E., Pavkin D. Yu. et al. The cattle health monitoring systems' comparative analysis and selection. *Journal of VNIIMZH*. 2019. N1(33). 27-31 (In Russian). EDN: ZAIQZN.

4. Anderson D.M., Estell R.E., Cibils A.F. Spatiotemporal cattle data — a plea for protocol standardization. *Positioning*. 2013. N4. 115–136. (In English). DOI: 10.4236/pos.2013.41012.
5. Dorokhov A.S., Kirsanov V.V., Vladimirov F.E. et al. Temperature and pH level of the rumen as indicators of the probability of reproductive success. *Bulletin NGIEI*. 2019. N6 (97). 117–126 (In Russian). EDN: IURGBX.
6. Alem H. The role of technical efficiency achieving sustainable development: A dynamican analysis of Norwegian dairy farms. *Sustainability*. 2021/ N13(4):1841 (In English). DOI: 10.3390/su13041841.
7. Batanov S., Baranova I., Starostina O. Prediction model for milk production of cows by their exterior features. *Vestnik BSAU*. 2019. N1. 55–62 (In Russian). DOI: 10.31563/1684-7628-2019-49-1-55-62.
8. Kharchenko A.V., Feyzullaev F.R., Lepekhina T.V. The exterior features of the Kazakh white-headed cattle. *Innovation science*. 2022. N6(1). 62–64 (In Russian). EDN: HCHSJB.
9. Chindaliev A.E., Kalimoldinova A.S., Alipov A.U., Baimukanov A.D. The use of linear evaluation of body conformation of cows. *Head of Animal Breeding*. 2019. N8. 32–38 (In Russian). EDN: HYCFXA.
10. Sitdikov F.F., Tsoy Yu.A., Ziganshin B.G. Main directions and problems of digitalization of agricultural complex. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2019. Vol. 14. N3(54). 112–115 (In Russian). DOI: 10.12737/article5db97473887137.67106533.
11. Shi Ch., Zhang J., Teng G. Mobile measuring system based on LabVIEW for pig body components estimation in a large-scale farm. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. N156. 399–405 (In English). DOI: 10.1016/j.compag.2018.11.042.
12. Korolev V.A., Bashilov A.M. Video-digital system-metric management of agrotechnological processes. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2019. N4(48). 68–75 (In Russian). EDN: VSYVCN.
13. Buller H., Blokhuis H., Lokhorst K. et al. Animal welfare management in a digital world. *Animals*. 2020. N10. 1779 (In English). DOI: 10.3390/ani10101779.
14. Xue T., Qiao Y., Kong H. et al. One-shot learning-based animal video segmentation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2021. Vol. 18. N6. 3799–3807 (In English). DOI: 10.1109/TII.2021.3117020.
15. Vlasenkova T.A., Kozyreva Yu.Yu. Digitalization as a basis for efficient agriculture. *Management in Agriculture*. 2021. N2. 11–16. (In Russian). DOI: 10.35244/2782-3776-2021-1-2-11-16.
16. Zhengxia Z., Zhenwei S., Yuhong G., Jieping Y. Object detection in 20 years: a survey. *Computer Vision and Pattern Recognition*. 2019. 1905.05055v2. (In English). DOI: 0.48550/arXiv.1905.05055.
17. Jones J.W., Antle J.M., Basso B. et al. Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. *Agricultural Systems*. 2017. 155. 269–288 (In English). DOI: 10.1016/j.agry.2016.09.021.
18. Qiao Y., Kong H., Clark C. et al. Intelligent perception-based cattle lameness detection and behaviour recognition: a review. *Animals*. 2021. N11. 3033 (In English). DOI: 10.3390/ani11113033.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Юрочка С.С. – формулирование основных направлений исследования, проведение экспериментального исследования, формирование текста;
 Павкин Д.Ю. – научное консультирование, формирование текста;
 Хакимов А.Р. – литературный анализ, обработка результатов исследования, формирование текста;
 Бердюгин П.С. – проведение экспериментального исследования, формирование текста;
 Базаев С.О. – обработка результатов исследования, доработка текста.

Авторы одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Yurochka S.S. – formulation of main research directions, experimental research, manuscript drafting;
 Pavkin D.Yu. – scientific consulting, manuscript drafting;
 Khakimov A.R. – literature review, research data, manuscript drafting;
 Berdyugin P.S. – experimental research, manuscript drafting;
 Bazaev S.O. – data processing, manuscript revision.
The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
 Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
 The paper was accepted for publication on

28.09.2024
 30.10.2024