

УДК 631.171

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-393-04-145-152

С.С. Юрочка ✉

Д.Ю. Павкин

А.Р. Хакимов

П.С. Бердюгин

С.О. Базаев

Ф.Е. Владимиров

Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ, Москва
Россия

✉ yssvim@yandex.ru

Поступила в редакцию: 28.01.2025

Одобрена после рецензирования: 13.03.2025

Принята к публикации: 27.03.2025

© Юрочка С.С., Павкин Д.Ю., Хакимов А.Р.,
Бердюгин П.С., Базаев С.О., Владимиров Ф.Е.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-393-04-145-152

Sergey S. Yurochka ✉

Dmitry Yu. Pavkin

Artyom R. Khakimov

Pavel S. Berdyugin

Savr O. Bazaev

Fyodor E. Vladimirov

Federal Scientific Agroengineering
Center VIM, Moscow, Russia

✉ yssvim@yandex.ru

Received by the editorial office: 28.01.2025

Accepted in revised: 13.03.2025

Accepted for publication: 27.03.2025

© Yurochka S.S., Pavkin D.Yu., Khakimov A.R.,
Berdyugin S.P., Bazaev S.O., Vladimirov F.E.

Оценка применимости трехмерных временнoлетных камер для цифрового мониторинга экстерьера коров

РЕЗЮМЕ

В настоящее время процесс сбора линейных параметров экстерьера коров в основном проводится в ручном режиме, что является трудоемким, сложным и зависимым от навыков ветеринара процессом. Для быстрой и точной бонитировки предлагается разработка интеллектуальной системы бесконтактной цифровой оценки экстерьера крупного рогатого скота, основанной на применении видеокамер и современных технологий анализа изображений. Такой мониторинг позволит проводить диагностику заболеваний и выявлять их на ранней стадии.

Цели исследования — проведение сравнения двух таких камер и определение их применимости в разрабатываемой системе.

Использовались лабораторный стенд с большим числом объектов на заранее известном расстоянии от камер, специально разработанное программное обеспечение для обработки результатов и построения линейной регрессии, связывающей реальное расстояние с измеренным. Была разработана специальная корректировка для уменьшения погрешности камер. В результате определили, что обе камеры такого типа имеют среднюю погрешность ± 5 мм при измерении объектов на расстоянии от 382 до 671 мм, получая снимки с апертурой до $60 \times 45^\circ$ и разрешением до 480×480 пикселей. Был сделан вывод, что погрешность обеих камер является допустимой для оснащения разрабатываемой системы, не превышая 2% на 1 м.

Ключевые слова: корова, экстерьер, бонитировка, цифровой мониторинг, селекция, трехмерная временнoлетная камера

Для цитирования: Юрочка С.С., Павкин Д.Ю., Хакимов А.Р., Бердюгин П.С., Базаев С.О., Владимиров Ф.Е. Оценка применимости трехмерных временнoлетных камер для цифрового мониторинга экстерьера коров. *Аграрная наука*. 2025; 393(04): 145–152. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-145-152>

Assessing the applicability of 3D time-of-flight cameras for digital monitoring of cow exterior

ABSTRACT

Currently, the process of collecting linear parameters of cow exterior is mainly carried out manually, which is a labor-intensive, complex process that depends on the skills of a veterinarian. For fast and accurate grading, it is proposed to develop an intelligent system for contactless digital assessment of the exterior of cattle based on the use of video cameras and modern image analysis technologies. Such monitoring will also allow for the diagnosis of diseases and their early detection.

The purpose of the study is to compare two such cameras and determine their applicability in the system being developed.

We used a laboratory stand with a large number of objects at a predetermined distance from the cameras, specially developed software for processing the results and constructing a linear regression linking the real distance with the measured one. A special adjustment has been developed to reduce the camera error. As a result, it was determined that both cameras of this type have an average error of ± 5 mm when measuring objects at a distance of 382 to 671 mm, taking images with an aperture of up to $60 \times 45^\circ$ and a resolution of up to 480×480 pixels. It was concluded that the error of both cameras is acceptable for equipping the system under development, not exceeding 2% per 1 m.

Key words: cow, exterior, grading, digital monitoring, 3D time-of-flight camera

For citation: Yurochka S.S., Pavkin D.Yu., Khakimov A.R., Berdyugin S.P., Bazaev S.O., Vladimirov F.E. Assessing the applicability of 3D time-of-flight cameras for digital monitoring of cow exterior. *Agrarian science*. 2025; 393(04): 145–152 (in Russian).. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-145-152>

Введение/Introduction

Использование цифровых интеллектуальных технологий позволит достичь высоких показателей товарного производства и улучшений в части содержания сельскохозяйственных животных [1]. В России существует значительный потенциал развития сельского хозяйства, но реализовать его можно при условии повышения эффективности производства путем создания и внедрения средств автоматизации, роботизации, цифровых технологий и искусственного интеллекта [2].

Сельскохозяйственное оборудование и техника устарели, более 50% находятся за пределами сроков амортизации и это обуславливает необходимость обновления парка оборудования и машин [3, 4]. Для исправления ситуации в России ведутся научные исследования в тематике создания систем цифровизации молочного и мясного животноводства [5].

Приоритетными направлениями в современной селекции и генетике животных становятся разработка и внедрение систем мониторинга и оптимизации, а также совершенствование методов управления, планирования и прогнозирования в животноводстве. В условиях современных требований к мясному и молочному животноводству особое внимание уделяется повышению продуктивности отрасли [6]. Один из ключевых аспектов в данном контексте — оценка экстерьерных характеристик животных, поскольку они напрямую коррелируют с их продуктивными и репродуктивными качествами [7].

Сбор данных, включая линейные параметры экстерьера, традиционно осуществляется посредством ручного измерения параметров туловища животных. Однако этот процесс, включающий последующую обработку полученных данных, аналитику и прогнозирование, характеризуется значительной трудоемкостью и сложностью, а также подвержен влиянию человеческого фактора [8, 9].

Классические методы бонитировки основываются на визуальном осмотре и ручных измерениях, требующих непосредственного контакта специалиста с животным [10]. При этом оценка экстерьера, проводимая с использованием мерной ленты и палки, отличается высокой степенью субъективности и требует многократного повторения для достижения приемлемой точности [11]. В качестве инновационного решения данной проблемы предлагается разработка интеллектуальной системы бесконтактной цифровой оценки экстерьера крупного рогатого скота, основанной на применении видеокамер и современных технологий анализа изображений.

Применение систем видеонаблюдения дает ученым и инженерам значительные возможности для сбора и аккумуляции данных о животных, включая их идентификацию, местоположение, биофизиологические особенности, а также хронологию жизненного цикла. Кроме того, такие системы позволяют осуществлять контроль за

деятельностью персонала фермы, оценивать процессы потребления корма животными, динамику роста объемов и массы тела, отслеживать двигательную активность и поведенческие паттерны животных. На их основе возможно проведение бонитировки, диагностики заболеваний, ветеринарных и профилактических мероприятий [12].

Интеграция и анализ данных обеспечивают возможность управления животноводческими процессами за счет мониторинга в режиме реального времени таких параметров, как состояние здоровья, поведенческие реакции, уровень продуктивности, репродуктивные функции и воздействие 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 бесконтактные датчики — это лишь средство для 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].

Главные цели данных исследований — 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]. Получение трехмерных изображений животных может быть наиболее информативным способом получения линейных параметров животного. 3D-TOF-камеры, или время-пролетные трехмерные камеры, являются одним из наиболее популярных и наиболее точных инструментов для создания трехмерных снимков.

TOF-камера представляет собой комбинацию из излучающих инфракрасных светодиодов (обычно используется длина волны 800–1000 нм) и обычной камеры с матрицей, достаточно чувствительной к инфракрасному излучению. При осуществлении съемки для каждой точки изображения проводят измерение времени между испусканием импульса светодиодом и регистрацией этого импульса матрицей камеры. Расстояние до

объекта прямо пропорционально этому времени, как показано на рисунке 1.

Достижение погрешности измерения расстояния должно составлять не более 2% от расстояния до объекта (погрешность в 2 мм на каждые 1000 мм расстояния).

Объектом исследования является корова, находящаяся в загоне, бонитировочном станке либо другой ограничивающей ее перемещение системе, позволяющей проводить оценку экстерьера бесконтактным способом. В такой системе используется несколько камер, непрерывно фотографирующих животных с заранее заданных ракурсов, визуализируя их как двухмерное изображение либо облако точек.

Рис. 2. Автоматическая система оценки экстерьера крупного рогатого скота: 1 — автоматическая система оценки экстерьера крупного рогатого скота, установленная в лаборатории; 2–3 — пример данных, получаемых с использованием цифровых камер (вид сверху и вид сбоку); 4–5 — пример данных (облако точек), получаемых с использованием трехмерных камер вид (сверху и вид сбоку). Все изображения сделаны авторами

Fig. 2. Automatic cattle exterior assessment system: 1 — automatic cattle exterior assessment system installed in the laboratory; 2–3 — example of data obtained using digital cameras (top view and side view); 4–5 — example of data (point cloud) obtained using three-dimensional cameras (top and side view). All images are made by the authors

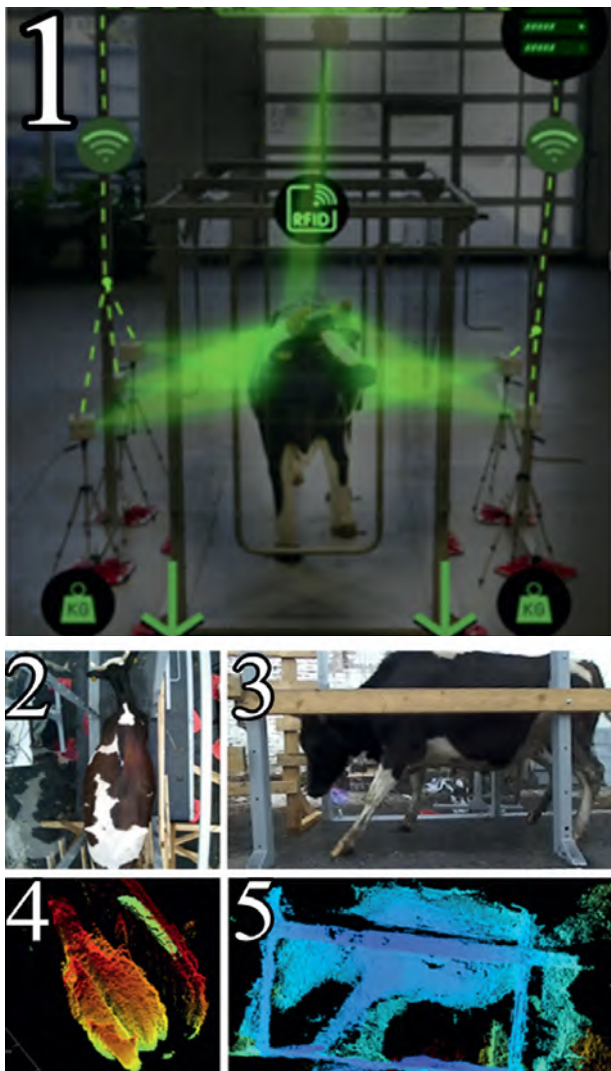
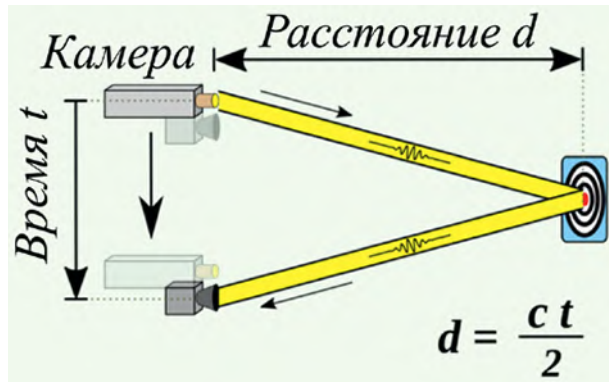


Рис. 1. Принцип действия TOF-камеры: c — скорость света, d — расстояние, t — время пролета

Fig. 1. Operating principle of a TOF camera: c is the speed of light, d is the distance, t is the time of flight



От того, насколько качественные снимки и как точно определяется расстояние до каждой части тела животного, зависит общая точность системы цифрового мониторинга экстерьера. На рисунке 2 представлены примеры такой съемки.

Цель исследования — изучить возможность использования трехмерных времяпролетных камер для цифрового мониторинга экстерьера коров, осуществляя измерение расстояния до объекта с необходимой точностью.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Лабораторные испытания проводили в январе — марте 2024 года в Агроинженерном центре ВИМ.

Исследование включало оценку точности трехмерных времяпролетных камер с использованием лабораторного стенда, включающего несколько объектов на различном расстоянии от камеры.

Для исследования был оборудован стенд с кронштейном для камеры и пазами для установки фотографируемых объектов на разном расстоянии и в разных частях кадра, как представлено на рисунке 3.

Рис. 3. Лабораторный стенд с установленной камерой: 1 — поле калибрующих объектов размером 8 x 8 элементов, 2 — камера, 3 — кронштейн

Fig. 3. Laboratory stand with installed camera: 1 — field of calibrating objects with size 8 x 8, 2 — camera, 3 — bracket

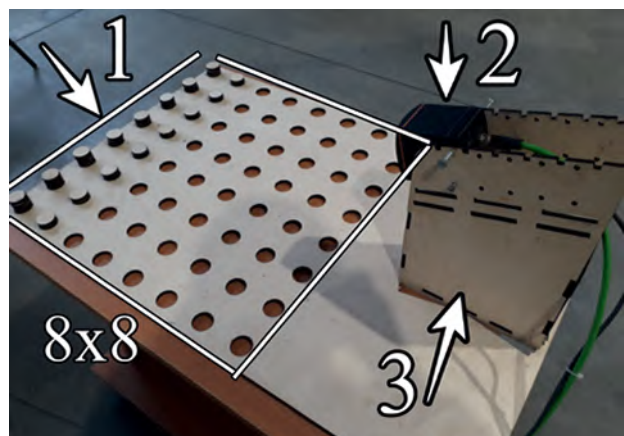
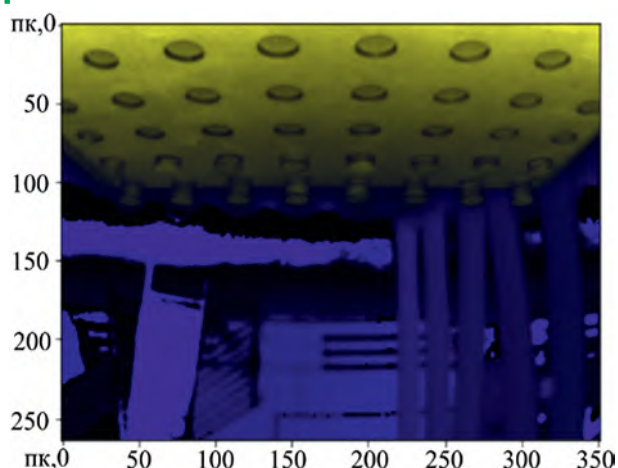


Рис. 4. Пример съемки стенда TOF-камерой. Изображения сделаны авторами

Fig. 4. Example of photography of the stand with a TOF camera. Images are made by the authors



Расстояние от кронштейна до объектов было заранее измерено (с точностью до 1 мм) лазерным дальномером SW-M50 (SNDWAY, Китай). Фотографируемые объекты в процессе съемок находились на различном расстоянии, в различных частях кадра и в различных внешних условиях (изменялись освещение, задний фон и т. д.). Результаты, выдаваемые камерой, сравнивались с фактическими расстояниями.

Были использованы две трехмерные время-пролетные камеры — O3D303 (IFM, Германия) и M5 3D TOF RGB (Rakinda, Китай). Для камеры M5 по причине отсутствия заводского корпуса были проведены измерения без корпуса и с корпусом (съемка через светопрозрачное стекло с коэффициентом пропускания на данной длине волны не менее 95%, согласно рекомендациям производителя камеры — фирмы Rakinda).

При выборе камер, использованных в исследовании, конструкция камер не имела значения. Выбор опирался на комбинацию их выходных параметров: рабочее расстояние съемки — от 500 до 2000 мм, погрешность — до 2% (2 мм на 1000 мм расстояния), угол обзора — не менее 60°.

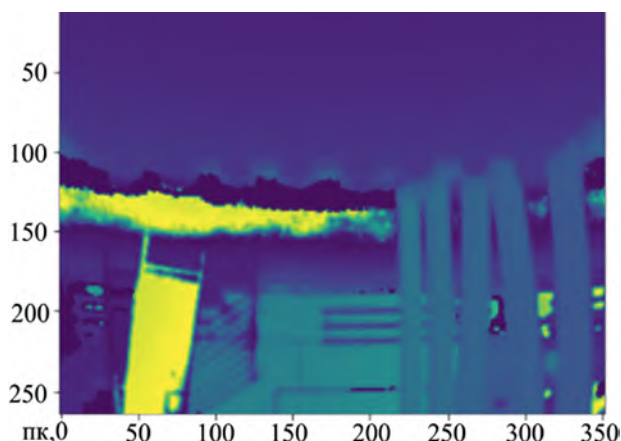
На рисунке 4 показан пример съемки стенда TOF-камерой O3D303, изображение размером 250 x 350 пикселей (пк), снимки делали в перевернутом положении камеры, поскольку в таком формате измеряемые объекты соответствуют соскам вымени коровы, что является одним из самых маленьких объектов тела коровы, а значит, и оптимальным для исследования точности работы камеры.

При этом ввиду ограниченного поля зрения камеры в кадр одновременно не попадает весь испытательный стенд, что не мешало изучению погрешности измерений камеры.

На рисунке 5 показан пример съемки стенда TOF-камерой, показывая только расстояния до объектов. Аналогично предыдущему изображению

Рис. 5. Пример съемки TOF-камерой расстояний до объектов. Изображения сделаны авторами

Fig. 5. Example of TOF camera photography of distances to objects. Images are made by the authors



размер снимка 250 x 350 пикселей (пк), снимки делали в перевернутом положении камеры, поскольку в таком формате измеряемые объекты соответствуют соскам вымени коровы, что является одним из самых маленьких объектов тела коровы, а значит, и оптимальным для исследования точности работы камеры.

Перевод исходных данных о размерах объекта (в пикселях), получаемых при съемке камерой, в миллиметры осуществляется встроенным программным обеспечением обеих камер. Полная информация об алгоритмах перевода значений, реализованных в формате программных функций ПО камер, содержится в библиотеке, высылаемой производителем камеры по запросу.

Программное обеспечение. Реализован код на языке программирования *Python* (Python Software Foundation, США) с использованием библиотеки *Scikit-learn*¹, производящий обработку результатов и строящий линейную регрессию, связывающая реальное расстояние с измеренным. При работе камер использовался предоставляемый производителями камер (IFM и Rakinda) комплект для разработки программного обеспечения.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

При работе с камерой IFM O3D303 всего были сфотографированы 64 объекта на расстоянии 385–688 мм от камеры. Поскольку камеры управлялись напрямую проприетарным ПО, нумерация объектов начиналась с 0-го и заканчивалась 63-м. Каждый объект был сфотографирован пять раз при различных внешних факторах.

Часть измерений приведена в таблице 1.

Данные по всем 320 измерениям 64 объектов были сведены в таблицу, на основе которой с помощью библиотеки *Scikit-learn* на языке *Python* была построена линейная регрессия,

¹ <https://scikit-learn.org/stable/>

Таблица 1. Фрагмент измерений расстояния для некоторых объектов

Table 1. Fragment of distance measurements for some objects

Номер объекта	Подлинное расстояние, мм	Измеренное расстояние, мм
0	385	382
0	385	380
0	385	383
0	385	386
0	385	382
1	447	445
1	447	444
1	447	443
1	447	445
1	447	445
2	511	501
2	511	501
2	511	501
2	511	502
2	511	500
3	577	562
3	577	563
3	577	563
3	577	566
3	577	564
4	644	627
4	644	626
4	644	628
4	644	627
4	644	627

Таблица 2. Сравнение измеренного и фактического расстояния

Table 2. Comparison of measured and actual distance

Фактическое расстояние, мм	Измеренное расстояние, мм	Скорректированное измеренное расстояние, мм	Среднеквадратичное отклонение, мм
385	382	379	1,89
391	394	392	1,99
398	398	396	1,06
404	402	401	1,88
422	419	419	1,22
427	433	434	1,61
447	445	448	1,75
453	452	455	1,08
458	459	462	0,96
463	462	465	1,83
479	479	483	0,86
484	481	486	0,84
511	501	508	0,94
516	509	516	0,84
521	512	519	0,71
526	519	527	1,37
539	527	536	0,89
544	538	547	2,33
566	556	567	2,43
570	562	573	1,10
577	564	576	1,16
581	568	580	1,08
585	571	583	0,81
590	575	587	1,75
602	586	599	2,57
606	591	605	1,53
626	612	627	1,85
630	616	632	0,86
644	626	642	1,53
651	633	650	1,51
666	648	666	2,41
688	671	690	2,07

связывающая реальное расстояние с измеренным. Исходя из нее, реальное расстояние следует оценивать из измеренного камерой с помощью полученной эмпирической формулы:

$$\widehat{S}_{\text{real}} = S_{\text{meas}} \times 1,077 - 32$$

где: $\widehat{S}_{\text{real}}$ — оценка расстояния, мм; S_{meas} — измеренное расстояние (включает погрешность измерения), мм.

Измеренные расстояния были сгруппированы по расстояниям до объектов. Для каждого расстояния было найдено среднеквадратичное отклонение значений при измерении, как показано в таблице 2. В качестве меры погрешности использовали среднеквадратичное отклонение.

Можно наблюдать, что на близких расстояниях (38,5–45,0) измеренное расстояние близко к фактическому, на дальних (60,0–70,0 см) — оно уже значительно меньше, при этом откорректированное расстояние намного ближе к реальному значению.

Можно отметить высокую повторяемость результатов испытаний: измеренные расстояния до одного и того же объекта отличаются друг от друга в среднем не более чем на 2 мм. В целом ошибка при измерениях данной камерой является систематической, поддается несложной корректировке и зависит только от расстояния до объекта (в разных частях кадра на одинаковом расстоянии ошибка одинаковая), повторяемость результатов измерений высокая, ошибка после корректировки не превышает 2 см.

Испытания трехмерной времяпролетной камеры Rакinda М5. При работе с трехмерной времяпролетной камерой М5 всего были сфотографированы 72 объекта на расстоянии 404–707 мм от камеры (те же самые объекты и еще восемь объектов, не попавших в кадр камеры ОЗD303; небольшое изменение расстояний из-за другого положения камеры на кронштейне). Каждый объект был сфотографирован пять раз при различных внешних факторах. Однако, в отличие от камеры ОЗD303, для данной камеры наблюдали значительные отличия в повторяемости в разных частях кадра: по центру кадра повторяемость такая же, как у ОЗD303 (1–2 мм), а по краям

резко снижается, разброс возрастает, как показано в таблице 3. В качестве меры погрешности использовали среднеквадратичное отклонение.

Таким образом, пришлось обрезать края снимка, поскольку оставшуюся часть можно будет восстановить с большей точностью, достаточной для работы. Пересчет для 54 оставшихся объектов дает такие формулы для измерений без стекла и со стеклом соответственно:

$$\widehat{S}_{\text{real}} = S_{\text{meas}} \times 0,339 - 32 + 4,42,$$

$$S_{\text{real}} = S_{\text{meas}} \times 0,338 - 32 + 0,20$$

где: $\widehat{S}_{\text{real}}$ — оценка расстояния, мм; S_{meas} — измеренное расстояние (включает погрешность измерения), мм.

Измеренные величины были сгруппированы по расстояниям до объектов, для каждого расстояния был найден средний разброс значений при измерении, как показано в таблице 4.

Можно утверждать, что корректировка дает результаты, по точности сравнимые с корректировкой для камеры O3D303, с похожей повторяемостью. Видно, что результаты измерений, как в случае наличия защитного стекла, так и при его

Таблица 4. Сравнение измеренного и фактического расстояния, среднеквадратичное отклонение

Table 4. Comparison of measured and actual distance, scatter

Фактическое расстояние, мм	Скорректированное измеренное расстояние (без стекла), мм	Среднеквадратичное отклонение (без стекла), мм	Скорректированное измеренное расстояние (со стеклом), мм	Среднеквадратичное отклонение (со стеклом), мм
404	411	1	407	1,17
411	414	0,49	409	0,24
416	416	0,73	410	0,39
422	420	0,75	413	0,95
467	480	0,65	471	0,51
472	483	0,67	474	0,92
477	484	0,4	476	0,75
483	485	0,35	481	2,82
531	543	1,41	538	1,24
536	546	0,64	541	0,41
541	548	0,62	542	0,59
545	551	1,25	549	5,71
597	604	0,87	600	0,9
601	607	0,6	602	0,49
605	609	0,64	604	0,93
609	611	0,79	607	0,8
664	663	5,66	662	1,39
671	670	1,26	666	1,2

Таблица 3. Среднеквадратичное отклонение в зависимости от положения в кадре

Table 3. Scatter of results depending on position in the frame

Расположение объекта в кадре	Среднеквадратичное отклонение при измерениях без стекла, мм	Среднеквадратичное отклонение при измерениях со стеклом, мм
0 (крайний слева)	3,90	2,22
1	2,21	1,73
2	1,89	1,73
3	1,61	1,73
4	1,46	1,32
5	1,52	1,40
6	1,35	1,07
7 (крайний справа)	2,30	1,88

отсутствии, после корректировки существенно не отличаются, то есть возможно изготовление пользовательского корпуса со своим стеклом без потери точности при условии соблюдения рекомендаций производителя.

Таким образом, в рамках данной работы выявлена возможность существенно улучшать показания TOF-камер и вести съемку через стекла с просветляющим покрытием, что может быть полезным при вычислении точных координат (например, для подвода манипулятора). Сравнительные характеристики исследованных на практике камер приведены в таблице 5.

По результатам двух этапов исследования определено, что существующая погрешность ± 5 мм практически одинакова для O3D303 и M5. Изученными TOF-камерами получают снимки с апертурой до $60 \times 45^\circ$ и разрешением до 480×480 пикселей.

Таблица 5. Сравнение трехмерных времяпролетных камер IFM O3D303 и Rakinda M5 по итогам исследования

Table 5. Comparison of TOF cameras IFM O3D303 and Rakinda M5 based on the results of the study

	Марка или модель (нужно слово) IFM O3D303	Rakinda M5
Цена	~330 000 ² руб.	~160 003 руб.
Длина волны светодиодов	850 нм	940 нм
Заявленная точность	± 4 мм	± 5 мм
Фактическая точность	± 10 – 20 мм (в зависимости от расстояния)	± 10 мм
Фактическая погрешность после корректировки	± 5 мм	± 5 мм
Разрешение (фактическое)	352×264	480×480
Апертурные углы (фактические)	$60^\circ \times 45^\circ$	$45^\circ \times 45^\circ$
Уровень защиты	IP67	нет

² По данным на 03.02.2024. https://sensoren.ru/product/3d_kamera_ifm_electronic_o3d303/

³ По данным на 03.02.2024. https://aliexpress.ru/item/1005004018938819.html?sku_id=12000027757532297

Установлено, что наличие или отсутствие уровня защиты от воды и пыли не является критическим фактором выбора, поскольку есть возможность использовать дополнительное защитное стекло и обеспечить защиты, соответствующие стандарту IP68.

Результат исследования отражается в получении новых зависимостей, позволяющих определять рациональное расположение трехмерных времяпролетных камер, измеряющих расстояние

до объектов, а также в разработке специальной корректировки для уменьшения погрешности таких камер.

Можно сделать вывод, что погрешность обеих камер является допустимой для работы системы цифрового мониторинга экстерьеров коров, не превышая 2% на 1 м. При этом значительная разница в стоимости и большее разрешение изображений позволяют сделать однозначный выбор в пользу камеры М5.

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.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021; 15(4): 6–10.
<https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
2. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(2): 4–13.
<https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13>
3. Кирсанов В.В., Владимиров Ф.Е., Павкин Д.Ю., Рузин С.С., Юрочка С.С. Сравнительный анализ и подбор систем мониторинга здоровья КРС. *Вестник ВНИИМЖ*. 2019; (1): 27–31.
<https://elibrary.ru/zaizqn>
4. Anderson D.M., Estell R.E., Cibils A.F. Spatiotemporal Cattle Data — A Plea for Protocol Standardization. *Positioning*. 2013; 4(1): 115–136.
<https://doi.org/10.4236/pos.2013.41012>
5. Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Довлатов И.М. Разработка модульной системы цифровизации бонитировочных работ. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(4): 54–59.
<https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-54-59>
6. Alem H. The Role of Technical Efficiency Achieving Sustainable Development: A Dynamic Analysis of Norwegian Dairy Farms. *Sustainability*. 2021; 13(4): 1841.
<https://doi.org/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; (1): 55–62.
<https://doi.org/10.31563/1684-7628-2019-49-1-55-62>
8. Харченко А.В., Фейзуллаев Ф.Р., Лепехина Т.В. Экстерьерные особенности казахской белоголовой породы крупного рогатого скота. *Инновационная наука*. 2022; (6–1): 62–64.
<https://elibrary.ru/hchsjs>
9. Чиндалиев А.Е., Калимолдинова А.С., Алипов А.У., Баймуханов А.Д. Использование линейной оценки экстерьера коров. *Главный зоотехник*. 2019; (8): 32–38.
<https://elibrary.ru/hycfxa>
10. Ситдилов Ф.Ф., Цой Ю.А., Зиганшин Б.Г. Основные направления и проблемы цифровизации агропромышленного комплекса. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2019; 14(3): 112–115.
https://doi.org/10.12737/article_5db97473887137.67106533
11. Shi C., 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; 156: 399–405.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.042>

FUNDING

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021; 15(4): 6–10.
<https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
2. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(2): 4–13.
<https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13>
3. Кирсанов В.В., Владимиров Ф.Е., Павкин Д.Ю., Рузин С.С., Юрочка С.С. Сравнительный анализ и подбор систем мониторинга здоровья КРС. *Вестник ВНИИМЖ*. 2019; (1): 27–31.
<https://elibrary.ru/zaizqn>
4. Anderson D.M., Estell R.E., Cibils A.F. Spatiotemporal Cattle Data — A Plea for Protocol Standardization. *Positioning*. 2013; 4(1): 115–136.
<https://doi.org/10.4236/pos.2013.41012>
5. Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Довлатов И.М. Разработка модульной системы цифровизации бонитировочных работ. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(4): 54–59.
<https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-54-59>
6. Alem H. The Role of Technical Efficiency Achieving Sustainable Development: A Dynamic Analysis of Norwegian Dairy Farms. *Sustainability*. 2021; 13(4): 1841.
<https://doi.org/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; (1): 55–62.
<https://doi.org/10.31563/1684-7628-2019-49-1-55-62>
8. Харченко А.В., Фейзуллаев Ф.Р., Лепехина Т.В. Экстерьерные особенности казахской белоголовой породы крупного рогатого скота. *Инновационная наука*. 2022; (6–1): 62–64.
<https://elibrary.ru/hchsjs>
9. Чиндалиев А.Е., Калимолдинова А.С., Алипов А.У., Баймуханов А.Д. Использование линейной оценки экстерьера коров. *Главный зоотехник*. 2019; (8): 32–38.
<https://elibrary.ru/hycfxa>
10. Ситдилов Ф.Ф., Цой Ю.А., Зиганшин Б.Г. Основные направления и проблемы цифровизации агропромышленного комплекса. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2019; 14(3): 112–115.
https://doi.org/10.12737/article_5db97473887137.67106533
11. Shi C., 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; 156: 399–405.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.042>

12. Башилов А.М., Королев В.А. Видеоцифровое системно-метрическое управление агротехнологическими процессами. *Вестник аграрной науки Дона*. 2019; (4): 68–75. <https://elibrary.ru/vsyvvcn>

13. Buller H., Blokhuis H., Lokhorst K., Silberberg M., Veissier I. Animal Welfare Management in a Digital World. *Animals*. 2020; 10(10): 1779. <https://doi.org/10.3390/ani10101779>

14. Xue T. *et al.* One-Shot Learning-Based Animal Video Segmentation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2022; 18(6): 3799–3807. <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3117020>

15. Власенкова Т.А., Козырева Ю.Ю. Цифровизация как основа эффективного ведения сельского хозяйства. *Менеджмент в АПК*. 2021; (2): 11–16. <https://elibrary.ru/nttevs>

16. Zou Z., Chen K., Shi Z., Guo Y., Ye J. Object Detection in 20 Years: A Survey. *Proceedings of the IEEE*. 2023; 111(3): 257–276. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2023.3238524>

17. Jones J.W. *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. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.021>

18. Qiao Y., Kong H., Clark C., Lomax S., Su D., Eiffert S., Sukkarieh S. Intelligent Perception-Based Cattle Lameness Detection and Behaviour Recognition: A Review. *Animals*. 2021; 11(11): 3033. <https://doi.org/10.3390/ani11113033>

12. Башилов А.М., Королев В.А. Видеоцифровое системно-метрическое управление агротехнологическими процессами. *Вестник аграрной науки Дона*. 2019; (4): 68–75. <https://elibrary.ru/vsyvvcn>

13. Buller H., Blokhuis H., Lokhorst K., Silberberg M., Veissier I. Animal Welfare Management in a Digital World. *Animals*. 2020; 10(10): 1779. <https://doi.org/10.3390/ani10101779>

14. Xue T. *et al.* One-Shot Learning-Based Animal Video Segmentation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2022; 18(6): 3799–3807. <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3117020>

15. Власенкова Т.А., Козырева Ю.Ю. Цифровизация как основа эффективного ведения сельского хозяйства. *Менеджмент в АПК*. 2021; (2): 11–16. <https://elibrary.ru/nttevs>

16. Zou Z., Chen K., Shi Z., Guo Y., Ye J. Object Detection in 20 Years: A Survey. *Proceedings of the IEEE*. 2023; 111(3): 257–276. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2023.3238524>

17. Jones J.W. *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. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.021>

18. Qiao Y., Kong H., Clark C., Lomax S., Su D., Eiffert S., Sukkarieh S. Intelligent Perception-Based Cattle Lameness Detection and Behaviour Recognition: A Review. *Animals*. 2021; 11(11): 3033. <https://doi.org/10.3390/ani11113033>

ОБ АВТОРАХ

Сергей Сергеевич Юрочка

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
yssvim@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Дмитрий Юрьевич Павкин

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
dimqaqa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Артём Рустамович Хакимов

младший научный сотрудник
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Павел Сергеевич Бердюгин

младший научный сотрудник
BPS71188@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0005-8217-9482>

Савр Олегович Базаев

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
sbzaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Фёдор Евгеньевич Владимиров

научный сотрудник
fvladimirov21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2480-5754>

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Sergey Sergeevich Yurochka

Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher
yssvim@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Dmitry Yuryevich Pavkin

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
dimqaqa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Artyom Rustamovich Khakimov

Junior Researcher
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Pavel Sergeevich Berdyugin

Junior Researcher
BPS71188@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0005-8217-9482>

Savr Olegovich Bazaev

Candidate of Agricultural Sciences, Research Associate
sbzaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Fyodor Evgenievich Vladimirov

Researcher
fvladimirov21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2480-5754>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institutsky Passage, Moscow, 109428, Russia