

УДК 636.22/28.082.13:591.4

DOI: 10.33284/2658-3135-103-2-157

Разработка бесконтактной системы измерения морфологических признаков мясного скота

А.Н. Ручай^{1,2}, К.А. Дорофеев², В.И. Колпаков¹, К.М. Джуламанов¹, В.И. Кобер¹

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)

²Челябинский государственный университет (г. Челябинск)

Аннотация: В статье приведены результаты исследований по автоматизации измерения промеров тела и живой массы коров герефордской породы. Разработанные научно-теоретическое, методическое и программное решения включают создание в режиме реального времени трёхмерной модели тела крупного рогатого скота на основе мультисенсорных данных с разных камер глубины. Полученную трёхмерную реконструкцию поверхности тела животного использовали для автоматического измерения по 17 линейных промеров у каждой из 20 коров. Различия между линейными промерами одних и тех же животных, полученные при контактном измерении по общепринятой методике зоотехнии и зафиксированные с помощью 3D-камер, были минимальными. Контрастность различий в общем плане характеристик составила 3,6 %. Высококачественные количественные данные бесконтактных измерений статей тела привели к выведению уравнения регрессии, позволяющему определить абсолютную величину живой массы с большой точностью. Ошибка в процентах колебалась от нуля до единицы, что в свою очередь дополнительно подчёркивает перспективу автоматического мониторинга морфологических характеристик животных мясного направления продуктивности.

Ключевые слова: коровы, герефордская порода, промер животного, живая масса, экспертная оценка, бесконтактное измерение, 3D-камеры, прогнозирование.

UDC 636.22/28.082.13:591.4

Development of a non-contact system for measuring morphological characteristics of beef cattle

*Aleksey N Ruchay^{1,2}, Konstantin A Dorofeev², Vladimir I Kolpakov¹,
Kinispay M Dzhulamanov¹, Vitaly I Kober¹*

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

²Chelyabinsk State University (Chelyabinsk, Russia)

Summary: The article presents the results of studies on automatic measurements of body and live weight of the Hereford cows. Developed scientific, theoretical, methodological and software solutions include the creation in real time of a three-dimensional model of the body of cattle based on multisensor data from different depth cameras. The obtained three-dimensional reconstruction of the surface of animal's body was used for automatic measurement of 17 linear measurements in each of 20 cows. The differences between linear measurements of the same animals, obtained by contact measurement according to the standard zootechnical technique and recorded using 3D cameras, were minimal. The contrast of differences in the general plan of characteristics was 3.6%. High-quality quantitative data of non-contact measurements of body articles led to the derivation of the regression equation, which allows to determine the absolute value of live weight with great accuracy. The percentage error ranged from zero to one, which, in turn, additionally emphasizes the prospect of automatic monitoring of morphological characteristics of beef cattle.

Key words: cows, Hereford breed, measurement of an animal, live weight, expert assessment, non-contact measurement, 3D cameras, forecasting.

Введение.

На современном этапе развития племенного дела возрастает необходимость разработки более надёжных методов выявления лучших племенных животных на основе повышения точности их селекционной оценки (Амерханов Х.А. и др., 2012, Амерханов Х.А. и др., 2018; Мирошников С.А. и др., 2012).

Решение такой проблемы должно проводиться с использованием не только традиционных, но и современных технологий инструментальных способов технико-методологического комплекса в структуре биотехнологической системы «человек-машина-животное (среда)». Большой вклад в решения совершенствования и внедрения технических систем и устройств для животноводства внесли многие учёные (Tasdemir S et al., 2011; Viazzi S et al., 2014; Kuzuhara Y et al., 2015; Kawasue K et al., 2017; Maki N et al., 2018).

Учитывая трудоёмкость и неточность традиционных методов экспертной оценки анатомо-морфологических характеристик животных мясного направления продуктивности, разработка и внедрение автоматического метода прижизненных измерений из продуктивности актуальны и имеют большое научное и практическое значение.

Цель исследования.

Совершенствование технологии измерения линейных промеров статей тела племенного мясного скота и его живой массы.

Материалы и методы исследований.

Объект исследования. 20 коров герефордской породы.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями Russian Regulations, 1987 (Order No.755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) and «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1996)». При выполнении исследований были предприняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества используемых образцов.

Схема эксперимента. Коровы находились в племенном заводе «Агрофирма «Калининская» Челябинской области. Сущность проводимых экспериментов заключалась в сравнительных оценках ручного измерения по 17 промерам тела и живой массы каждого животного по общепринятой в зоотехнии методике и с использованием автоматической идентификации тех же морфологических характеристик.

Для построения и оценки трёхмерной модели животного изучали различные варианты систем измерения. В первом варианте сразу несколько камер с платформы, двигаясь по известной траектории вокруг объекта, регистрировали его состояние. В этом случае возникали проблемы: должно быть точно известно положение камеры и животное должно стоять неподвижно. Во втором варианте камеры находятся в руках исследователя, который обходит изучаемый объект. Проблема заключается в том, что необходимо использовать не ригидные алгоритмы восстановления трёхмерной модели и сложно зафиксировать животное. В третьем варианте несколько камер расположены на платформе вокруг ворот и одновременно снимают объект (рис. 1). Животное, проходя через ворота, хорошо фиксируется камерами.



Рис. 1 – Сцена измерения с тремя камерами Kinect
Figure 1 – Measurement scene with three Kinect cameras

Оборудование, технические средства. Мерная палка Лидтина, мерный циркуль, мерная лента, электронные весы типа ЭПВ-1000 (ООО «Эталон-В», Россия), 3D-камеры глубины Kinect («Microsoft corp», USA).

Результаты исследования.

Данные одновременной оценки линейных промеров одних и тех же коров герефордского скота, полученные при ручном измерении по общепринятой методике в зоотехнии и зафиксированные бесконтактно с помощью 3D-камер, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты линейных измерений

Таблица 1. The results of linear measurements

Промер/ Measurement	Метод изучения линейных промеров/ Method for studying linear measurements		Разница в результатах измерений, %/ The difference in the measurement results, %	Доверительный интервал для ошибки/ Confidence interval for error
	общепринятая зоотехния/ conventional zootechnology	автоматическое трёхмерное измерение/ automatic three-dimensional measurement		
Высота в холке/Height in wither	130	135	3,8	±0,3
Высота в спине/Back height	131	134	2,3	±0,2
Высота в пояснице/Height in loin	137	141	2,9	±0,3
Высота в крестце/Height in rump	134	141	5,2	±0,5
Высота в седалищных буграх/ Height in tuber ishii	123	123	0,0	±0,0
Глубина груди/ Chest depth	72	76	5,6	±0,5
Косая длина туловища/Cross body length	173	174	0,6	±0,1
Прямая длина туловища/Straight body length	150	153	2,0	±0,2
Боковая длина зада/ Lateral back length	53	50	5,7	±0,5
Ширина груди/Chest width	48	55	14,6	±1,3
Ширина поясницы/Width of loin	61	65	6,6	±0,6
Ширина спины/Width of back	58	61	5,2	±0,5
Ширина зада в тазобедр. сочленении/ Width of quarters in thurl	55	59	7,3	±0,7
Ширина зада в седалищных буграх/ Width of quarters in tuber ishii	33	34	3,0	±0,3
Обхват груди/Chest girt	224	230	2,7	±0,2
Обхват пясти/Pastern girt	21	21	0,0	±0,0
Полуобхват зада/Half-girt of quarters	52	55	5,8	±0,5

Как было установлено, на реализацию потенциала изучаемых признаков каждого отдельного животного подсистемы оценки влияют по-разному. Так, средняя разница в измерениях по 17 основным промерам у 20 коров составляла 3,6 %. Обращает на себя внимание высокая уравнённость значений высоты в седалищных буграх, косой длины туловища, обхвата пясти. Заметное расхождение, в частности, по результату измерения ширины в груди между средствами оценки, видимо, связано со значительным ростом живой массы и изменением экстерьерных признаков у герефордских коров стада племенного завода за последнее десятилетие. Для того чтобы настроить предлагаемую «модель» оценки на конкретное стадо, необходимо получить информацию из документов

линейного учёта большого объёма выборки. Так как в селекции существует мнение – продуктивные свойства животных тесно связаны с выраженностью некоторых статей тела и имеют свою определённую точность оценки отдельными особенностями экстерьера.

Несомненно, из проверенных данных двух источников можно говорить, что между значениями измерений большинства промеров у отдельных коров имеется параллелизм. Таким образом, отбор по отдельным промерам желательных животных в стаде племенного завода методом бесконтактного измерения вполне возможен и при их свободном передвижении по загону. Необходимость более детальных исследований некоторых промеров важна для понимания целостности картины, полученной сравнительными методами.

Установлено, что разные стати тела в зависимости от формирования мышечной и костной основ с учётом топографической принадлежности обуславливали соответствующий характер подвижности суставов и соединений. Испытываемая модель при бесконтактном измерении показывала разную чувствительность, что отражалось погрешностью в числовых значениях. Одной из причин ошибки является также волосяной покров мясного скота, что следует учитывать в зависимости от метода измерения.

Мы также провели теоретические исследования по прогнозированию живой массы (LW) подопытных герефордских коров на основе полученных измерений по обхвату груди (HG) и высоте в крестце (HW) из трёхмерной модели животного. Выполнение задачи проведено с помощью расчётных методик по трём направлениям, используя модифицированную формулу, первоначально описанную в работе Tebug SF с соавторами (2018).

Первый метод (M1) прогнозирования живой массы с учётом обхвата груди можно представить в виде уравнения регрессии:

$$LW = 5.3 \times HG - 465,$$

где 465 – постоянное число для коров. Данный метод прогнозирует живую массу животного с точностью 84 % и больше от его фактической живой массы с среднеквадратичной ошибкой до 102 кг, соответствующей 16 % от средней живой массы.

Второй метод (M2) для прогнозирования LW основан на уравнении регрессии:

$$LW = 4.87 \cdot HG - 444.07.$$

Модель M2 прогнозирует среднюю LW со значением 96-100 % от истинной живой массы со среднеквадратичной ошибкой 27 кг, соответствующей 4,3 % от среднего LW.

Третий метод (M3) для прогнозирования LW основан на уравнении регрессии:

$$LW = 4.08 \cdot HG + 1.61 \cdot HW + 1.42 \cdot Age - 520.9$$

Лучшая модель M3 прогнозирует среднюю LW с максимальной точностью от 99 % от истинной живой массы со среднеквадратичной ошибкой 3 кг, соответствующей 0,5 % от среднего LW.

Эксперимент показал, что предлагаемая система для реконструкции 3D объекта может точно предсказать живую массу крупного рогатого скота на основе полученных линейных измерений.

Обсуждение полученных результатов.

Фенотипические факторы, в данном исследовании – линейные промеры и живая масса, остаются пока единственной возможностью прогноза племенной ценности животных мясного направления продуктивности. Новые сведения о племенных коровах по большому количеству промеров, в нашем эксперименте обследовали по 17 промерам, послужили основанием для дополнительной оценки их племенной ценности для выделения в селекционное ядро стада племенного завода «Агрофирма «Калининская» Челябинской области.

Для успешного ведения племенной работы важное значение имеют облегчение трудоёмких операций и повышение производительности труда при выполнении зоотехнических мероприятий племенного дела. Изучение эффективности различных технологических систем оценки племенных

качеств позволит в дальнейшем уточнять требования к «модельным» типам животных. Однако целый ряд качеств, наличие которых необходимо у таких животных, должны облегчённо определяться с наибольшей точностью в максимальном количестве. Предлагаемая автоматизированная система экспертной оценки для племенного мясного скота основана на методах бесконтактной трёхмерной реконструкции модели животного с помощью камер глубины Kinect. Изучению зоотехнических, физиологических, биологических аспектов взаимодействия животных с технологией в системе посвящены работы ряда учёных (Xiang Y et al., 2016; Salau J et al., 2017; Hertem TV et al., 2018).

Система распознавания трёхмерных объектов применялась к частям тела молочных коров (Salau J et al., 2017). Эти результаты рассматривались как успешный подход к автоматизации регистрации и измерению функциональных признаков.

Новый подход бесконтактного измерения тела животного крупного формата телосложения с помощью 3D-камер был предложен авторским коллективом L. Huang в 2018 году. Кроме того, разработанная измерительная система позволяла проводить точную регистрацию кормления подопытных животных.

Аналогичные нашему исследованию научные работы были проведены в 2011 году авторским коллективом под руководством S. Tasdemir. По результатам научных экспериментов была предложена методика измерения статей тела коров голштинской породы на основе цифрового анализа выделения вариации изображения с выведением их живой массы. Эти и дальнейшие исследования на молочном скоте (Cozler YL et al., 2019; Song X et al., 2019; Nir O et al., 2018) показали технологию «машинного зрения», учитывающую состояние форм тела животного и его линейные параметры в 3D-модели из нескольких 3D-камер.

Экспертная оценка по линейным промерам и живой массе по общепринятой действующей методике имеет сложную технологическую специфику. Разрабатываемая система экспертной оценки для племенного мясного скота позволит: сократить затраты времени на проведение ручной и субъективной бонитировки, исключить контактные измерения линейных промеров и живой массы, оценить животное с учётом всех прижизненных измерений характеристик по экстерьеру и конституции, происхождению и породности, развитию и продуктивности, воспроизводительной способности и качеству потомства; провести анализ и оценку селекционных процессов в стадах разных мясных пород с целью прогнозирования роста сельскохозяйственных животных на основе результатов генетической экспертизы, оценки физиологического состояния и здоровья животных.

Выводы.

С целью более всестороннего совершенствования методов экспертной оценки животных мясных пород скота была разработана система автоматического измерения их морфологических характеристик по трёхмерной модели с более высокой точностью и технологичностью, чем применяемые способы определения уровня продуктивности. Бесконтактное определение основных промеров статей тела позволяет автоматически отслеживать живую массу животных.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 17-76-20045).

Литература

1. Порядок и условия проведения бонитировки племенного крупного рогатого скота мясного направления продуктивности / Х.А. Амерханов, И.М. Дунин, В.И. Шаркаев и др. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. 37 с. [Amerkhanov KhA, Dunin IM, Sharkaev VI, et al. Poryadok i usloviya provedeniya bonitirovki plemennogo krupnogo rogatogo skota myasnogo napravleniya produktivnosti. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh»; 2012:37 p. (*In Russ*)].

2. Рекомендации по оценке быков-производителей мясных пород по собственной продуктивности и качеству потомства / Х.А. Амерханов, А.М. Белоусов, Ф.Г. Каюмов, К.М. Джуламанов,

М.П. Дубовскова, С.Д. Тюлебаев, В.М. Габидулин, Н.П. Герасимов, А.П. Искандерова, Е.Д. Куш, Б.К. Адучиев, Б.К. Болаев, В.Э. Баринов, И.М. Дунин, И.И. Слепцов, Е.Н. Ильина. Оренбург, 2018. 24 с. [Amerkhanov KhA, Belousov AM, Kayumov FG, Dzhulamanov KM, Dubovskova MP, Tyulebaev SD, Gabidulin VM, Gerasimov NP, Iskanderova AP, Kushch ED, Aduchiev BK, Bolaev BK, Barinov VE, Dunin IM, Sleptsov II, Il'ina EN. Rekomendatsii po otsenke bykov-proizvoditelei myasnykh porod po sobstvennoi produktivnosti i kachestvu potomstva. Orenburg; 2018:24 p. (*In Russ*)].

3. Рекомендации по совершенствованию герефордской породы крупного рогатого скота / С.А. Мирошников, Ф.Г. Каюмов, К.М. Джуламанов, М.П. Дубовскова, Л.З. Мазуровский, Н.П. Герасимов. Оренбург: ВНИИМС, 2012. 14 с. [Miroshnikov SA, Kayumov FG, Dzhulamanov KM, Dubovskova MP, Mazurovskii LZ, Gerasimov NP. Rekomendatsii po sovershenstvovaniyu gerefordskoi породы крупного рогатого скота. Orenburg: VNIIMS; 2012:14 p. (*In Russ*)].

4. Cozler YL, Allain C, Caillot A, Delouard JM, Delattre L, Luginbuhl T, Faverdin P. High-precision scanning system for complete 3d cow body shape imaging and analysis of morphological traits. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019;157:447-453. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.019>

5. Hertem TV, Tello AS, Viazzi S, Steensels M, Bahr C, Romanini CEB, Lokhorst K, Maltz E, Halachmi I, Berckmans D. Implementation of an automatic 3d vision monitor for dairy cow locomotion in a commercial farm. *Biosystems Engineering*. 2018;173:166-175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.08.011>

6. Huang L, Li S, Zhu A, Fan X, Zhang C, Wang H. Non-contact body measurement for qinchuan cattle with lidar sensor. *Sensors*. 2018;18(9):3014. doi: <https://doi.org/10.3390/s18093014>

7. Kawasue K, Win KD, Yoshida K, Tokunaga T. Black cattle body shape and temperature measurement using thermography and kinect sensor. *Artificial Life and Robotics*. 2017;22(4):464-470. doi: <https://doi.org/10.1007/s10015-017-0373-2>

8. Kuzuhara Y, Kawamura K, Yoshitoshi R, Tamaki T, Sugai S, Ikegami M, Kurokawa Y, Obitsu T, Okita M, Sugino T, Yasuda T. A preliminary study for predicting body weight and milk properties in lactating holstein cows using a three-dimensional camera system. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015; 111:186-193. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.12.020>

9. Maki N, Nakamura S, Takano S, Okada Y. 3d model generation of cattle using multiple depth-maps for ICT agriculture. In: Barolli L, Terzo O. (eds), *Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems: Proceedings of the 11th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS 2018)*. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Cham:Springer International Publishing. 2018;611:768-777. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-61566-0_72

10. Nir O, Parnet Y, Werner D, Adin G, Halachmi I. 3d computer-vision system for automatically estimating heifer height and body mass. *Biosystems Engineering*. 2018;173:4-10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.11.014>

11. Salau J, Haas JH, Junge W, Thaller G. A multi-kinect cow scanning system: Calculating linear traits from manually marked recordings of holstein-friesian dairy cows. *Biosystems Engineering*. 2017;157:92-98. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.03.001>

12. Song X, Bokkers EAM, van Mourik S, Groot Koerkamp PWG, van der Tol PPJ. Automated body condition scoring of dairy cows using 3-dimensional feature extraction from multiple body regions. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(5):4294-4308. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15238>

13. Tasdemir S, Urkmez A, Inal S. Determination of body measurements on the holstein cows using digital image analysis and estimation of live weight with regression analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2011;76(2):189-197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.02.001>

14. Viazzi S, Bahr C, Hertem TV, Schlageter-Tello A, Romanini CEB, Halachmi I, Lokhorst C, Berckmans D. Comparison of a three-dimensional and two-dimensional camera system for automated measurement of back posture in dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2014;100:139-147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.11.005>

15. Xiang Y, Nakamura S, Tamari H, Takano S, Okada Y. 3d model generation of cattle by shape-from-silhouette method for ICT agriculture. In Barolli L, Xhafa F, Ikeda M. (eds.) (Conference

Proceedings) 10th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS 2016), 6-8 July 2016, Fukuoka Institute of technology (FIT), Fukuoka, Japan. Fukuoka: IEEE;2016:611-616. doi: <https://doi.org/10.1109/CISIS.2016.104>

References

1. Amerkhanov KhA, Dunin IM, Sharkaev VI, et al. The procedure and conditions for carrying out the assesment of beef cattle of meat production direction. Moscow: *FSINI «Rosinformagroteh»*; 2012:37 p.
2. Amerkhanov KhA, Belousov AM, Kayumov FG, Dzhulamanov KM, Dubovskova MP, Tyulebaev SD, Gabidulin VM, Gerasimov NP, Iskanderova AP, Kushch ED, Aduchiev BK, Bolaev BK, Barinov VE, Dunin IM, Sleptsov II, Ilyina EN. Recommendations for evaluating sires of beef breeds by their own productivity and the quality of progeny. Orenburg; 2018:24 p.
3. Miroshnikov SA, Kayumov FG, Dzhulamanov KM, Dubovskova MP, Mazurovsky LZ, Gerasimov NP. Recommendations for the improvement of the Hereford cattle. Orenburg: VNIIMS; 2012:14 p.
4. Cozler YL, Allain C, Caillot A, Delouard JM, Delattre L, Luginbuhl T, Faverdin P. High-precision scanning system for complete 3d cow body shape imaging and analysis of morphological traits. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019;157:447-453. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.019>
5. Hertem TV, Tello AS, Viazzi S, Steensels M, Bahr C, Romanini CEB, Lokhorst K, Maltz E, Halachmi I, Berckmans D. Implementation of an automatic 3d vision monitor for dairy cow locomotion in a commercial farm. *Biosystems Engineering*. 2018;173:166-175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.08.011>
6. Huang L, Li S, Zhu A, Fan X, Zhang C, Wang H. Non-contact body measurement for qinchuan cattle with lidar sensor. *Sensors*. 2018;18(9):3014. doi: <https://doi.org/10.3390/s18093014>
7. Kawasue K, Win KD, Yoshida K, Tokunaga T. Black cattle body shape and temperature measurement using thermography and kinect sensor. *Artificial Life and Robotics*. 2017;22(4):464-470. doi: <https://doi.org/10.1007/s10015-017-0373-2>
8. Kuzuhara Y, Kawamura K, Yoshitoshi R, Tamaki T, Sugai S, Ikegami M, Kurokawa Y, Obitsu T, Okita M, Sugino T, Yasuda T. A preliminarily study for predicting body weight and milk properties in lactating holstein cows using a three-dimensional camera system. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015; 111:186-193. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.12.020>
9. Maki N, Nakamura S, Takano S, Okada Y. 3d model generation of cattle using multiple depth-maps for ICT agriculture. In: Barolli L, Terzo O. (eds), *Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems: Proceedings of the 11th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS 2018)*. Advances in Intelligent Systems and Computing. Cham:Springer International Publishing. 2018;611:768-777. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-61566-0_72
10. Nir O, Parmet Y, Werner D, Adin G, Halachmi I. 3d computer-vision system for automatically estimating heifer height and body mass. *Biosystems Engineering*. 2018;173:4-10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.11.014>
11. Salau J, Haas JH, Junge W, Thaller G. A multi-kinect cow scanning system: Calculating linear traits from manually marked recordings of holstein-friesian dairy cows. *Biosystems Engineering*. 2017;157:92-98. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.03.001>
12. Song X, Bokkers EAM, van Mourik S, Groot Koerkamp PWG, van der Tol PPJ. Automated body condition scoring of dairy cows using 3-dimensional feature extraction from multiple body regions. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(5):4294-4308. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15238>
13. Tasdemir S, Urkmez A, Inal S. Determination of body measurements on the holstein cows using digital image analysis and estimation of live weight with regression analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2011;76(2):189-197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.02.001>

14. Viazzi S, Bahr C, Hertem TV, Schlageter-Tello A, Romanini CEB, Halachmi I, Lokhorst C, Berckmans D. Comparison of a three-dimensional and two-dimensional camera system for automated measurement of back posture in dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2014;100:139-147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.11.005>

15. Xiang Y, Nakamura S, Tamari H, Takano S, Okada Y. 3d model generation of cattle by shape-from-silhouette method for ICT agriculture. In Barolli L, Xhafa F, Ikeda M. (eds.) (Conference Proceedings) 10th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS 2016), 6-8 July 2016, Fukuoka Institute of technology (FIT), Fukuoka, Japan. Fukuoka: IEEE;2016:611-616. doi: <https://doi.org/10.1109/CISIS.2016.104>

Ручай Алексей Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент, научный сотрудник лаборатории селекции мясного скота, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-74; e-mail: ran@csu.ru; заведующий кафедрой компьютерной безопасности и прикладной алгебры, Челябинский государственный университет, 454001, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129

Дорофеев Константин Александрович, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Математические методы обработки мультисенсорных данных», Челябинский государственный университет, 454001, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129, e-mail: kostuan1989@mail.ru

Колпаков Владимир Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции мясного скота, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-74, e-mail: vkolpakov056@yandex.ru

Джуламанов Киниспай Мурзагулович, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции мясного скота, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-74, e-mail: kinispai.d@yandex.ru

Кобер Виталий Иванович, доктор технических наук, научный сотрудник лаборатории селекции мясного скота, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-74, e-mail: vkober@hotmail.com

Поступила в редакцию 19 мая 2020 г.; принята после решения редколлегии 15 июня 2020 г.; опубликована 8 июля 2020 г./ Received: 19 May 2020; Accepted: 15 June 2020; Published: 8 July 2020