

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 636.2.034 : 631.17

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-6-4-8

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ УПИТАННОСТИ МОЛОЧНЫХ КОРОВ

КИРСАНОВ ВЛАДИМИР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, чл-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор, заведующий отделом

kirvv2014@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2549-4070>

ПАВКИН ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ, канд. техн. наук, заведующий лабораторией

dimqaqa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

ДОВЛАТОВ ИГОРЬ МАМЕДЯРЕВИЧ, канд. техн. наук, научный сотрудник

dovlatovim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3058-2446>

ЮРОЧКА СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ✉, младший научный сотрудник

yurochkasr@gmail.com✉; <https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

РУЗИН СЕМЕН СЕРГЕЕВИЧ, младший научный сотрудник

ruzin.s.s@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6870-5486>

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5

Аннотация. Оценка упитанности коров (BCS) с применением нейросетевых алгоритмов позволяет следить за здоровьем и продуктивностью животного. С целью разработки алгоритма оценки физиологической упитанности молочных коров по параметрам маклаков, крестца и голодной ямки на ферме ГУП «Григорьевское» проведено исследование 80 гол., которые были распределены на группы упитанности (от 1 до 5). Исследования проводились в ноябре 2021 г. во время утреннего доения. Сбор массива данных производился с использованием 3D ToF-камеры O3D303. Предварительно было проведено моделирование установки трехмерной камеры на ферме, разработан алгоритм, учитывающий рост коровы и расстояние от высшей точки позвоночника до трехмерной камеры. Разработан алгоритм оценки физиологической упитанности молочных коров в соответствии с оценкой состояния маклаков, крестца, голодной ямки, определяющий наивысшую точку холки, пропорции между длиной и шириной туловища, а также глубиной голодных ямок и выраженность хвостовой связки. Разработано программное обеспечение, позволяющее регистрировать номер коровы и определять балл упитанности, а также показывать динамику изменения упитанности животного. Обработка данных проводилась в соответствии с разработанным алгоритмом. Обработка изображений проводилась методом регрессии. Сравнение оценки упитанности коров, проведенной согласно разработанному алгоритму, и оценки экспертов показало, что погрешность работы алгоритма в диапазоне упитанности 2...4 балла составила в среднем 10%. При определении упитанности коров, имеющих пограничное и граничное состояние упитанности (1 и 5 баллов), ошибка измерения предложенным алгоритмом увеличивается до 25%. На основе полученных результатов для дальнейших исследований рекомендовано обучить нейронную сеть; определить корректирующий коэффициент для 1 и 5 баллов упитанности; доработать программное обеспечение, разработать пользовательское ПО с разработкой проходного станка бонитировки и провести испытания.

Ключевые слова: лактирующие коровы, оценка состояния тела (BCS), 3D-датчик TOF, бесконтактная оценка упитанности, маклаки, крестец.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации на право получения гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых-кандидатов наук – МК-2513.2022.4.

Формат цитирования: Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Довлатов И.М., Юрочка С.С., Рузин С.С. Разработка алгоритма оценки физиологической упитанности молочных коров // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 6. С. 4-8. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-6-4-8>.

© Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Довлатов И.М., Юрочка С.С., Рузин С.С., 2022



ORIGINAL PAPER

DEVELOPING AN ALGORITHM FOR BODY CONDITION SCORING OF DAIRY COWS

VLADIMIR V. KIRSANOV, RAS Corresponding Member, DSc (Eng), Professor, Head of the Department

kirvv2014@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2549-4070>

DMITRY Yu. PAVKIN, PhD (Eng), Head of Laboratory

dimqaqa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

IGOR M. DOVLATOV, PhD (Eng), Research Engineer

dovlatovim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3058-2446>

SERGEY S. YUROCHKA , Junior Research Engineer

yurochkasr@gmail.com ; <https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

SEMEN S. RUZIN, Junior Research Engineer

ruzin.s.s@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6870-5486>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 5, 1st Institutskiy Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract. Cow's body condition scoring (BCS) based on neural network algorithms is necessary to monitor the health and productivity of the animals. To develop an algorithm for assessing the physiological fatness of dairy cows according to the parameters of the femur heads, the sacrum and the hunger hollow, the authors studied eighty animals on a farm of the state unitary enterprise "Grigorievskoe", which were divided into fatness groups (from 1 to 5). The studies were carried out in November 2021 during the morning milking. Data were collected using a 3D ToF camera O3D303. Previously, the installation of a three-dimensional camera on the farm was simulated, and an algorithm was developed that takes into account the cow height and the distance from the highest point of the spine to the three-dimensional camera. An algorithm for assessing the physiological fatness of dairy cows (BCS) has been developed to take into account the condition of the femur heads, the sacrum, the hunger hollow, which determines the highest point of the withers, the proportions between the body length and width, as well as the depth of the hunger hollows and the severity of the caudal ligament. Software has been developed to register the unique number of a cow and determine the BCS, as well as show the dynamics of changes in the animal's fatness. Data were processed in accordance with the developed algorithm. The image was processed using the regression method. Comparison results of the BCS of cows, obtained according to the developed algorithm, and the experts' assessment showed that the algorithm error in the fatness range of 2...4 points averaged 10%. When determining the BCS of cows with borderline and limit fatness state (1 and 5 points), the measurement error by the proposed algorithm increased to 25%. Based on the results obtained, the authors recommend pre-setting a neural network for further research; determine the correction factor for fatness points 1 and 5; finalize the software, develop customized software and an automatic system for body condition scoring, and conduct tests.

Keywords: lactating cows, body condition scoring (BCS), 3D TOF sensor, non-contact body condition scoring, femur heads, sacrum

Acknowledgments: The work was supported by the Council for Grants of the President of the Russian Federation for the right to receive a grant from the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists – PhD holder – MK-2513.2022.4.

For citation: Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Dovlatov I.M., Yurochka S.S., Ruzin S.S. Developing an algorithm for body condition scoring of dairy cows. Agricultural Engineering (Moscow), 2022; 24(6): 4-8. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-6-4-8>.

Введение. Мировая тенденция развития молочного животноводства направлена на автоматизацию и роботизацию технологических процессов производства молока на товарной ферме [1-3]. Интенсивность производства, с одной стороны, увеличивает надой на одну голову, делая процесс производства сырого молока более рентабельным. С другой стороны, интенсивность производства приводит к быстрейшему изнашиванию организма молочных коров, когда среднее производственное использование молочных коров равно трем лактациям. Также у высокопродуктивных молочных коров наблюдается развитие кетоза.

Установлена связь между упитанностью молочных коров и вероятностью развития субклинического кетоза. Коровы с баллом упитанности $\geq 3,25$ более подвержены заболеванию, чем худые с баллом упитанности ≤ 3 [4].

В исследованиях [5] установлена зависимость между баллом упитанности молочных коров и снижением массы тела в течение 30-40 дней после отела. Из 47 исследуемых коров 37 коров на 14-е сутки после отела потеряли $\geq 0,75$ балла по шкале BCS; 10 коров потеряли $\leq 0,75$ балла. Потеря массы тела связана с отрицательным энергетическим балансом у коровы после отела и последующей мобилизацией резервов организма для восстановления.

Установлена взаимосвязь между склонностью к заболеванию метритом и упитанностью коров по шкале BCS ≤ 3 балла [6].

В исследованиях [7] авторы оценивали связь между физиологическим состоянием тела (BCS) в переходный период и развитием заболеваний с изменением удоев. Оценке подлежали 232 коровы. Оценка упитанности производилась с 1 до 5 баллов

с шагом 0,25. По результатам анализа крови делалось заключение о здоровье животных. Измерение упитанности молочных коров по шкале BCS проводились за 21 день до отела и на 21-й день после отела. Коровы, у которых увеличился показатель упитанности в этот период, составили 28%; у которых он уменьшился – 22%; коров, сохранивших показатель, оказалось 50%. У 18% коров, у которых уменьшился в этот период балл упитанности, возникли проблемы со здоровьем в сравнении с животными, которые сохранили балл упитанности. 28% коров, набравших соответствующий балл упитанности, имели меньший шанс заболеть субклиническим кетозом.

Результаты исследований подтверждают возможность автоматически бесконтактным способом регистрировать развивающийся кетоз. Альтернативным способом определения кетоза является проведение анализа крови [8]. На больших фермах с количеством дойного стада, превышающем 200 гол., проводить постоянную активную оценку здоровья животных методом анализа крови достаточно сложно ввиду имеющегося дефицита специалистов, трудоемкости процесса забора крови, необходимости наличия лабораторного оборудования и др. На небольших фермах (порядка 200 гол.) у фермера, как правило, нет высококвалифицированных специалистов, и данные анализы не проводятся.

Оценку упитанности по шкале BCS можно проводить ручным [9] и автоматическим способом [10]. В работе [11] описывается разработка автоматической системы оценки BCS с использованием нейросетевого алгоритма, основанного на глубоком обучении (deep learnin) с помощью сверхточной нейросети. Применение нейросетевых алгоритмов для прямой оценки упитанности имеет и свои недостатки,

а именно необходимость продолжительного обучения под каждое конкретное стадо. Нейронная сеть в работе применяется в качестве инструмента, фиксирующего соответствующие геометрические параметры характерных точек животного (вершины маклаков, крестца, голодной ямки и др.) в трехмерных координатах.

Цель исследований: разработать алгоритм оценки физиологической упитанности молочных коров на основе применения 3D ToF-камеры по соответствующим геометрическим параметрам маклаков, крестца, голодной ямки.

Материалы и методы. Сбор натуральных данных производился в ноябре 2021 г. на ферме ГУП Григорьевское во время утреннего доения. Было отобрано 80 гол., которые были распределены на группы упитанности с баллами от 1 до 5.

Сбор массива данных производился с использованием коммерческой 3D ToF-камеры O3D303 (рис. 1). Камера способна рассчитывать и выводить пространство точек (Point Cloud) в виде многомерного массива $I \times J \times K$, где I и J – разрешение камеры, 352×264 , K – координаты X, Y, Z . Вывод полученных данных производится в формате «.dat». Скорость записи видеоизображений – 5 кадров/с.

Изначально было проведено моделирование установки трехмерной камеры на ферме (рис. 2а, 3) с использованием лабораторного макета животного (рис. 2б). Система от сети 220 В преобразует через блок питания необходимое напряжение 24 В для работы трехмерной камеры, установленной на высоте 2200 мм над уровнем пола. Разработано программное обеспечение, которое регистрирует номер коровы и определяет балл упитанности. По результатам нескольких испытаний строится график, показывающий динамику изменения упитанности животного.

Высота и угол наклона установки трехмерной камеры обусловлены четырьмя параметрами: высотой и длиной коровы, минимальным рабочим расстоянием от камеры до объекта, допустимой погрешностью камеры (рис. 3). Высоты коровы принимаем от 1300 до 1500 мм, минимальное рабочее расстояние от исследуемой поверхности объекта до объектива камеры – 300 мм. Погрешность камеры, заявленная техническими характеристиками производителя, на каждый метр рабочего расстояния от объектива камеры до объекта равна ± 1 см. Например, погрешность измерения составит ≤ 1 см при условии, что рабочее расстояние от крестца коровы, имеющей высоту 1500 мм, до объектива трехмерной камеры, расположенной на высоте 2200 мм, равно 700 мм.

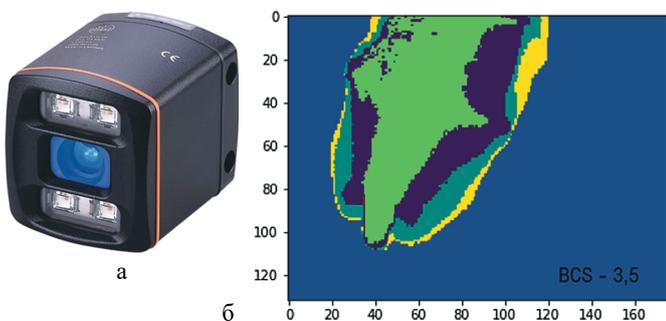


Рис. 1. 3D ToF-камера O3D303:

а – трехмерная камера O3D303;

б – цифровое изображение с баллом упитанности 3,5

Fig. 1. 3D ToF camera O3D303:

а – 3D camera O3D303;

б – digital image with a body condition score of 3.5

При установке трехмерной камеры на высоте 2200 мм от уровня пола при наклоне угла 10° , рабочем угле обзора 60° и высоте коровы 1300 мм протяженность сканируемой поверхности составит 1142,7 мм, при высоте 1500 мм – 889,12 мм (рис. 3б). Режим работы системы: 5 кадров за 1 сек. с последующей их обработкой.

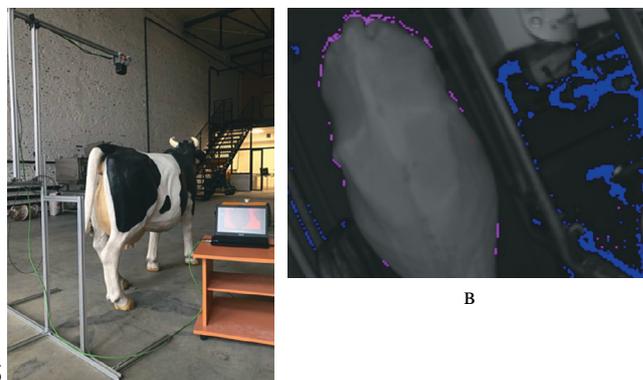
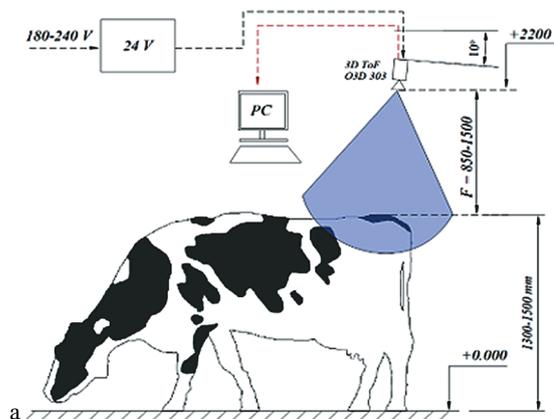


Рис. 2. Этапы исследований системы определения упитанности молочных коров:

а – теоретическая модель;

б – лабораторные/предварительные исследования;

в – натурные исследования с живым объектом

Fig. 2. Stages of research of the system for determining the fatness of dairy cows:

а – theoretical model; б – laboratory/preliminary studies;

с – field studies with a living object

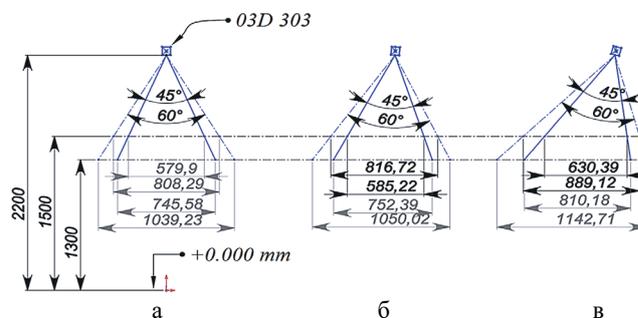


Рис. 3. Изменение протяженности сканируемой поверхности от угла наклона датчика:

а – вертикальное расположение;

б – смещение на 5° от вертикальной оси;

в – смещение на 10° от вертикальной оси

Fig. 3. Change in the length of the scanned surface from the inclination angle of the sensor:

а – vertical arrangement; б – offset by 5° from the vertical axis;

с – offset by 10° from the vertical axis

Результаты и их обсуждение. Процесс сканирования осуществляется следующим образом. Фермер/исследователь инициирует запрос к трехмерной камере. Камера собирает натурные данные с коров в специальном станке и отправляет их на сервер, где производится обработка данных в соответствии с разработанным алгоритмом (рис. 4).

Технология работы специального станка заключается в открытии двух ворот (на вход и выход животного) для запуска животного на площадку станка, оборудованную камерой, снимающей параметры (рост и расстояние от высшей точки позвоночника животного).

Пример обработки изображения методом регрессии при уточнении глубины впадин на крестцовой связке представлен на рисунке 5, где обозначены следующие точки: M_L – левый маклак; M_R – правый маклак; KX – седалищные бугры; H – голодные ямки.

Алгоритм программного обеспечения работает следующим образом.

Шаг s1 – производится поиск массива точек тела коровы, находящихся в диапазоне высот от 700 мм до 1500 мм, с разрешением не менее 40×40 пикселей.

Шаг s2 – производится повторная проверка точек по высоте. Если точка не подходит по высоте, но вокруг неё не менее 6 точек, подходящих по высоте и находящихся на допустимом расстоянии, точка берётся как среднее квадратичное значение множества точек. Во время испытаний был установлен квадрат точек 5×5 пикселей.

Шаг s3 – применяется алгоритм шумоподавления, который объединяет все найденные массивы в одно скопление точек.

Шаг s7 – проверка схожести построенной линии позвоночника с эталонным образцом. После построения линии позвоночника находятся наиболее удалённые от центральной линии маклаки M_R и M_L и расстояние между ними M_{RL} , расстояние от середины отрезка между маклаками до хвоста $M_{RLdistance}$. Примерно посередине между маклаками и хвостом строятся точки H_R и H_L . Производится расчёт высот KX_{TL} , KX_{TR} (табл.).

Шаг s8 – производится расчёт расстояния от наивысшей точки позвоночника до камеры.

Шаг s4 – производится приближенный поиск линии позвоночника и нахождения самых высоких точек при применении регрессии к точкам средней линии массива (позвоночник коровы); определяется высота коровы за счёт построения поперечной линии, проведенной по двум крайним точкам – маклакам (прямая, проведенная через самые высокие точки).

Шаг s5 – производится уточняющий поиск точек линии позвоночника с применением регрессии. Линией является диапазон точек 5×5 пикселей, заключающийся в повторном построении перпендикулярной оси, образуемой между точками маклаков (M_L и M_R). Центр пересечения линий является центральной точкой на позвоночнике. Задняя точка этой оси – точка KX , её координаты – KX_{BL} , KX_{BR} .

Шаг s6 – нахождение на кривом хребте точки KRF , лежащей на расстоянии 600 мм на прямой линии, построенной через центры отрезков KX_{BL} , KX_{BR} и M_L , M_R .

Таблица

Результаты проверки алгоритма с использованием 3D-камеры

Table

Algorithm verification results using 3D camera

№ коровы / Cow number	Входные данные / Input data						Упитанность по алгоритму, балл / Fatness score assessed according to the algorithm, points	Экспертная оценка, балл / Expert evaluation, points	Разность между оценками, балл / Difference between scores, points	Погрешность работы алгоритма, % / Algorithm operation error, %
	Длина прямой позвоночника, мм / Straight spine length, mm	Расстояние между M_L и M_R , мм / Distance between M_L and M_R , mm	Расстояние от M_L , M_R до хвоста, мм / Distance from M_L , M_R to the tail, mm	Расстояние от камеры по оси Z до H_L , мм / Distance from the camera along the Z axis to H_L , mm	Расстояние от камеры по оси Z до H_R , мм / Distance from the camera along the Z axis to H_R , mm	Высота коровы, мм / Cow's height, mm				
1	1512	699,26	603,03	1099	1119	1020	2,12	2,50	0,38	15,2
2	1505	589,97	518,71	1164	1200	1099	3,18	2,75	-0,43	-15,6
3	1506	735,35	619,78	1086	1108	1010	4,98	4,75	-0,23	-4,8
4	1497	569,47	465,06	1122	1132	1032	2,36	2,00	-0,36	-18,0
5	1483	607,02	514,26	1133	1156	1058	5,00	4,00	-1,00	-25,0
6	1501	480,43	404,93	1213	1220	1135	1,68	1,50	-0,18	-12,0
7	1502	592,06	367,26	1136	1167	1071	3,22	3,00	-0,22	-7,3
8	1508	566,29	383,78	1193	1180	1108	4,54	4,25	-0,29	-6,8
9	1510	740,06	491,49	1080	1076	968	2,31	2,25	-0,06	-2,7
10	1489	655,20	417,68	1111	1114	1033	4,02	3,50	-0,52	-14,9
11	1506	556,54	489,20	1105	1098	831	2,78	2,50	-0,28	-11,2

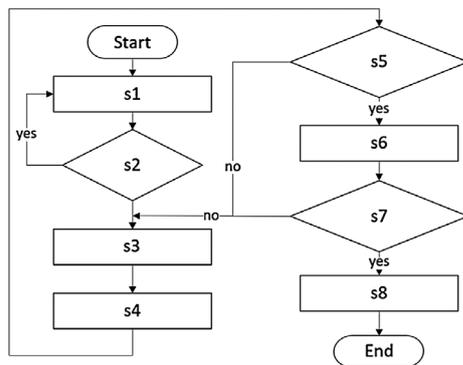


Рис. 4. Алгоритм функционирования программного обеспечения

Fig. 4. Software operation algorithm

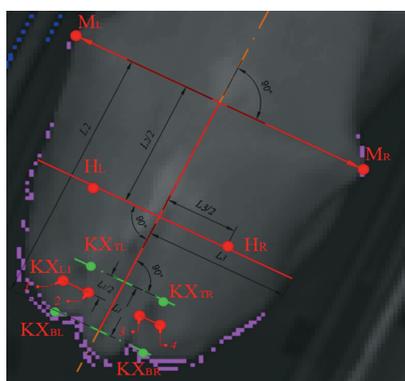


Рис. 5. Определение характерных точек на крестце коровы при уточнении глубины впадин на крестцовой связке

Fig. 5. Determining characteristic points on the sacrum of the cow when specifying the depth of sacrum hollows

Результаты оценки упитанности, проведенной согласно разработанному алгоритму, сравнивались с экспертной оценкой, определялась погрешность работы алгоритма (табл.).

Согласно данным таблицы в диапазоне упитанности 2...4 балла погрешность работы алгоритма составляет в среднем 10%. При определении упитанности коров, имеющих пограничное и граничное состояние упитанности (балл упитанности – 1 и 5), ошибка измерения предложенным алгоритмом увеличивается до 25%.

Предлагаются рекомендации для дальнейших исследований, а именно:

1. Для обучения нейронной сети собрать массив данных о ключевых точках, участвующих в определении балла упитанности, от 6 коров каждого балла упитанности с шагом 0,5 от 1 до 5.

2. Для определения упитанности коров, имеющих пограничное и граничное состояние упитанности (1 и 5 баллов по оценке экспертов), определить корректирующий коэффициент.

3. Доработать программное обеспечение, разработать пользовательское ПО с разработкой проходного станка бонитировки.

4. Провести стендовые и производственные испытания.

Выводы

1. Использование нейронной сети с методом регрессии для определения координат (x, y, z) точек маклоков, крестца, голодных ямок, верхней точки холки является перспективным методом определения упитанности и бонитировки животных.

2. Алгоритмическая ошибка определения балла упитанности в диапазоне 2...4 балла в сравнении с экспертной оценкой составляет 10%, ближе к граничным значениям (1 и 5 баллов) погрешность возрастает до 25%.

3. Определение балла упитанности с шагом 1 балл требует проведения дальнейших испытаний с параллельным сбором натурных данных.

Список использованных источников / References

1. Pavkin D.Yu., Dorokhov A.S., Vladimirov F.E., Dovlatov I.M., Lyalin K.S. Algorithms for detecting cattle diseases at early stages and for making diagnoses and related recommendations. *Applied Sciences* (Switzerland). 2021; 11 (23): 11148. <https://doi.org/10.3390/app112311148>

2. Колотушкин А.Н., Юрочка С.С., Васина М.Ю., Довлатов И.М. Устройство автоматического регулирования качества воздуха в животноводческих помещениях // *Агротехника и энергообеспечение*. 2021. № 3 (32). С. 17-23. EDN: GWBZKJ.

Kolotushkin A.N., Yurochka S.S., Vasina M.Yu., Dovlatov I.M. Device for the automatic control of air quality in livestock premises. *Agrotekhnika i energoobespechenie*. 2021; 3 (32): 17-23. (In Rus.)

3. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Довлатов И.М. Методика оптимизации параметров машинного кормления крупного рогатого скота // *Агроинженерия*. 2021. № 1 (101). С. 10-14. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-1-10-14>

Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Nikitin E.A., Dovlatov I.M. Methods for optimizing the parameters of machine cattle feeding. *Agricultural Engineering*. 2021; 1: 10-14. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-1-10-14> (In Rus.)

4. Vanholder T., Papen J., Bemers R., Vertenten G., Berge A.C.B. Risk factors for subclinical and clinical ketosis and association with production parameters in dairy cows in the Netherlands. *Journal of dairy science*. 2015; 98 (2): 880-888. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8362>

5. Chapel J.M., Muñio R., Pereira V., Castillo C., Hernández J., Benedicto J.L. Relationship of BCS prepartum with reproductive performance

and lipomobilization in Holstein dairy cows. *Pakistan Veterinary Journal*. 2017; 37 (2): 215-219.

6. Daros R.R., Hötzel M.J., Bran J.A., LeBlanc S.J., Keyserlingk M.A.G. Prevalence and risk factors for transition period diseases in grazing dairy cows in Brazil. *Preventive veterinary medicine*. 2017; 145: 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.06.004>

7. Barletta R.V. et al. Association of changes among body condition score during the transition period with NEFA and BHBA concentrations, milk production, fertility, and health of Holstein cows. *Theriogenology*. 2017; 104: 30-36. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.07.030>

8. Garzón A., Oliver-Espinosa O. Incidence and risk factors for ketosis in grazing dairy cattle in the Cundi-Boyacencian Andean plateau, Colombia. *Tropical animal health and production*. 2019; 51 (6): 1481-1487. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01835-z>

9. Berry D.P., Macdonald K.A., Penno J.W., Roche J.R. Association between body condition score and live weight in pasture-based Holstein-Friesian dairy cows. *Journal of dairy research*. 2006; 73 (4): 487-491. <https://doi.org/10.1017/S0022029906002020>

10. Paul A., Mondal S., Kumar S., Kumari T. Body condition scoring in dairy cows-a conceptual and systematic review. *Indian journal of animal research*. 2020; 54: 929-935. <https://doi.org/10.18805/ijar.B-3859>

11. Yukun S. et al. Automatic monitoring system for individual dairy cows based on a deep learning framework that provides identification via body parts and estimation of body condition score. *Journal of dairy science*. 2019; 102 (11): 10140-10151. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16164>

Критерии авторства

Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Довлатов И.М., Юрочка С.С., Рузин С.С. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Довлатов И.М., Юрочка С.С., Рузин С.С. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 14.04.2022

Одобрена после рецензирования 14.07.2022

Принята к публикации 13.10.2022

Contribution

V.V. Kirsanov, D.Yu. Pavkin, I.M. Dovlatov, S.S. Yurochka and S.S. Ruzin performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. V.V. Kirsanov, D.Yu. Pavkin, I.M. Dovlatov, S.S. Yurochka and S.S. Ruzin have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 14.04.2022

Approved after reviewing 14.07.2022

Accepted for publication 13.10.2022