

Определение упитанности молочных коров для оперативного мониторинга их физиологического состояния

Дмитрий Юрьевич Павкин,
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией,
e-mail: dimqaqa@mail.ru;
Сергей Сергеевич Юрочка,
кандидат технических наук,
младший научный сотрудник,
e-mail: yurochkasr@gmail.com;

Александра Александровна Поликанова,
магистрант, специалист,
e-mail: al.polikanova@mail.ru;
Игорь Мамедяревич Довлатов,
кандидат технических наук,
научный сотрудник,
e-mail: dovlatovim@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметили наличие проблемы в животноводстве с автоматизированной диагностикой физиологического состояния молочных коров, в том числе заболевания кетозом. Решили выявить возможность ежедневной диагностики физиологического состояния животных автоматическим бесконтактным способом. (*Цель исследования*) Разработать алгоритм комплексной оперативной диагностики физиологического состояния молочных коров по их живой массе и упитанности. (*Материалы и методы*) Натурные данные собирали в 2021-2022 годах на фермах хозяйств «Григорьевское» (Ярославская область), «Истринская сыроварня» и «Совхоз имени Ленина» (Московская область). Использовали коммерческую 3D ToF-камеру (*Time-of-flight*) O3D303, способную рассчитывать и выводить пространство точек (*Point Cloud*) в виде многомерного массива. В программе использовали 144 снимка, 136 из них прошли этап фильтрации, в 6 снимках не обнаружены области интересов, так как изображения имели высокую шумовую нагрузку, не был виден крестец. Исследовали 62 коровы. (*Результаты и обсуждение*) Доказали репрезентативность выборки и результатов: коэффициент корреляции Пирсона равен 0,849, что показывает сильную линейную зависимость между упитанностью и живой массой. Определили, что у 24 процентов коров балл упитанности был меньше нижней границы нормы. Составили алгоритм, помогающий ветеринарам в определение животных, которым нужен дополнительный осмотр. (*Выводы*) Выявили, что разработанный алгоритм помогает оперативно определять нарушения физиологического состояния молочных коров и в автоматическом режиме диагностировать заболевания на ранней стадии, без дополнительных трудозатрат и расходов на проведение анализов.

Ключевые слова: молочное животноводство, бонитировка молочного скота, живая масса, бесконтактная оценка упитанности, физиологическое состояние животных, ранняя диагностика заболеваний.

■ **Для цитирования:** Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Поликанова А.А., Довлатов И.М. Определение упитанности молочных коров для оперативного мониторинга их физиологического состояния // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №2. С. 28-34. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-2-28-34. EDN IBJEGS.

Determining Body Condition of Dairy Cows for Early Diagnosis of Physiological Diseases

Dmitriy Yu. Pavkin,
Ph.D.(Eng.), head of laboratory,
e-mail: dimqaqa@mail.ru;
Sergey S. Yurochka,
Ph.D.(Eng.), junior research engineer,
e-mail: yurochkasr@gmail.com;

Aleksandra A. Polikanova,
MSc(Eng.), student, specialist,
e-mail: al.polikanova@mail.ru;
Igor M. Dovlatov,
Ph.D.(Eng.), research engineer,
e-mail: dovlatovim@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper points out the problem with automated diagnostics of body condition in dairy cattle, including ketosis. The conducted research is aimed at determining the possibility for non-contact automated diagnostics of the cattle physiological state on a daily basis. (*Research purpose*) To develop an algorithm for complex operational diagnostics of the physiological state of



dairy cows by their live weight and body condition. (Materials and methods) Field data were collected in 2021-2022 on the FSUE Grigoryevskoye (Yaroslavl Region), Istra Cheese Factory and Lenin Dairy State Farm (Moscow Region). A commercial 3D ToF (Time-of-Flight) camera O3D303 was used. The 3D camera is capable of calculating and displaying the Point Cloud space as a multidimensional array. The program received 144 images, 136 images passed the filtering stage, 6 images did not detect the areas of interest, because of the high level of image noise, and the sacrum was not detected. 62 cows were subject to research. (*Results and discussion*) The sample and the dependence are proved to be representative as the Pearson correlation coefficient equals $R=0.849$, which shows a strong linear relationship between the body condition score and live weight. It was determined that in 24 percent of cases the body condition score is less than the least normal one. An algorithm was developed to help veterinarians to detect the animals that need additional examination. (*Conclusions*) It was found that the developed algorithm helps to quickly detect ketosis in dairy cows and automatically diagnose physiological diseases at an early stage, without additional labor and monetary costs.

Keywords: dairy farming, grades of dairy cattle, bonitification, live weight, non-contact assessment of cattle body condition, physiological state of animals, early diagnosis of diseases.

■ For citation: Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Polikanova A.A., Dovlatov I.M. Opredelenie upitannosti molochnykh korov dlya operativnogo monitoringa ikh fiziologicheskogo sostoyaniya [Determining body condition of dairy cows for early diagnosis of physiological diseases]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N2. 28-34 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-2-28-34. EDN IBJEGS.

В молочном животноводстве на высокопродуктивных фермах упитанность коров характеризуется средним баллом и ниже, что объясняется не только ошибкой в составлении рациона, но и наследственностью самих животных. Масса тела – умеренно наследуемый признак. Значительная генетически обусловленная зависимость живой массы и ее прироста от физиологического состояния организма позволяет использовать этот признак при оперативном выявлении заболеваний [1-4].

Вследствие высокой нагрузки на высокопродуктивное животное с удоем от 10 тыс. кг молока в год распространены физиологические заболевания, в том числе и кетоз – болезнь, связанная с нарушением нормального обмена веществ [5-6]. Риск развития кетоза у крупного рогатого скота как правило увеличивается за неделю до и после отела [7-8]. Основной причиной возникновения кетоза считается избыточный вес до отела.

С развитием технологий ученые мирового сообщества предлагают различные решения проблемы раннего диагностирования заболеваний у молочных коров, например, взвешивание при помощи весовой панели. Недостаток этого способа – необходимость персонального анализа всех собранных данных, так как отклонения могут обуславливаться генетической наследственностью, а не проявлением каких-либо заболеваний [9]. Еще одно решение – лабораторный способ определения кетоза. У коров брали пробы крови и мочи отправляли их в лабораторию для анализа на содержание кетоновых тел. Среди недостатков – высокая стоимость исследований и продолжительное определение результатов [10].

Ученые из Польши разработали алгоритмы машинного обучения, направленные на вычисление риска развития субклинического кетоза у дойных ко-

ров. В ходе эксперимента выявлена модель логистической регрессии. Таким способом оценивали молоко по признакам: соотношение жира и белка, концентрация ацетона и β -гидроксипутирата в молоке, содержание лактозы [11]. Однако эта модель не отличается точностью, ее анализ полученных данных нуждается в доработке. Известен также эксперимент, в ходе которого установлено, что малоподвижные коровы с большей вероятностью подвержены или уже болеют кетозом [12].

Для выявления предпосылок к развитию многих заболеваний применяют камеру *Delaval BCS*, оценивающую упитанность коровы [13-14]. Из недостатков можно отметить отсутствие программного алгоритма, который мог бы полностью автоматически вычислять предрасположенность к определенным болезням.

Производство нуждается в технологиях и разработках, позволяющих проводить ежедневную диагностику физиологического состояния молочных коров для оперативного выявления заболеваний с целью сокращения затрат на лечение. Наше исследование направлено на решение этой задачи автоматическим бесконтактным способом, основанным на оптических технологиях. Оптический модуль может быть установлен на входе или выходе в автоматические доильные залы, может быть доукомплектован роботизированным доильным роботом, установленным в сортировочных станках.

Цель исследования – разработать алгоритм оперативной диагностики физиологического состояния молочных коров по живой массе и упитанности животных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Сбор натурных данных проводили в 2021-2022 гг. на фермах хозяйств «Григорьевское» Ярославской области (упитанность живот-

ных 1-3 балла), а также «Истринская сыроварня» и «Совхоз имени Ленина» – Московской (упитанность 2,5-5,0 балла). Все коровы относились к голштинизированной черно-пестрой породе. Использовали доработанный интеллектуальный алгоритм взвешивания коров с помощью бонитировочной весовой платформы [15-16].

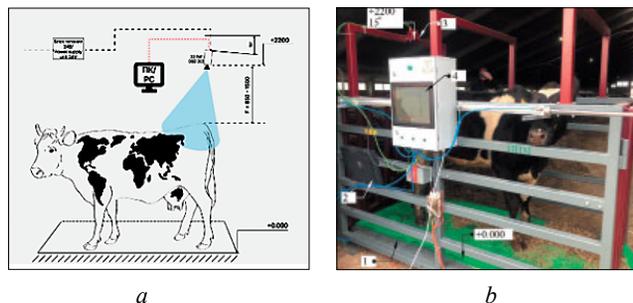


Рис. 1. Сбор натурных данных: а – схема установки оптического модуля; б – место сбора данных; F – фокусное расстояние, на которое настроена камера; 1 – весовая платформа на 4 тензометрических датчиках; 2 – антенна бесконтактной идентификации; 3 – модуль определения упитанности; 4 – программное обеспечение

Fig. 1. Field data collection: a – the diagram of the optical module installation; b – the place of data collection; F – the focal length that the camera is set at; 1 – a weighing platform on 4 strain gauges; 2 – contactless identification antenna; 3 – body condition scoring module; 4 – software for body condition scoring.

Задействовали коммерческую 3D ToF-камеру O3D303, которая способна рассчитывать и выводить пространство точек (Point Cloud) в виде многомерного массива $I \times J \times K$, где I и J – разрешение камеры, например, 352×264 ; K – координаты XYZ. Формат вывода данных – «.dat», скорость записи видеоизображений – 5 кадров в секунду (рис. 1). Это позволило получить по 4 снимка каждой коровы в исходном изображении.

Трехмерные снимки с 3D ToF-камеры, установленной под углом 15° по отношению к корове, необходимо представить в перпендикулярном виде для уменьшения количества возможных возникающих ошибок. Для этого проводится нормализация угла, где R – матрица пикселей трехмерной карты, причем каждый пиксел содержит координаты по XYZ:

$$R = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ \sin(\alpha)\sin(\beta) & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha)\cos(\beta) \\ -\cos(\alpha)\sin(\beta) & \sin(\alpha) & \cos(\alpha)\cos(\beta) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Для нормализации изображения по осям XYZ с помощью матрицы, ее необходимо «перевернуть» с помощью выражения:

$$XYZ_{ROT} = XYZ \cdot R. \quad (2)$$

Тогда полученные координаты искомого объекта равны:

$$XYZ = XYZ_{ROT} \cdot R^{-1}. \quad (3)$$

Трехмерные данные, выходящие из подготовленной матрицы трехмерных карт, поступают в дальнейшую обработку по поиску точек интересов на спине и крестце коровы (рис. 2).

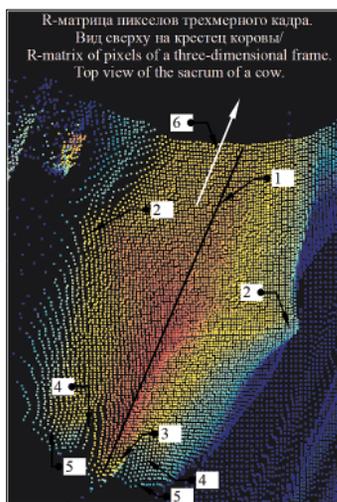


Рис. 2. Крестец коровы в виде трехмерной матрицы пикселей: 1 – определение линии позвоночника для построения регрессии; 2 – область интересов – маклоки; 3-5 – область интереса – корень хвоста; 6 – направление движения коровы

Fig. 2. A cow's sacrum rendered as a 3D matrix of pixels: 1 – determining the spine line to build a regression; 2 – area of interest – hump bones; 3, 4 – area of interest – tailhead ligament; 5 – area of interest – tailhead ligament; 6 – the cow movement direction

Так как камеру устанавливали сверху над животным и к анализу данных была представлена поверхность крестца коровы, наибольший интерес представляют те точки, которые находятся возле контура и описывают периметр. Область точек, закрашенная желтым цветом, представляет собой вектор данных: $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$; $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]$ (рис. 2).

Разработанный алгоритм основан на методе наименьших квадратов. Зависимость двух переменных в аналитическом виде представляет собой квадратное уравнение вида $y(x) = ax^2 + bx + c$, где неизвестные параметры a, b и c определяются из системы уравнений:

$$\begin{cases} a\sum x_i^4 + b\sum x_i^3 + c\sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i, \\ a\sum x_i^3 + b\sum x_i^2 + c\sum x_i = \sum x_i y_i, \\ a\sum x_i^2 + b\sum x_i + cn = \sum y_i, \end{cases} \quad (4)$$

где x_i, y_i – координаты рассматриваемых точек вдоль осей абсцисс и ординат, m;

n – количество рассматриваемых точек в облаке интереса, шт.

Решение системы уравнений (4) позволит определить искомые параметры функции регрессии, которая в рассматриваемом случае изображена черной линией (рис. 2). Исходя из вышесказанного и из свойств квадратичных функций координата вершины функ-

ции регрессии равна:

$$(x|m, y_m) = \left(\frac{-b}{2a} \left[a \left(\frac{-b}{2a} \right)^2 + b \left(\frac{-b}{2a} \right) + c \right] \right). \quad (5)$$

Угол наклона касательной α к рассматриваемой функции определяет закругленность рассматриваемого участка периметра коровы и рассчитывается по следующей формуле:

$$y'(x) = 0 \rightarrow tg(\alpha) = k = y'(x_0), \quad (6)$$

$$\alpha = arctg(y'(x_0)),$$

где x_0 – корень производной функции регрессии;
 α – угол наклона касательной к функции регрессии.

Сбор данных проводили с помощью программного обеспечения [17]. Оно позволяет оценивать упитанность животного, высоту в холке, живую массу, глубину туловища, распознавать идентификационный номер, содержит зоотехнические данные, включая дату отела (рис. 3).

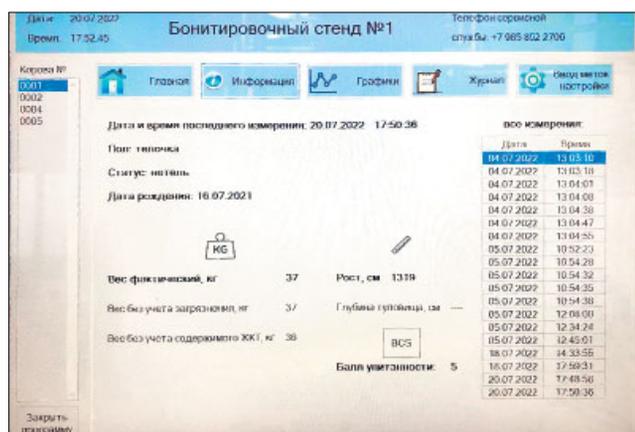


Рис. 3. Программное обеспечение для сбора бонитировочных данных

Fig. 3. Grading data collection software

В программу поступили 144 снимка, из них 136 прошли этап фильтрации. В 6 снимках не выявлены области интересов, так как изображения имели высокую шумовую нагрузку, а также не был обнаружен крестец. Всего были исследованы 62 коровы на 5-6-ом месяце лактации. Выборка коров 5-6-го месяца лактации обосновывается недостаточным количеством проведенных ранее исследований на этапе поздней лактации, заинтересованностью хозяйства, а также для увеличения объема знаний в области диагностики заболеваний. Каждому животному алгоритм присваивал балл упитанности, который сравнивался с экспертной оценкой. Эксперты подбирались по месту сбора данных – среди сотрудников ферм, имеющих соответствующую квалификацию.

Данные о живой массе на фермах «Григорьевского» и «Истринской сыроварни» получили косвенным методом Клувер-Штрауха – с помощью проме-

ров. Его недостаток – погрешность до 10%. Дополнительно минусовали 1% на навал (налипшую грязь) и скидку 3% на содержимое желудочно-шишечного тракта [18]. При взвешивании животных на весовой системе расчет живой массы с учетом скидки происходил автоматически.

Доказательство репрезентативности выборки животных, взаимосвязь между баллом упитанности и живой массой животных подтверждены в ходе использования программного пакета Excel и вычисления коэффициента корреляции Пирсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. По результатам обработки натуральных данных составили диаграмму, отображающую зависимость между упитанностью (по 5-балльной шкале) и живой массой (рис. 4).

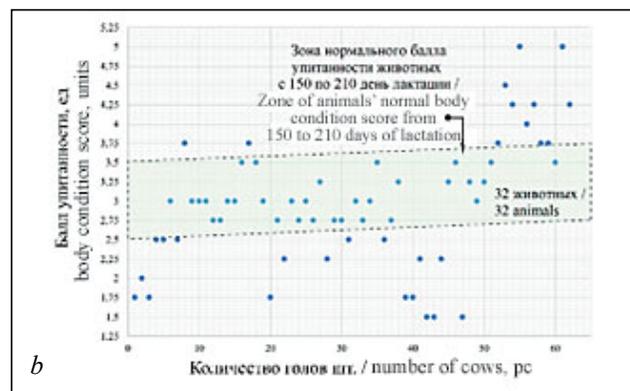
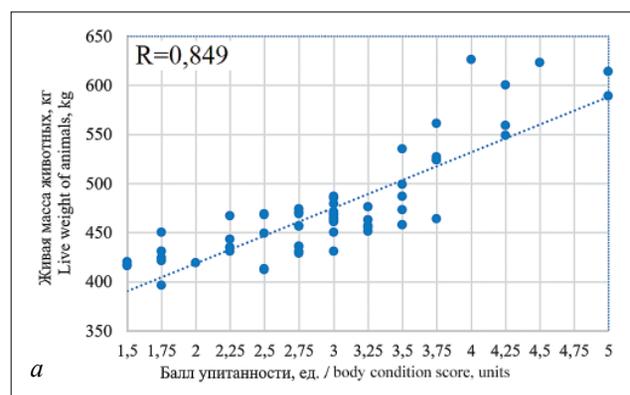


Рис. 4. Живая масса и упитанность: а – корреляционная зависимость; б – распределение животных по баллу упитанности (150-210 дней лактации)

Fig. 4. Live weight and body condition score: а – correlation dependence; б – grouping animals according to the body condition score (150-210 days of lactation)

Коэффициент корреляции между этими признаками равен $R = 0,849$. Это соответствует сильной линейной зависимости [17]. Из 62 голов 32 находятся в нормальном здоровом физиологическом состоянии.

На фермах основное количество животных имело нормальный балл упитанности на момент 150-210-го дня лактации, что достигалось корректным содержанием, хорошо подобранным рационом и ветеринар-

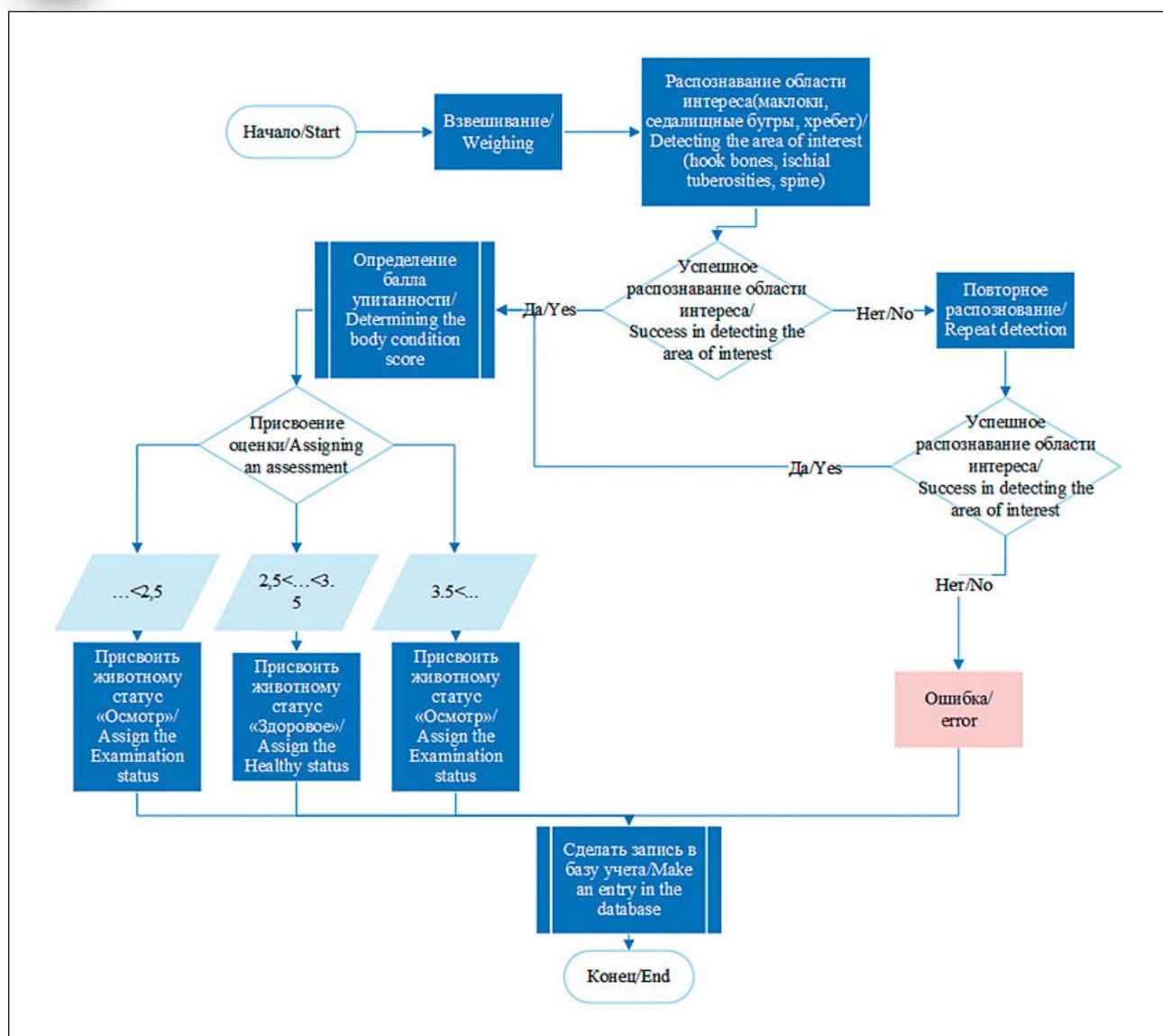


Рис. 5. Алгоритм оперативного определения физиологического состояния молочных коров по их упитанности
 Fig. 5. Algorithm for early diagnosis of dairy cows' physiological state by determining their body condition

ным обслуживанием. У 24% коров балл упитанности меньше нижней границы нормы. Вопрос требует дальнейшего изучения, которое будет проведено в ближайшее время.

Алгоритм оперативного определения физиологического состояния коров работает на основании принципа присвоения животному двух статусов, которые говорят либо о его соответствии нормам упитанности (балл упитанности должен находиться в промежутке от 2,5 до 3,5) – статус «Здоровое», либо об отклонении от нормы (балл упитанности менее 2,5 или выше 3,5) – статус «Осмотр» (рис. 5).

При этом после каждого взвешивания данные записываются в базу учета. Ветеринар при плановом визите может получить всю необходимую информацию для осмотра того или иного животного.

Важность этого алгоритма заключается в систематизации полученных данных и их передаче специ-

алистам для дальнейшего изучения.

Выводы. Установили положительную корреляцию между упитанностью и живой массой молочных коров ($R=0,849$).

Разработали алгоритм оперативного определения физиологического состояния, помогающий ветеринарам в выявлении животных, которым нужен дополнительный осмотр.

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



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Delić B., Belić B., Cincović M.R., Djokovic R., Lakić I. Metabolic adaptation in first week after calving and early prediction of ketosis type I and II in dairy cows. *Large Animal Review*. 2020. N26. 51-55.
2. Hubner A., Canisso I.F., Peixoto P.M., et al. Characterization of metabolic profile, health, milk production, and reproductive outcomes of dairy cows diagnosed with concurrent hyperketonemia and hypoglycemia. *Journal of Dairy Science*. 2022. Vol. 105. N11. 9054-9069
3. Puppel K., Kuczyńska B. Metabolic profiles of cow's blood; a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2016. N96. 4321-4328.
4. Wang Y., Huo P., Sun Y., Zhang Y. Effects of Body Condition Score Changes During Peripartum on the Postpartum Health and Production Performance of Primiparous Dairy Cows. *Animals*. 2019. N9. 1159.
5. Пустовая А.О., Секерин И.Ю., Кутевалов А.А. и др. Кетоз у коров // *Вестник научно-технического творчества молодежи Кубанского ГАУ*. 2016. Т. 4. N1. С. 198-200.
6. Эленшлегер А., Требухов А., Казакова О. Особенности кетогенеза у больных субклиническим кетозом коров до и после отела // *Ветеринария сельскохозяйственных животных*. 2016. N6. С. 27-30.
7. Deniz A., Aksoy K., Metin M. Transition period and subclinical ketosis in dairy cattle: association with milk production, metabolic and reproductive disorders and economic aspects. *Medycyna Weterynaryjna*. 2020. N76(09). 495-502.
8. Faruk M.S., Park B., Ha S., et al. Comparative study on different field tests of ketosis using blood, milk, and urine in dairy cattle. *Veterinarni medicina*. 2020. N65. 199-206.
9. Frigo E., Dechow C.D., Pedron O., Cassell B.G. The genetic relationship of body weight and early-lactation health disorders in two experimental herds. *Journal of Dairy Science*. 2010. N93(3). 1184-1192.
10. Staničkov N., Cincović M., Djoković R., et al. Ketosis in Dairy Cows during Early Lactation – Detection in Pooled Blood Serum Samples. *Acta Scientiae Veterinariae*. 2022. N50. 1866. 1-8.
11. Satola A., Bauer E.A. Predicting Subclinical Ketosis in Dairy Cows Using Machine Learning Techniques. *Animals*. 2021. N11. 2131.
12. Najm N.-A., Zimmermann L., Dietrich O., Rieger A., Martin R., Zerbe H. Associations between motion activity, ketosis risk and estrus behavior in dairy cattle. *Preventive Veterinary Medicine*. 2019. 104857.
13. Albornoz R.I., Giri K., Hannah M.C., Wales W.J. An Improved Approach to Automated Measurement of Body Condition Score in Dairy Cows Using a Three-Dimensional Camera System. *Animals*. 2022. N12. 72.
14. Li S., Wei X., Song J., Zhang C., Zhang Y., Sun Y. Evaluation of Statistical Process Control Techniques in Monitoring Weekly Body Condition Scores as an Early Warning System for Predicting Subclinical Ketosis in Dry Cows. *Animals*. 2021. N11. 3224.
15. Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Довлатов И.М. Разработка интеллектуального алгоритма взвешивания дойных коров // *Агротехника и энергообеспечение*. 2022. N3(36). С. 44-51.
16. Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Довлатов И.М. Разработка интеллектуальной весовой платформы для проведения бонитировочных работ // *Агротехника и энергообеспечение*. 2022. N3(36). С. 52-58.
17. Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Шилин Д.В., Рузин С.С. Бесконтактная оценка упитанности молочных коров с использованием ToF-технологии // *Агроинженерия*. 2021. N2(102). С. 39-44.
18. Яремчук В.П. Некоторые вопросы сдачи-приемки живого скота // *Мясные технологии*. 2010. N2(86). С. 34-38.
19. Романов И.О., Стрельцов А.С. Функционально математическое определение показателей надежности и установление зависимости комплексного показателя от единичных на стадиях изготовления и восстановления деталей, определяющих безотказность машины // *Надежность*. 2018. Т. 18. N2. 10-16.

REFERENCES

1. Delić B., Belić B., Cincović M.R., Djokovic R., Lakić I. Metabolic adaptation in first week after calving and early prediction of ketosis type I and II in dairy cows. *Large Animal Review*. 2020. N26. 51-55 (In English).
2. Hubner A., Canisso I.F., Peixoto P.M., et al. Characterization of metabolic profile, health, milk production, and reproductive outcomes of dairy cows diagnosed with concurrent hyperketonemia and hypoglycemia. *Journal of Dairy Science*. 2022. Vol. 105. N11. 9054-9069 (In English).
3. Puppel K., Kuczyńska B. Metabolic profiles of cow's blood; a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2016. N96. 4321-4328 (In English).
4. Wang Y., Huo P., Sun Y., Zhang Y. Effects of Body Condition Score Changes During Peripartum on the Postpartum Health and Production Performance of Primiparous Dairy Cows. *Animals*. 2019. N9. 1159 (In English).
5. Pustovaya A.O., Sekerin I.Yu., Kutsevalov A.A., et al. Kетоз у коров [Ketosis in cows]. *Vestnik nauchno-tehnicheskogo tvorchestva molodezhi Kubanskogo GAU*. 2016. Vol. 4. N1. 198-200 (In Russian).
6. Elenschlegler A., Trebukhov A., Kazakova O. Osobennosti kетогенеза u bol'nykh subklinicheskim kетозом korov do i posle otela [The features of ketogenesis in cows with subclinical ketosis before and after calving]. *Veterinariya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh*. 2016. N6. 27-30 (In Russian).
7. Deniz A., Aksoy K., Metin M. Transition period and subclinical ketosis in dairy cattle: association with milk production, metabolic and reproductive disorders and economic as-

- pects. *Medycyna Weterynaryjna*. 2020. N76(09). 495-502 (In English).
8. Faruk M.S., Park B., Ha S., et al. Comparative study on different field tests of ketosis using blood, milk, and urine in dairy cattle. *Veterinární medicína*. 2020. N65. 199-206 (In English).
 9. Frigo E., Dechow C.D., Pedron O., Cassell B.G. The genetic relationship of body weight and early-lactation health disorders in two experimental herds. *Journal of Dairy Science*. 2010. N93(3). 1184-1192 (In English).
 10. Staničkov N., Cincović M., Djoković R., et al. Ketosis in Dairy Cows during Early Lactation – Detection in Pooled Blood Serum Samples. *Acta Scientiae Veterinariae*. 2022. N50. 1866. 1-8 (In English).
 11. Satoła A., Bauer E.A. Predicting Subclinical Ketosis in Dairy Cows Using Machine Learning Techniques. *Animals*. 2021. N11. 2131 (In English).
 12. Najm N.-A., Zimmermann L., Dietrich O., Rieger A., Martin R., Zerbe H. Associations between motion activity, ketosis risk and estrus behavior in dairy cattle. *Preventive Veterinary Medicine*. 2019. 104857 (In English).
 13. Albornoz R.I., Giri K., Hannah M.C., Wales W.J. An Improved Approach to Automated Measurement of Body Condition Score in Dairy Cows Using a Three-Dimensional Camera System. *Animals*. 2022. N12. 72 (In English).
 14. Li S., Wei X., Song J., Zhang C., Zhang Y., Sun Y. Evaluation of Statistical Process Control Techniques in Monitoring Weekly Body Condition Scores as an Early Warning System for Predicting Subclinical Ketosis in Dry Cows. *Animals*. 2021. N11. 3224 (In English).
 15. Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Khakimov A.R., Dovlatov I.M. Razrabotka intellektual'nogo algoritma vzveshivaniya doynnykh korov [Development of an intelligent algorithm for weighing dairy cows]. *Agrotehnika i energoobespechenie*. 2022. N3(36). 44-51 (In Russian).
 16. Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Khakimov A.R., Dovlatov I.M. Razrabotka intellektual'noy vesovoy platformy dlya provedeniya bonitirovochnykh rabot [Development of an intelligent weighing platform for appraisal work]. *Agrotehnika i energoobespechenie*. 2022. N3(36). 52-58 (In Russian).
 17. Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Shilin D.V., Ruzin S.S. Beskontaktnaya otsenka upitannosti molochnykh korov s ispol'zovaniem ToF-tehnologii [Non-contact body condition score of dairy cows based on TOF-technology]. *Agroinzheneriya*. 2021. N2(102). 39-44 (In Russian).
 18. Yaremchuk V.P. Nekotorye voprosy sdachi-priemki zhivogo skota [Some issues of live cattle delivery and acceptance]. *Myasnye tekhnologii*. 2010. N2(86). 34-38 (In Russian).
 19. Romanov I.O., Strel'tsov A.S. Funktsional'no matematicheskoe opredelenie pokazateley nadezhnosti i ustanovlenie zavisimosti kompleksnogo pokazatelya ot edinchnykh na stadiyakh izgotovleniya i vosstanovleniya detaley, opredelyayushchikh bezotkaznost' mashiny [Functional mathematical definition of dependability indicators and establishment of the dependency between the integrated indicator and the unique indicators at the stage of manufacture and recovery of components that define the reliability of a machine]. *Nadezhnost'*. 2018. Vol. 18. N2. 10-16 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Павкин Д.Ю. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования;
 Юрочка С.С. – литературный анализ, обработка результатов исследования, формирование текста и общих выводов;
 Поликанова А.А. – обработка результатов исследования, доработка текста и общих выводов, верстка и формирование работы;
 Довлатов И.М. – проведение исследования работы СНС, доработка текста, визуализация, формирование массива данных.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Pavkin D.Yu. – scientific guidance, formulation of the research main concepts;
 Yurochka S.S. – literature review, research results processing, text formation and formulating general conclusions;
 Polikanova A.A. – research results processing, finalizing the text and general conclusions, paper layout and formation;
 Dovlatov I.M. – analysis of the System of National Accounts (SNA), text finalizing and visualization, data array formation.
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

15.11.2022
 27.01.2023