

# МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.306-316>

УДК 631.171



## Разработка способа применения оптического модуля для определения биометрических параметров вымени

© 2023. Д. Ю. Павкин, С. С. Юрочка ✉

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

*Цель исследования – разработать и провести испытания на работоспособность способа применения оптического модуля для определения биометрических параметров вымени. Разработаны схема испытательного стенда, на котором установлена трехмерная камера оптического модуля для получения трехмерных снимков в системе цифровой бонитировки вымени молочных коров; математическая модель для определения биометрических параметров вымени и сосков, а именно: длины, диаметра, углов наклона в двух плоскостях сосков, расстояния между сосками, рассеяния от оптического модуля до сосков – всего 26 параметров. Разработан алгоритм определения биометрических параметров вымени. Эксперименты со стендом и обработка натуральных данных проводили в отделе животноводства ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в 2022 г. Дополнительно производился сбор натуральных данных на фермах: ИП КФХ Сирота (Московская область), ФГУП Григорьевское (Ярославская область), ООО «Ферма Рябцево» (Калужская область) – всего было собрано натурного материала по 192 животным. Работоспособность разработанного способа проверена на искусственном вымени. Установлен режим работы при определении биометрических параметров сосков: скорость получения трехмерных карт вымени – 5 кадров за 1 секунду; угол поворота камеры относительно сосков в плоскости OZX равен 30°. По результатам проведенных экспериментальных исследований установлено, что измеренные результаты по 24 параметрам из 26 имеют ошибку меньше 5 %, диагональное расстояние между сосками имеет ошибку 6,0 %, боковое левое расстояние между передним и задним рядами сосков имеет ошибку 12,7 %. Ошибка измерения расстояния до кончика соска находится в пределах от -0,004 до -0,007 м по оси Z.*

**Ключевые слова:** цифровая система оценки экстерьера коров, оценка вымени, линейные параметры, оптический модуль

**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.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Павкин Д. Ю., Юрочка С. С. Разработка способа применения оптического модуля для определения биометрических параметров вымени. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2023;24(2):306-316.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.306-316>

Поступила: 28.10.2022

Принята к публикации: 16.03.2023

Опубликована онлайн: 25.04.2023

## Development of a method for using an optical module to determine the biometric parameters of the udder

© 2023. Dmitriy Yu. Pavkin, Sergey S. Yurochka ✉

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

*The purpose of the study is to develop and test the performance of the method of using the optical module for determining the biometric parameters of the udder. There have been developed: a scheme of test stand with a 3-D camera of the optical module for taking 3-D images in the system of digital valuation of the udder of dairy cows; a mathematical model for determining the biometric parameters of the udder and teats, namely: length, diameter of the angles of inclination in two planes of the teats, distance between the teats, scattering from the optical module to the teats, 26 parameters in total. An algorithm for determining the biometric parameters of the udder has been developed. Experiments with the stand and processing of field data were carried out in the Animal Husbandry Department of the FSAC VIM in 2022. In addition, field data were collected on farms: IP KFH Sirota (Moscow region), FSUE Grigorievskoye (Yaroslavl region), Farm Ryabtsevo LLC (Kaluga region) – in total, natural material for 192 animals has been collected. The performance of the developed method was tested on an artificial udder. The mode of operation in determining the biometric parameters of the teats was carried out: the speed of obtaining three-dimensional udder maps was 5 frames per 1 second. The angle of rotation of the camera relative to the teats in the OZX plane was 30°. According to the results of the experimental studies it has been established that the measured results for 24 out of*

26 parameters have an error of less than 5%, the diagonal distance between the teats has an error of 6.0 %, the lateral left distance between the anterior and posterior row of teats has an error of 12.7 %. The measurement error of the distance to the tip of the teats is in the range from -0.004 m to -0.007 m on the Z axis.

**Keywords:** digital cow exterior assessment system, udder assessment, linear parameters, optical module

**Acknowledgments:** the work was supported by the Council for Grants of the President of the Russian Federation for the right to receive a grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists – Candidates of Science-MK-2513.2022.4

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**Conflict of interest:** the authors declared no conflict of interest.

**For citation:** Pavkin D. Yu., Yurochka S. S. Development of a method for using an optical module to determine the biometric parameters of the udder. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):306-316. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.306-316>

Received: 28.10.2022 Accepted for publication: 16.03.2023 Published online: 25.04.2023

Сегодня вектор технического оснащения постиндустриального общества определяется переходом на автоматизированное цифровое производство. Важным элементом цифрового производства являются автономные промышленные автоматизированные и роботизированные системы, разрабатываемые для оптимизации ручного труда, создания современных рабочих мест, уменьшения влияния человеческого фактора, повышения плановых показателей по производству животноводческой продукции [1].

В России перед животноводческой отраслью стоит проблема увеличения доли отечественного племенного скота и улучшения генетического потенциала крупного рогатого скота мясных и молочных пород (Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы – отраслевые подпрограммы: «Улучшение генетического потенциала крупного рогатого скота специализированных мясных пород» и «Улучшение генетического потенциала крупного рогатого скота молочных пород» (далее, программа КНТП). Также указом Президента РФ от 21 июля 2016 г. №350 – «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства» поставлена задача улучшения производства племенной продукции.

Сегодня на фермах автоматизированы и роботизированы большинство процессов, кроме линейной оценки экстерьера, которая до сих пор проводится вручную несмотря на то, что технологии, позволяющие автоматизировать процесс – есть. Ручная оценка экстерьера с последующей обработкой информации, аналитикой и прогнозированием – долгий, сложный процесс, который часто нарушается из-за человеческого фактора [2, 3, 4]. Из-за того, что ручной процесс сложный, не приносящий фермеру

доход здесь и сейчас – на большинстве ферм линейная оценка экстерьера животных упразднена или совершается с регистрацией недостоверных данных (на основании собственных наблюдений). Еще одна причина упразднения процесса оценки экстерьера – нехватка квалифицированных специалистов, отчего фермеры распределяют человеческий ресурс на более приоритетные жизнеобеспечивающие задачи на ферме. По статистике (в т. ч. и на основании собственных наблюдений) только около 10 % выпускников продолжают работу по специальности [5], что создает дефицит кадров.

Для того чтобы возобновить на фермах процесс линейной оценки экстерьера, дать исследователям, научным институтам, племенным службам и племенным хозяйствам инструмент, позволяющий автоматически оценивать экстерьер животных с дальнейшим прогнозированием в отделе животноводства ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разрабатывается система комплексной линейной оценки экстерьера молочных коров [3, 4, 5]. В данной работе рассматривается подсистема (а точнее способ подсистемы) оценки экстерьера животных, который отвечает за получение линейных параметров вымени. Исследования проводятся в соответствии с требованиями Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2025 года, утвержденной Президентом РФ, в которой одним из приоритетных направлений развития отечественной науки является разработка цифровых производственных технологий, искусственного интеллекта и машинного обучения.

Авторами ранее был разработан опытный образец комплекса для проведения цифровой бонитировки [6, 7]. В частности, был разработан ручной манипулятор, задачей которого являлось перемещение трехмерной камеры под вымя животного с целью получения снимка

и оценки линейных параметров сосков. По результатам испытаний, система оказалась недостаточно эффективной, поэтому нужна серьезная доработка ручного манипулятора, что, в свою очередь, увеличивает стоимость системы, ее сложность, создает дополнительные риски и затраты при эксплуатации.

Авторами было принято решение изменить подход в области сканирования вымени для получения трехмерных снимков, отказавшись от использования манипулятора и изменить подходы, на которых основывается подсистема оценки вымени.

**Цель исследования** – разработать и провести испытания на работоспособность способа применения оптического модуля для определения биометрических параметров вымени.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать схему испытательного стенда, на котором устанавливается трехмерная камера оптического модуля для определения биометрических параметров вымени.

2. Разработать математическую модель определения биометрических параметров вымени.

3. Произвести сбор натурных данных с последующими экспериментальными исследованиями работоспособности способа определения биометрических параметров вымени, к которым относятся следующие 26 линейных показателей:

- длина, диаметр, углы наклонов в двух плоскостях – по каждому соску определяется 4 параметра, всего по соскам индивидуальных биометрических параметров определяется 16;

- расстояния между передними и задними рядами сосков, боковые и диагональные расстояния между сосками, расстояния до кончиков сосков – 10 параметров.

**Научная новизна** – обоснованные рациональные параметры установки оптической системы для получения трехмерных снимков в системе цифровой бонитировки вымени молочных коров.

**Материал и методы.** Для определения актуальности направления научных исследований в работе используется опытный образец системы цифровой бонитировки, 3D TOF-камера, данные по проведению бонитировочных работ, лазерные нивелиры, макет коровы черно-пестрой породы в масштабе 1:1, разработанное программное обеспечение. Эксперименты со стендом и обработка натурных данных проводили в отделе животноводства ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в 2022 г. Дополнительно произ-

водился сбор натурных данных на фермах: ИП КФХ Сирота (Московская область); ФГУП Григорьевское (Ярославская область); ООО «Ферма Рябцево» (Калужская область) – всего натурального материала было собрано по 192 животным.

**Результаты и их обсуждение.** Модернизации подвергается существующий опытный образец. Фотография испытательного стенда, схема стенда представлены на рисунке 1, на котором изображены: 1 – стойловое ограждение системы бонитировочной оценки; 2, 3, 4 – варианты положения трехмерной камеры через каждые 0,1 м от предыдущего варианта установки; 2.1, 3.1, 4.1 – лучи, проецируемые на исследуемые объекты; 5 – центральная ось коровы (хребет); 6 – вымя; 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 – соски коровы; узел А – визуализация положения оптического модуля; узел В – вымя коровы;  $J$  – расстояние между передними сосками;  $I_1$  и  $I_r$  – боковые расстояния между передним и задним рядами сосков;  $K$  – расстояние между задними сосками; \*, \*\* –  $DG_1$  и  $DG_2$  диагональные расстояния между сосками.

Выбор оптимального местоположения оптического модуля зависит от нескольких факторов. Первый фактор – определение точки в станке, где на минимальном удалении от исследуемого объекта (вымени и сосков) будет соблюдена безопасность установки оптического модуля (под безопасностью понимается невозможность животного контактировать с оптическим модулем). Такой точкой является место или в ограждении станка, или за его пределами.

Второй фактор – минимальное фокусное расстояние трехмерной камеры до исследуемого объекта, установленное заводом-производителем, которое позволит иметь наименьшее расстояние между пикселями на трехмерной карте, формируя тем самым меньшее количество шумов и более плотную сетку пикселей. В данном случае, при использовании трехмерной камеры O3D 303 минимальное фокусное расстояние составляет 0,3 м. Однако в ходе работы замечено, что для получения качественных трехмерных карт в 99 % случаев – необходимо минимальное фокусное расстояние увеличить до 0,35 м.

Третий фактор – установленный заводом изготовителем апертурный угол обзора камеры в плоскости OZX (вид сверху). При использовании трехмерной камеры O3D 303 апертурные углы составляют 60 x 45°.

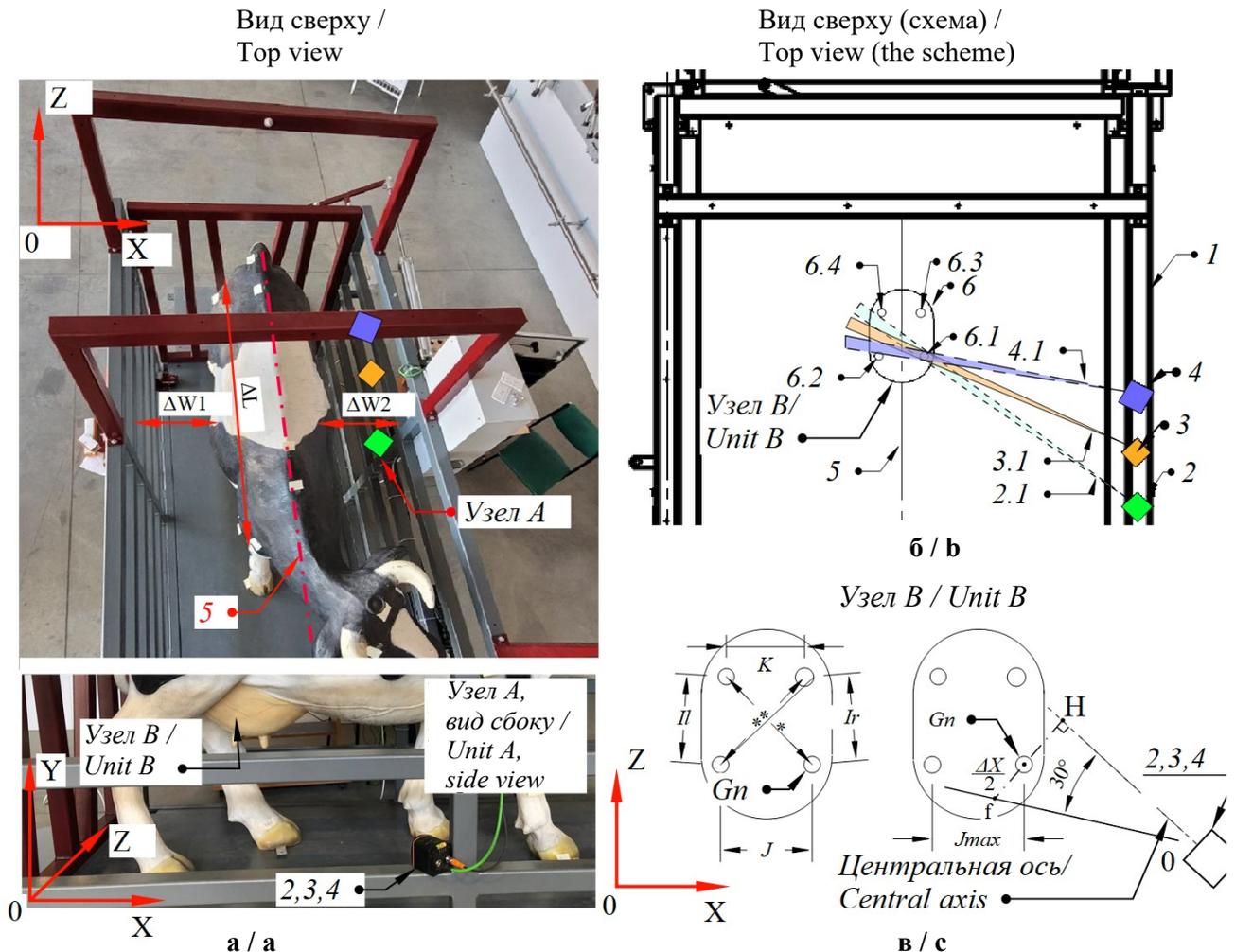


Рис. 1. Испытательный стенд (а), схема стенда (б), параметры установки оптического модуля (в) / Fig. 1. Test stand (a), stand scheme (b), installation parameters of the optical module (c)

Четвертый фактор – движение животного в станке. На рисунке 1 показаны два направления движения  $\Delta W_1$ ,  $\Delta W_2$ ,  $\Delta L$ . В изготавливаемой нами конструкции сумма допустимого диапазона движения по  $\Delta W_1$ ,  $\Delta W_2$  составляет не более 0,05 м, движение по  $\Delta L$  – 0,05 м.

Для определения оптимального местоположения оптического модуля были определены 3 положения (рис. 1, б, позиции 2, 3, 4). Расстояния между положениями составляло 0,1 м. Угол поворота оптического модуля относительно центральной линии станка у позиций 2 –  $30^\circ$ , 3 –  $45^\circ$ , 4 –  $50^\circ$ . На рисунке схематично показаны лучи (2.1, 3.1, 4.1), которые достигают объекта исследования. Видно, что местоположение оптического модуля 3 и луч 3.1 достигают исследуемого объекта, но передний сосок 6.1 не перекрывает задний сосок 6.4. Остальные положения оптического модуля частично перекрывают задние соски, что говорит о невозможности установки в выбранных конфигурациях.

Рассмотрим подробнее узел B на рисунке 1, в.  $H$  – это точка, являющаяся пересечением центральной оси камеры с перпендикулярным опущением из точки  $G_n$  на центральную ось камеры. В данном случае выбран передний сосок  $G_n$ , так как он является ближним соском переднего ряда от камеры, именно от него зависит положение крайней точки  $f$ , учитывая возможность перемещения коровы. Данный расчет гарантирует, что задние соски будут находиться в зоне обзора камеры при учете движения  $\pm 0,05$  м. Для нахождения расстояния  $|OH|$  рассмотрим прямоугольный треугольник  $OfH$ . Половиной апертурного угла камеры, установленного заводом-изготовителем, является угол  $30^\circ$ . Из этого следует отношение:

$$\frac{J_{max}}{2} + \Delta X = |OH| * \tan 30^\circ, \quad (1)$$

где  $\frac{J_{max}}{2}$  – половина максимального расстояния между передними сосками, мм;  
 $\Delta X$  – виртуальное смещение коровы в станке в плоскости  $OZX$ , м.

Таким образом,

$$|OH| = \frac{\frac{Imax}{2} + \Delta X}{\tan 30^\circ}. \quad (2)$$

Далее была разработана математическая модель определения биометрических параметров вымени с установленных ракурсов съемки и разработан программный код, который интерполирует распознанное вымя в облаке

точек, полученных с трехмерной камеры, по методу локального полинома, с максимальной точностью до 8 порядка [8, 9, 10]. На рисунке 2 показана математическая модель определения линейных параметров соска (а) и результат отработки алгоритма определения биометрических параметров вымени (б).

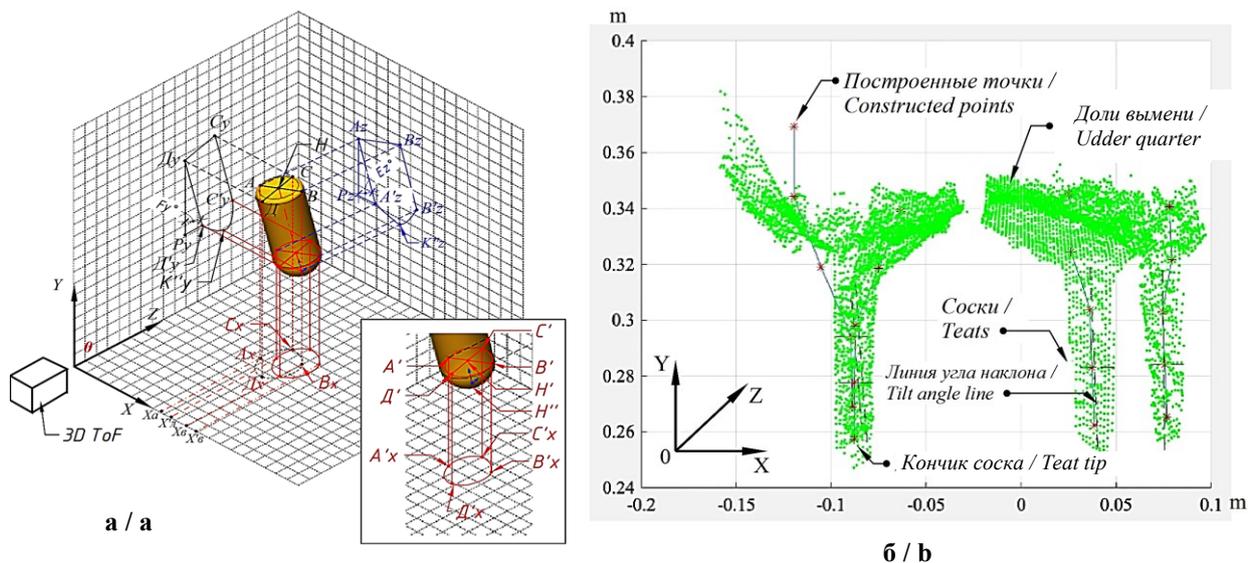


Рис. 2. Математическая модель (а) и результат автоматического определения биометрических параметров вымени разработанным способом (б) /

Fig. 2. Mathematical model (a) and the result of automatic determination of udder biometric parameters by the developed method (b)

В соответствии с рисунком 2 определение длины соска находится по выражению:

$$|HH''| = |AA'| + |H'H''|,$$

$$\text{где } |AA'| = \sqrt{(x_A - x_{A'})^2 + (y_A - y_{A'})^2 + (z_A - z_{A'})^2}; \quad (3)$$

$$|H'H''| = \sqrt{(x_{H'} - x_{H''})^2 + (y_{H'} - y_{H''})^2 + (z_{H'} - z_{H''})^2}.$$

Определение диаметра соска находится по выражению:

$$|DC| = \sqrt{(x_c - x_d)^2 + (y_c - y_d)^2 + (z_c - z_d)^2}. \quad (4)$$

Для расчета угла наклона сосков необходимо на плоскости OYZ рассчитать синус угла  $F_y^o$  прямоугольного треугольника:

$$\sin F_y^o = \frac{D'_y P_y}{D_y D_y}, \quad (5)$$

где  $D'_y P_y$  находится по формуле:

$$D'_y P_y = \sqrt{(x_{D_y} - x_{P_y})^2 + (y_{D_y} - y_{P_y})^2 + (z_{D_y} - z_{P_y})^2}. \quad (6)$$

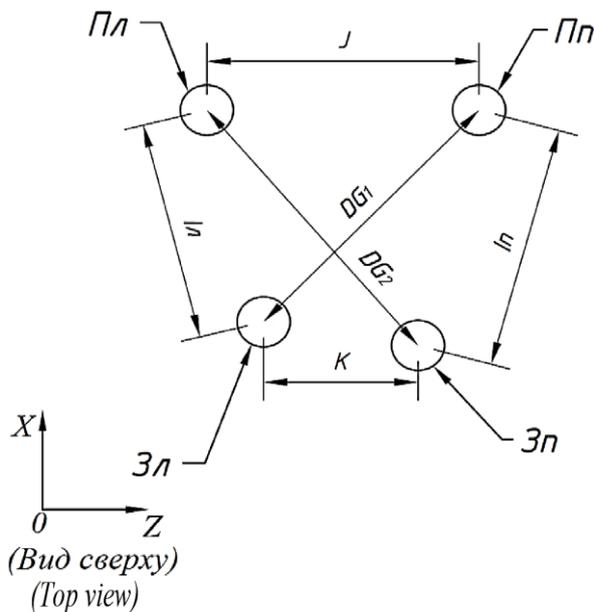
Для расчета угла наклона сосков необходимо на плоскости  $OXY$  рассчитать синус угла  $E_z^o$  прямоугольного треугольника:

$$\sin E_z^o = \frac{A'_z P_z}{A_z A'_z}, \quad (7)$$

где  $A'_z P_z$  находится по формуле:

$$A'_z P_z = \sqrt{(x_{A'_z} - x_{P_z})^2 + (y_{A'_z} - y_{P_z})^2 + (z_{A'_z} - z_{P_z})^2}. \quad (8)$$

Биометрические параметры вымени определили в соответствии с рисунком 3.



**Рис. 3. Определение длины, диаметра, расстояния между сосками:  $Pl$  – передний левый сосок;  $Pr$  – передний правый сосок;  $Zl$  – задний левый сосок;  $Zr$  – задний правый сосок;  $J$  – межсосовое расстояние между передними сосками;  $K$  – межсосовое расстояние между задними сосками;  $I$  – межсосовое расстояние между передним левым и задним правым сосками;  $l$  – межсосовое расстояние между передним правым и задним правым сосками;  $DG_1$  – диагональ между передним левым и задним правым соском;  $DG_2$  – диагональ между передним правым и задним левым сосками /**

**Fig. 3. Determining the length, diameter, distance between the teats:  $Pl$  – anterior left teat;  $Pr$  – anterior right teat;  $Zl$  – posterior left teat;  $Zr$  – posterior right teat;  $J$  – center distance between the front teats;  $K$  – center distance between the rear teats;  $I$  – center distance between the anterior left and posterior right teat;  $l$  – center distance between the anterior right and posterior right teat;  $DG_1$  – diagonal between anterior left and posterior right teats;  $DG_2$  – diagonal between anterior right and posterior left teat**

Линейные параметры вымени определяются по выражению:

$$\left\{ \begin{array}{l} J = \sqrt{(x_{Pl} - x_{Pr})^2 + (y_{Pl} - y_{Pr})^2 + (z_{Pl} - z_{Pr})^2}; \\ K = \sqrt{(x_{Zl} - x_{Zr})^2 + (y_{Zl} - y_{Zr})^2 + (z_{Zl} - z_{Zr})^2}; \\ I = \sqrt{(x_{Pl} - x_{Zr})^2 + (y_{Pl} - y_{Zr})^2 + (z_{Pl} - z_{Zr})^2}; \\ l = \sqrt{(x_{Pr} - x_{Zr})^2 + (y_{Pr} - y_{Zr})^2 + (z_{Pr} - z_{Zr})^2}; \\ DG_1 = \sqrt{(x_{Zl} - x_{Pl})^2 + (y_{Zl} - y_{Pl})^2 + (z_{Zl} - z_{Pl})^2}; \\ DG_2 = \sqrt{(x_{Pl} - x_{Zr})^2 + (y_{Pl} - y_{Zr})^2 + (z_{Pl} - z_{Zr})^2}. \end{array} \right. \quad (9)$$

Математическая модель является неотъемлемой частью разработанного алгоритма определения биометрических параметров вымени (рис. 4). Режим работы установлен 5 кадров за 1 секунду, угол поворота камеры относительно сосков в плоскости  $OZX$  равен  $30^\circ$ .

Был разработан алгоритм, обеспечивающий функционирование системы, который

представлен на рисунке 4. Проверку работоспособности алгоритма определения биометрических параметров вымени, теоретическое обоснование установки оптического модуля, математические модели, обученную нейронную сеть на 6 тысячах снимков испытали на лабораторном стенде.

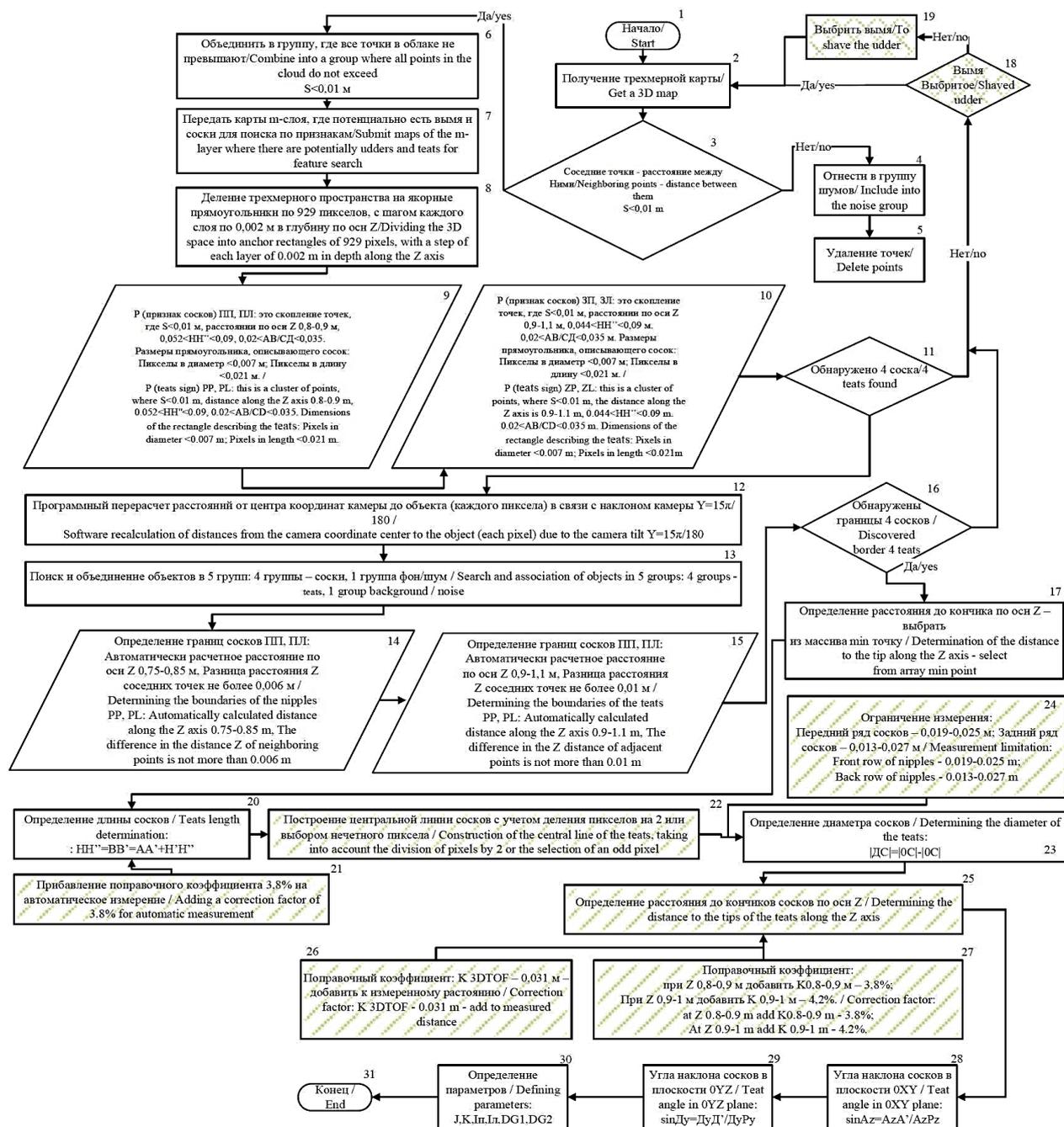


Рис. 4. Алгоритм определения биометрических параметров вымени / Fig. 4. Algorithm for determining the biometric parameters of the udder

На рисунке 5, а при определении параметров искусственного вымени видно, что сосок 1 перекрывает сосок 2, дополнительно присутствуют множественные скопления шумов, которые вызваны ярким солнечным светом. В положении (рис. 5, б) из черно-белого снимка видно, что все соски четкие, не перекрывают друг друга. На трехмерной карте положения, хорошо различимы соски под номерами 3, 4, которые находятся в правой

стороне вымени – ближние к оптическому модулю. При анализе трехмерных карт применяется алгоритм с шумоподавлением, методы, позволяющие «очищать» и обрабатывать трехмерные карты [11, 12].

Анализируя рисунок 5, можно сделать вывод, что оптический модуль следует устанавливать в соответствии с положением 2 (рис. 1).

Для проверки результатов стендовых испытаний и теоретических исследований

финальные экспериментальные исследования системы цифровой бонитировки вымени на работоспособность проводили на 10 животных в совхозе им. Ленина Московской области.

Установка оптического модуля производилась в соответствии с разработанными теоретическими моделями. Были получены трехмерные карты и черно-белые снимки (рис. 6).

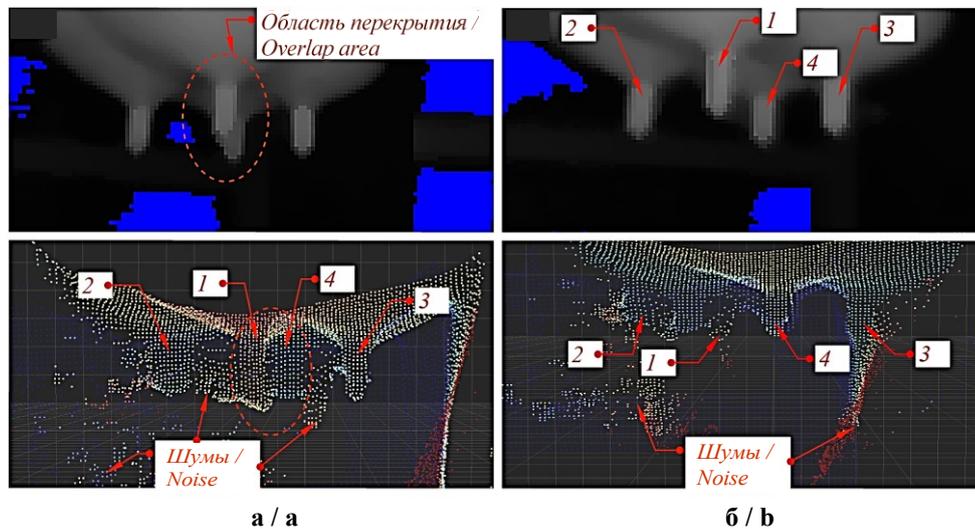


Рис. 5. Трехмерные карты искусственного вымени: а – положение оптического модуля 2 (рис. 1); б – положение оптического модуля 3 (рис. 1); 1 – Пп – передний правый сосок; 2 – Пл – передний левый сосок; 3 – Зп – задний правый сосок; 4 – Зл – задний левый сосок

Fig. 5. 3D artificial udder maps: а – position of the optical module 2 (Fig. 1); б – position of optical module 3 (fig. 1); 1 – Pp – anterior right teat; 2 – Pl – anterior left teat; 3 – Zp – rear right teat; 4 – Zl – rear left teat

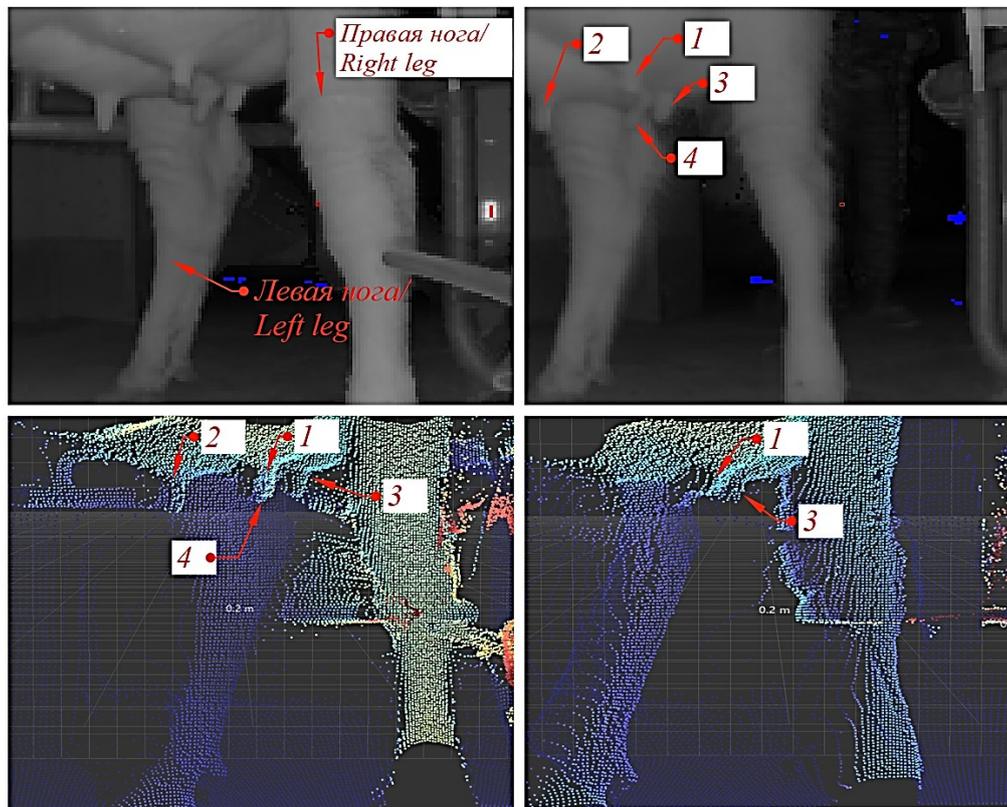


Рис. 6. Черно-белые снимки и трехмерные карты с экспериментальных исследований, натурные данные: 1 – Пп – передний правый сосок; 2 – Пл – передний левый сосок; 3 – Зп – задний правый сосок; 4 – Зл – задний левый сосок /

Fig. 6. Black and white images and 3D maps from experimental studies, field data: 1 – Pp – anterior right teat; 2 – Pl – anterior left teat; 3 – Zp – rear right teat; 4 – Zl – rear left teat

В ходе экспериментальных исследований столкнулись с проблемой, что дальние соски идентифицируются с ошибкой до 32 %. Передние соски идентифицируются с ошибкой до 7 %.

Анализируя линейные размеры идентифицированных сосков, установлены следующие значения: оценка длины 4 сосков колеблется в пределах от 0 до 0,002 м (2,6 % погрешность от фактического размера сосков). Определение диаметра сосков колеблется в пределах от 0 до 0,001 м (4,2 % погрешность от фактического размера сосков). Возникающие ошибки критически не повлияют на работоспособность, например, роботизированного манипулятора при одевании доильных стаканов (если система применяется в роботизированных доильных установках), также система не повлияет критически при автоматическом подборе сосковой резины, таким образом – результат идентификации считается положительным.

При определении расстояния до кончиков сосков ошибка составила от 0,002 до 0,008 м – не более 1 % при фактическом расстоянии от оптического модуля до задних сосков 0,095 м. Ошибка в измерении расстояния составила меньше 7 %.

Угол наклона в двух плоскостях был оценен с ошибкой от 0 до 1°. Измерения углов наклона сосков считаются результативными.

При измерении диагональных параметров, расстояний между сосками – параметр  $DG_2$  (рис. 3 – диагональное расстояние между сосками) имеет ошибку 6 %, параметр  $I_L$  (боковое левое расстояние между передним и задним рядами сосков) имеет ошибку 12,7 %, которая является совокупностью погрешности по всем ранее измеренным параметрам, для ее минимизации необходимо снижать ошибку измерения всех ранее измеряемых параметров. Остальные параметры имеют ошибку от 0 до 1 %.

Несмотря на то, что дальние соски идентифицируются с ошибкой до 32 %, передние соски идентифицируются с ошибкой до 7 %, параметр  $I_L$  имеет ошибку более 7 %.

Полученные экспериментальные данные по размерам вымени также сравнивались с результатами, полученными другими исследователями [13, 14]. Измеренные автоматически параметры вымени соответствовали усредненным характеристикам вымени в исследованиях других ученых и находятся в пределах, м:

- длина передних сосков 0,052-0,071;
- длина задних сосков 0,044-0,062;

- расстояние между:
  - передними сосками 0,156-0,246;
  - задними сосками 0,047-0,132;
  - боковыми сосками 0,070-0,146;
- диаметр сосков передних 0,019-0,025;
- диаметр сосков задних 0,013-0,027;
- угол отклонения от вертикали до 4° в любую сторону.

Таким образом, проведя проверку разработанного способа, следует несколько заключений. Для уменьшения возникающих шумов из-за солнечного света следует применять трехмерные времяпролетные камеры с длиной волны 940 нм, это позволит не только минимизировать влияние слабовидимого испускаемого света, для снижения возможного дискомфорта животных и человека (характерно для трехмерной камеры 03D 303 с длиной волны 850 нм), но и повысит устойчивость к солнечному свету, т. к. систему по определению биометрических параметров вымени планируется применять и вне помещения.

Оптический модуль с высокой ошибкой до 32 % идентифицирует задний ряд сосков, относительно оптического модуля. Улучшить ситуацию возможно при добавлении второго оптического модуля, тем самым установив оптические модули с двух сторон, тогда каждый оптический модуль работает только по передним рядам сосков. При добавлении второго оптического модуля необходимо будет внести изменения в математическую модель расчёта расстояний между сосками (рис. 3). Добавление второго оптического модуля повысит стоимость системы, но снизит количество неудачных идентификаций, снизит время нахождения животного в стойле.

**Выводы.** 1. Обоснованы рациональные параметры установки оптического модуля относительно вымени и сосков. Модуль может устанавливаться под углом 30° в плоскости 0ZX относительно вымени и сосков.

2. Передние соски идентифицируются с ошибкой до 7 %, дальние соски – с ошибкой до 32 %. Улучшение ситуации возможно при добавлении второго оптического модуля, при этом необходимы изменения математической модели расчета расстояний между сосками, что требует дальнейших исследований.

3. По результатам проведенных экспериментальных исследований установлено, что измеренные результаты по 24 параметрам из 26 имеют ошибку меньше 5 %, параметр  $DG_2$

(диагональное расстояние между сосками) имеет ошибку 6 %, параметр  $I_L$  (боковое левое расстояние между передним и задним рядами

сосков) имеет ошибку 12,7 %. Ошибка измерения расстояния до кончика соска находится в пределах от -0,004 до -0,007 м по оси Z.

*Список литературы*

1. Кирсанов В. В., Цой Ю. А. Тенденции развития биотехнических систем в животноводстве. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020;14(3):27-32. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-27-32> EDN: ЕКАННХ
2. Харченко А. В., Фейзуллаев Ф. Р., Лепехина Т. В. Экстерьерные особенности казахской белоголовой породы крупного рогатого скота. Главный зоотехник. 2022;(6-1):62-64. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48575944> EDN: НСНСJB
3. Ситдииков Ф. Ф., Цой Ю. А., Зиганшин Б. Г. Основные направления и проблемы цифровизации агропромышленного комплекса. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019;14(3(54)):112-115. DOI: [https://doi.org/10.12737/article\\_5db97473887137.67106533](https://doi.org/10.12737/article_5db97473887137.67106533) EDN: EWHGNE
4. Чиндалиев А. Е., Калимолдинова А. С., Алипов А. У., Баймуханов А. Д. Использование линейной оценки экстерьера коров. Главный зоотехник. 2019;(8):32-38. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41098038> EDN: НУСФХА
5. Горбунова О. С., Бражник М. В. Человеческий капитал сельского хозяйства и проблемы его роста. Аграрное образование и наука. 2018;(1):4. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36525559> EDN: YPLFDN
6. Павкин Д. Ю., Юрочка С. С., Хакимов А. Р., Довлатов И. М. Разработка интеллектуальной весовой платформы для проведения бонитировочных работ. Агротехника и энергообеспечение. 2022;12(13):52-58. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49525733> EDN: FУННKE
7. Юрочка С. С., Хакимов А. Р., Довлатов И. М., Владимиров Ф. Е., Павкин Д. Ю., Матвеев В. Ю. Применение метода определения биометрических параметров вымени лактирующих животных с использованием сверточной нейронной сети. Вестник НГИЭИ. 2022;(9(136)):30-40. DOI: <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-9-30-40> EDN: XLPHLO
8. Захарова А. А., Бондарев А. Е., Коростелёв Д. А., Подвесовский А. Г. Построение трехмерных визуальных карт обобщенного вычислительного эксперимента. Scientific Visualization and Visual Analytics. ГрафиКон 2022: 32-я Международ. конф. по компьютерной графике и машинному зрению, 19-22 сентября 2022 г., Рязанский государственный радиотехнический университет им. В. Ф. Уткина. Рязань, 2022. С. 362-371. Режим доступа: [https://www.graphicon.ru/html/2022/papers/paper\\_035.pdf](https://www.graphicon.ru/html/2022/papers/paper_035.pdf)
9. Иордан В. И. Методы коррекции последовательной линейной интерполяции для нахождения нулей функций и характеристического полинома матриц специального вида. Известия Алтайского государственного университета. 2018;(1(99)):92-98. DOI: [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2018\)1-16](https://doi.org/10.14258/izvasu(2018)1-16) EDN: YRHUIC
10. Миралиев О. О., Кудратов С. Г. Удаление шумов в трехмерных точечных облаках, построенных из световых полей. Big Data and Advanced Analytics. 2021;(7-1):284-286. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46482815> EDN: DMEEWD
11. Suslov S. O., Zhuravko N. S., Filatov R. A., Uzbekov E. R., Berkimbay O. S., Mukhatzhanov A., Sorokin A. S., Fagereva V. A. Improving the Dynamic Characteristics of a Seismic Image by Applying Modern Methods of Interpretation Support and Processing on the Example of a Field in Eastern Siberia. Geomodel. 2020. European Association of Geoscientists & Engineers. 2020;2020:1-6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202050097>
12. Шардаков В. М., Запорожко В. В., Парфёнов Д. И., Извозчикова В. В. Разработка адаптивного модуля визуализации окружающего пространства для облачной образовательной среды. Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2018): мат-лы одиннадцатой Международ. конф. В двух томах. Т. II. М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2018. С. 376-378. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36620714> EDN: YRCNFZ
13. Кадралиева Б. Т., Косилов В. И. Влияние генотипа коров-перволеток на морфометрические показатели и функциональные свойства вымени. Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина. 2021;(2(56)):132-136. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46179806> EDN: LBGMOU
14. Кибкало Л. И., Сидорова Н. В. Влияние линейной принадлежности коров на их морфологические и функциональные свойства вымени. Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2021;(3(21)):52-56. Режим доступа: <https://bsaa.edu.ru/upload/2021/3%202021.pdf>

*References*

1. Kirsanov V. V., Tsoy Yu. A. Trends in the Development of Biotechnical Systems in Animal Husbandry. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*. 2020;14(3):27-32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-27-32>
2. Kharchenko A. V., Feyzullaev F. R., Lepekhina T. V. The exterior features of the Kazakh white-headed cattle. *Glavnyy zootekhnik = Head of Animal Breeding*. 2022;(6-1):62-64. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48575944>

3. Sitdikov F. F., Tsoy Yu. A., Ziganshin B. G. Main directions and problems of digitalization of agricultural complex. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2019;14(3(54)):112-115. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.12737/article\\_5db97473887137.67106533](https://doi.org/10.12737/article_5db97473887137.67106533)

4. Chindaliev A. E., Kalimoldinova A. S., Alipov A. U., Baimukanov A. D. the use of linear evaluation of body conformation of cows. *Glavnyy zootehnik* = Head of Animal Breeding. 2019;(8):32-38. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41098038>

5. Gorbunova O. S., Brazhnik M. V. Human capital of agriculture and problem of his growth. *Agrarnoe obrazovanie i nauka* = Agrarian education and science. 2018;(1):4. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36525559>

6. Pavkin D. Yu., Yurochka S. S., Khakimov A. R., Dovlatov I. M. Development of an intelligent weighing platform for appraisal work. *Agrotekhnika i energoobespechenie*. 2022;12(13):52-58. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49525733>

7. Yurochka S. S., Khakimov A. R., Dovlatov I. M., Vladimirov F. E., Pavkin D. Yu., Matveev V. Yu. Application of the method for determining the biometric parameters of the udder of lactating animals using a convolutional neural network. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGIEI. 2022;(9(136)):30-40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-9-30-40>

8. Zakharova A. A., Bondarev A. E., Korostelyov D. A., Podvesovskii A. G. Constructing of Three-dimensional Visual Maps of Generalized Computational Experiment. Scientific Visualization and Visual Analytics. *GrafiKon 2022: The 32nd International Conference on Computer Graphics and Machine Vision, September 19-22, 2022, Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin. Ryazan', 2022*. pp. 362-371. URL: [https://www.graphicon.ru/html/2022/papers/paper\\_035.pdf](https://www.graphicon.ru/html/2022/papers/paper_035.pdf)

9. Jordan V. I. Sequential linear interpolation correction methods used for finding zeros of functions and characteristic polynomials of matrices of a special form. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta* = Izvestiya of Altai State University. 2018;(1(99)):92-98. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2018\)1-16](https://doi.org/10.14258/izvasu(2018)1-16)

10. Miraliev O. O., Kudratov S. G. Noise removal in three-dimensional point clouds constructed from light fields. *Big Data and Advanced Analytics*. 2021;(7-1):284-286. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46482815>

11. Suslov S. O., Zhuravko N. S., Filatov R. A., Uzbekov E. R., Berkimbay O. S., Mukhatzhanov A., Sorokin A. S., Fagereva V. A. Improving the Dynamic Characteristics of a Seismic Image by Applying Modern Methods of Interpretation Support and Processing on the Example of a Field in Eastern Siberia. *Geomodel*. 2020. European Association of Geoscientists & Engineers. 2020;2020:1-6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202050097>

12. Shardakov V. M., Zaporozhko V. V., Parfenov D. I., Izvotchikova V. V. Development of an adaptive module of visualization of the surrounding space for a cloud-forming environment. The management of the development of large-scale systems (MLSD'2018): Proceedings of the 11th International. conf. In two volumes. Vol. II. Moscow: *Institut problem upravleniya im. V. A. Trapeznikova RAN*, 2018. pp. 376-378. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36620714>

13. Kadralieva B. T., Kosilov V. I. Influence of the genotype of cows on the morphometric indicators and functional properties of the udder. *Vestnik Kyrgyzskogo natsional'nogo agrarnogo universiteta im. K. I. Skryabina*. 2021;(2(56)):132-136. (In Kyrgyzstan) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46179806>

14. Kibkalo L. I., Sidorova N. V. Influence of the cows' line belonging on the morphological and functional properties of their udder. *Aktual'nye voprosy sel'skokhozyaystvennoy biologii* = Actual issues in agricultural biology. 2021;(3(21)):52-56. (In Russ.). URL: <https://bsaa.edu.ru/upload/2021/3%202021.pdf>

#### *Сведения об авторах*

**Павкин Дмитрий Юрьевич**, кандидат техн. наук, ст. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: [vim@vim.ru](mailto:vim@vim.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

✉ **Юрочка Сергей Сергеевич**, кандидат техн. наук, ст. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: [vim@vim.ru](mailto:vim@vim.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2511-7526>, e-mail: [yurochkast@icloud.com](mailto:yurochkast@icloud.com)

#### *Information about the authors*

**Dmitriy Yu. Pavkin**, PhD in Engineering, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: [vim@vim.ru](mailto:vim@vim.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

✉ **Sergey S. Yurochka**, PhD in Engineering, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: [vim@vim.ru](mailto:vim@vim.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2511-7526>, e-mail: [yurochkast@icloud.com](mailto:yurochkast@icloud.com)

✉ – Для контактов / Corresponding author