

# ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.171

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-2-4-9



## Графоаналитическая оценка функционирования локальных биотехнических систем в животноводстве

**Владимир Вячеславович Кирсанов**<sup>✉</sup>, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор<sup>1</sup>  
kirvv2014@mail.ru<sup>✉</sup>; <https://orcid.org/0000-0003-2549-4070>

**Алексей Семенович Дорохов**, академик РАН, д-р техн. наук, профессор РАН<sup>1</sup>  
dorokhov.vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; Researcher ID: H-4089-2018

**Юрий Анатольевич Иванов**, академик РАН, д-р с.-х. наук<sup>2</sup>  
vniimzh@mail.ru

<sup>1</sup> Федеральное научное агроинженерное учреждение ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

<sup>2</sup> Институт механизации животноводства – филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ; 108823, Российская Федерация, г. Москва, поселение Рязановское, поселок Знамя Октября, д. 31

**Аннотация.** Процессы развития биотехнических систем в животноводстве характеризуются уровнем их интеллектуальной и цифровой трансформации на основе нейросетевых технологий и систем искусственного интеллекта, которые должны эффективно распознавать и учитывать рефлекс, индивидуальную и групповую мотивацию поведения животных и возможную их реализацию в соответствующих локальных технологических подсистемах. Пути к местам отдыха и самообслуживания животных могут быть представлены в виде ориентированного графа, для анализа которого предложен интегральный ST-критерий (путь-время), характеризующий продолжительность перемещения по ребрам графа (логистической инфраструктуре коровника) между его вершинами: пунктами обслуживания животных в соответствующих локальных биотехнических системах (ЛБТС доения, кормления, поения и др.). Графоаналитическая оценка по каждому животному позволяет оценить холостые переходы от мест отдыха к местам обслуживания (самообслуживания), продолжительность обслуживания в соответствующих ЛБТС (рабочий ход), лечение в стационаре при наличии заболеваний, суммарную двигательную активность, общее время отдыха в боксе (не менее 14 ч для высокопродуктивных животных), в том числе продолжительность ночного и дневного отдыха, аномальные перерывы между доениями (свыше 14 ч) в случае «добровольного» доения в автоматических системах (роботах) и др. Сопоставив фотохронометражные показатели с продуктивностью и физиологическим состоянием каждого животного в отдельности и проанализировав возможные потери времени (простои) в местах обслуживания (самообслуживания), отклонения в поведении животных, получим четкую картину организации и эффективности выполнения технологических процессов на ферме, возможные потери продуктивности и издержки производства. Графоаналитическая оценка функционирования локальных биотехнических систем в животноводстве, оснащенных системами идентификации животных и видеонаблюдения, позволит оптимизировать управление технологическими процессами на ферме.

**Ключевые слова:** графоаналитическая оценка, оценка функционирования локальных биотехнических систем, ЛБТС, обслуживание животных, интегральный ST-критерий (путь-время), управление технологическими процессами на ферме

**Формат цитирования:** Кирсанов В.В., Дорохов А.С., Иванов Ю.А. Графоаналитическая оценка функционирования локальных биотехнических систем в животноводстве // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 2. С. 4-9. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-4-9>.

© Кирсанов В.В., Дорохов А.С., Иванов Ю.А., 2023

## ORIGINAL ARTICLE

**Graph analytics of the performance of local biotechnical systems in animal husbandry***Vladimir V. Kirsanov*<sup>✉</sup>, *Corresponding Member of RAS, DSc (Eng), Professor*<sup>1</sup>kirvv2014@mail.ru<sup>✉</sup>; <https://orcid.org/0000-0003-2549-4070>*Aleksei S. Dorokhov*, *Full Member of RAS, DSc (Eng) Professor*<sup>1</sup>dorokhov.vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; Researcher ID: H-4089-2018*Yury A. Ivanov*, *Full Member of RAS, DSc (Ag)*<sup>2</sup>

vniimzh@mail.ru

<sup>1</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 5, 1<sup>st</sup> Institutskiy Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation<sup>2</sup> Institute of Animal Husbandry Mechanization – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 31, Znamya Oktyabrya Settlement, Ryazanovskoe, 108823, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The development of biotechnical systems in animal husbandry is characterized by the level of its intellectual and digital transformation based on neural network technologies and artificial intelligence systems. They are supposed to efficiently recognize and take into account the reflexes, individual and group motivation of animal behavior and implement them in the corresponding local technological subsystems. Pathways to resting and self-service places for animals can be represented in the form of an oriented graph. To analyze it, the authors propose an integral ST-criterion (path-time), characterizing the duration of movement along the graph edges (a logistical infrastructure of the barn) between its vertices. The proposal includes some points of animal service in the corresponding local biotechnological systems (LBTS) (those of milking, feeding, watering, etc.). The graph analytics for each animal helps estimate idle travels from resting to service places (self-service), duration of service in the respective LBTS (working movement), veterinary treatment in case of diseases, total motor activity, total rest time in the box (at least 14 hours for highly productive animals), including duration of night and day rest, abnormal breaks between milkings (over 14 hours) in case of “voluntary” milking in automatic systems (robots), etc. By comparing photo-chronometer indicators with productivity and physiological state of each animal separately and analyzing possible time losses (downtime) at service (self-service) places, deviations in animal behavior, we can get a clear picture of the organization and efficiency of technological processes on the farm, possible productivity losses and production costs. The graph analytics of local biotechnical systems in cattle breeding equipped with animal identification and video surveillance systems will enable farmers to optimize the on-farm control of technological processes.

**Keywords:** graph analytics, performance evaluation of local biotechnical systems (LBTS), service of animals, integral ST-criterion (path-time), control of on-farm technological processes

**For citation:** Kirsanov V.V., Dorokhov A.S., Ivanov Yu.A. Graph analytics of the performance of local biotechnical systems in animal husbandry. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(2):4-9. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-4-9>.

**Введение.** Процессы развития биотехнических систем в животноводстве характеризуются уровнем их интеллектуальной и цифровой трансформации на основе нейросетевых технологий и систем искусственного интеллекта. Некоторые аспекты интеллектуализации биотехнических систем в животноводстве рассматриваются на основе структурной трансформации системы «Человек-машина-животное» по машино-центрическому типу [1]. Наблюдается постепенное повышение роли и автоматизации «машинного фактора» за счет передачи части функций контроля и управления от человека-оператора (ЧО) «машине», а также «взятие под контроль» животного на основе чипирования с помощью различных датчиков оценки его физиологического состояния [2].

Биологические объекты начинают взаимодействовать напрямую с «машиной», которая «распознает» необходимую ей информацию для принятия правильных функциональных решений при обслуживании (самообслуживании) животных: готовность к доению, потреблению кормов и воды; отклонения в параметрах микроклимата; наличие стрессов, половой охоты и др. Биологические

циклы: суточные (кратность доения, кормления) и годовые (половая охота, отелы) – являются безусловным приоритетом в машинных алгоритмах обслуживания животных, поскольку от этого напрямую зависят их здоровье, продуктивные и воспроизводительные функции. Технологии искусственного интеллекта должны эффективно распознавать рефлекс и мотивацию животных и возможность их наилучшей реализации в соответствующих локальных технологических подсистемах. В животноводстве, как правило, формируется индивидуальная и групповая мотивация биологических объектов. Например, индивидуальная мотивация наиболее полно реализуется при «добровольном» доении в роботизированном боксе по потребности в зависимости от суточного удоя (3...4 раза) с дополнительным мотивационным фактором в виде подкормки концентратами, что способствует более активному посещению коровами бокса в намерении быть накормленными и подоенными [3].

Кормление животных кормовой смесью в основном рационе организуется по принципу свободного группового доступа к обслуживаемому кормовому столу [4].

Однако практически все процессы связаны с различной индивидуальной активностью животных, их статусностью, которая влияет на поведение, а в отдельных случаях вызывает и агрессию (соперничество) за лучшее место для отдыха или доступ к местам самообслуживания (корм, вода, доильный бокс и др.) [5]. Локальные биотехнические системы (ЛБТС кормления, доения и др.) должны учитывать подобные явления таким образом, чтобы исключить «узкие» места скопления животных в технологических модулях. Животные достаточно быстро привыкают и справляются с этой задачей, однако определенная часть поголовья все же требует побудительной мотивации (подгона) ввиду болезней или ослабленного состояния [6].

**Цель исследований:** изучить основные особенности и закономерности функционирования локальных биотехнических систем в животноводстве графоаналитическими методами.

**Материалы и методы.** Организация адаптивного управления в автономных биотехнических системах (доения, кормления, поения, управления микроклиматом и др.) подразумевает выделение и учет естественных нормальных факторов рефлекторного поведения и мотивации животных, аномальных факторов агрессии и дополнительных факторов искусственной побудительной мотивации по причине болезней, травм, изменения статуса для реализации в машинных алгоритмах обслуживания животных. Для этих целей применяются селекционные устройства, отделяющие больных животных от здоровых, автоматические подгонщики в доильных залах, чесалки и др. [7]. Основные пути к местам отдыха и самообслуживания животных можно представить в виде графа состояния<sup>1</sup>, описав пути и продолжительность выполнения циклов самообслуживания в локальных биотехнических системах, минимизирующих возникновение стрессовых ситуаций и обеспечивающих наиболее полную реализацию генетического потенциала животных.

Все факторы поведения животных можно условно подразделить на физиологически нормальные и аномальные (болезни, агрессия и др.):

$$\Phi_{ж} = \Phi_{ж}^н + \Phi_{ж}^а \tag{1}$$

где  $\Phi_{ж}^н$ ,  $\Phi_{ж}^а$  – соответственно группа физиологически нормальных и аномальных факторов.

К физиологически нормальным факторам относятся естественные потребности: потребление корма ( $\Phi_{к}$ ), воды ( $\Phi_{в}$ ), отдых ( $\Phi_{о}$ ), доение ( $\Phi_{д}$ ), дефекация ( $\Phi_{дф}$ ), половая охота ( $\Phi_{по}$ ) и другие ( $\Phi_{пж}^н$ ), обусловленные естественной рефлекторной мотивацией [8].

К аномальным факторам поведения следует отнести «нежелание» доения (травма вымени, мастит, перед

запуском), малоподвижность (лежит и не встает, болезни конечностей), малое потребление корма и воды (болезни ЖКТ), тепловые стрессы ( $\Phi_{тс}$ ), агрессивное поведение ( $\Phi_{аг}$ ) и др. ( $\Phi_{ж}^а$ ) [9]:

$$\Phi_{ж}^н = \Phi_{к}^н + \Phi_{в}^н + \Phi_{о}^н + \Phi_{д}^н + \Phi_{дф}^н + \Phi_{по}^н + \dots + \Phi_{пж}^н \tag{2}$$

$$\Phi_{ж}^а = \Phi_{к}^а + \Phi_{в}^а + \Phi_{о}^а + \Phi_{д}^а + \Phi_{дф}^а + \Phi_{по}^а + \Phi_{тс}^а + \Phi_{аг}^а \dots \Phi_{пж}^а \tag{3}$$

Основной задачей построения интеллектуальных систем машинного обслуживания животных является распознавание этих факторов и создание (несоздание) соответствующих условий для их реализации. В общем виде это условие можно записать в виде суммарного отклонения параметров нормального поведения от аномального и сравнения с допустимыми значениями, которые могут быть выражены временными параметрами, балльной шкалой, частотой посещения соответствующих подсистем и др.:

$$\Delta\Phi_{ж} = \sum (\Phi_{i}^н - \Phi_{i}^а) \leq \sum \Delta\Phi_{доп} \tag{4}$$

Задача обслуживающих подсистем и в целом повышение устойчивости функционирования биотехнической системы «Ч-М-Ж» заключается в минимизации количества аномальных отклонений параметров животных и их выходе за пределы допустимых значений.

**Результаты и их обсуждение.** Процессы, протекающие в локальных биотехнических системах (ЛБТС), можно представить в виде ориентированного графа с циклами типа «Коровник-ЛБТС-коровник», выделив в них соответствующие временно-путевые маршруты (рис.).

Для анализа целесообразно предложить интегральный ST-критерий (путь-время), характеризующий продолжительность перемещения по ребрам графа между его вершинами и нахождения в них на обслуживании в соответствующих ЛБТС доения, кормления, поения и т.д. Так, временно-путевой показатель маршрута посещения отдельными животными ЛБТС доения можно записать как

$$\sum S_{di} T_{di} = (S_{1d} T_{1d}) + (S_{2d} T_{2d}) + (S_{3d} T_{3d}) + (S_{4,1d=0} T_{4d}) + (S_{4,2d=0} T_{4,2d}) + (S_{4d} T_{4d}) + (S_{5d} T_{5d}) + (S_{6,1d=0} T_{6,1d}) + (S_{6d} T_{6d}) + (S_{6,2d} T_{6,2d}) + (S_{7,1=0d} T_{7,1d}) + (S_{7d} T_{7d}) \tag{5}$$

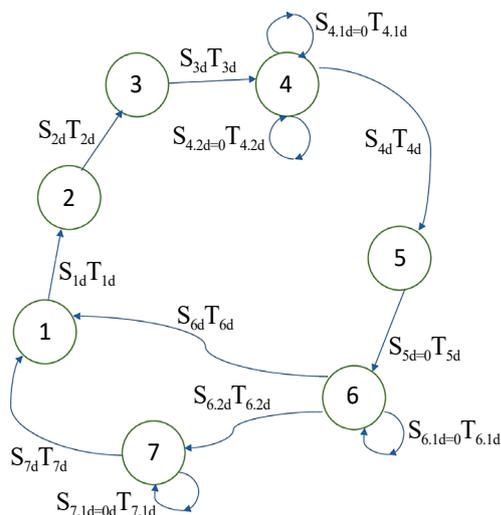
В петлях графа, инцидентных одной вершине ( $S_{4,1d=0}$ ,  $S_{4,2d=0}$ ,  $S_{6,1d=0}$ ,  $S_{7,1=0d}$ ), соответствующие перемещения равны нулю, так как выполняются на конкретном рабочем месте ЛБТС<sub>д</sub>, тогда возможны их логические объединения с ребрами, имеющими ненулевыми перемещения:

$$\begin{cases} S_{4d} (T_{4d} + T_{4,1d} + T_{4,2d}) = (S_{4,1d=0} T_{4,1d}) + (S_{4,2d=0} T_{4,2d}) + (S_{4d} T_{4d}); \\ S_{5d} (T_{5d} + T_{6,1d}) = (S_{5d} T_{5d}) + (S_{6,1d=0} T_{6,1d}); \\ S_{7d} (T_{7d} + T_{7,1d}) = (S_{7,1d=0} T_{7,1d}) + (S_{7d=0} T_{7d}). \end{cases} \tag{6}$$

Выражения (6) подставляем в (5) и окончательно запишем:

$$\sum S_{di} T_{di} = (S_{1d} T_{1d}) + (S_{2d} T_{2d}) + (S_{3d} T_{3d}) + S_{4d} (T_{4d} + T_{4,1d} + T_{4,2d}) + S_{5d} (T_{5d} + T_{6,1d}) + (S_{6d} T_{6d}) + (S_{6,2d} T_{6,2d}) + S_{7d} (T_{7d} + T_{7,1d}) \tag{7}$$

<sup>1</sup> Стрекозов Н.И., Сивкин Н.В., Чинаров В.И. и др. Методические рекомендации по адаптации импортного крупного рогатого скота к технологическим условиям хозяйств Калужской области. Дубровицы, 2012. 63 с.



**Рис. Ориентированный граф состояния локальной биотехнической системы доения (ЛБТС<sub>д</sub>) с циклами типа «Коровник-ЛБТС<sub>д</sub>-коровник»:**

- $S_{1d}T_{1d}$  – временно-путевой переход из коровника в преддоильный накопитель;
- $S_{2d}T_{2d}$  – ожидание и вход на доильную площадку;
- $S_{3d}T_{3d}$  – временно-путевой переход по доильной площадке до конкретного доильного места;
- $S_{4,1d=0}T_{4,1d}$  – выполнение подготовительных операций к доению;
- $S_{4,2d=0}T_{4,2d}$  – доение и выполнение заключительных операций по обработке сосков;  $S_{4d}T_{4d}$  – суммарный временно-путевой выход с доильной площадки;
- $S_{5d=0}T_{5d}$  – ожидание и проход в селекционные ворота;
- $S_{6,1d=0}T_{6,1d}$  – нахождение в селекционных воротах;
- $S_{6d}T_{6d}$  – временно-путевой переход из селекционных ворот в коровник или в зооветблок на лечение ( $S_{6,2d}T_{6,2d}$ );
- $S_{7,1d=0}T_{7,1d}$  – нахождение в зооветблоке на лечении;
- $S_{7d}T_{7d}$  – переход из зооветблока в коровник

**Fig. Oriented graph of the state of a local biotechnical milking system (LBTmS) with barn-LBTmS-barn type cycles:**

- $S_{1d}T_{1d}$  – time-path travel from the barn to the pre-milking pen;
- $S_{2d}T_{2d}$  – waiting and entering the milking parlor;
- $S_{3d}T_{3d}$  – time-path travel across the milking parlor to a specific milking location;
- $S_{4,1d=0}T_{4,1d}$  – milking preparation operations;
- $S_{4,2d=0}T_{4,2d}$  – milking and final teat handling operations;
- $S_{4d}T_{4d}$  – total time-path travel from the milking parlor;
- $S_{5d=0}T_{5d}$  – waiting and entering breeding gate;
- $S_{6,1d=0}T_{6,1d}$  – stay in the selection gate;
- $S_{6d}T_{6d}$  – time-path travel from the selection gate to the barn or the veterinary pen for treatment ( $S_{6,2d}T_{6,2d}$ );
- $S_{7,1d=0}T_{7,1d}$  – stay in the veterinary pen for treatment;
- $S_{7d}T_{7d}$  – travel from the veterinary pen to the barn

Общие выражения временно-путевых маршрутов в ЛБТС<sub>д</sub> доения для разового обслуживания технологической группы ( $S_{dr}^p, T_{dr}^p$ ) или стада  $S_{dc}^p, T_{dc}^p$  в целом, а также суточного обслуживания ( $S_{dr}^c, T_{dr}^c$ ;  $S_{dc}^c, T_{dc}^c$ ) можно получить, просуммировав выражение (7) по числу коров в группе (от 1 до n) и по числу технологических групп в стаде (от 1 до m):

$$\begin{cases} S_{dr}^p T_{dr}^p = \sum S_{di} T_{di}; \\ S_{dc}^p T_{dc}^p = \sum \sum S_{di} T_{di}; \\ S_{dr}^c T_{dr}^c = \sum S_{di} T_{di} \cdot \kappa_{cyr}; \\ S_{dc}^c T_{dc}^c = \sum \sum S_{di} T_{di} \cdot \kappa_{cyr}. \end{cases} \quad (8)$$

Критерии результативности  $P_{ЛБТС_д}$  локальной биотехнической системы доения (ЛБТС<sub>д</sub>) можно записать в виде целевой функции:

$$P_{ЛБТС_д} = [\sum S_{i,d} T_{i,d} - \min, \sum z_{i,d} - \min, \sum q_{i,d} - \max, \Delta q_i \leq \Delta q_{доп}], \quad (9)$$

где  $\sum z_{i,d}$ ,  $\sum q_{i,d}$  – соответственно суммарная заболеваемость животных и суммарный удой технологической группы в локальной ЛБТС<sub>д</sub> доения;  $\Delta q_{i,d}$ ,  $\Delta q_{доп}$  – соответственно текущие и допустимые колебания индивидуальных разовых и суточных удоев (кг) в ЛБТС<sub>д</sub> доения.

Граф на рисунке 1 представляет детализацию функционирования ЛБТС<sub>д</sub>, включающую в себя пространственно-временные отрезки перемещения животных, групп животных или стада в целом. Граф позволяет оценить эффективность функционирования логистических элементов коровника, технологических проходов, селекционных ворот, дезбарьеров и др. При «затягивании» этих показателей по причине болезней конечностей, копыт или неправильного (агрессивного) поведения отдельных животных, неисправностей логистической инфраструктуры (селекционных ворот, ворот доильной установки и др.) или неправильной работы оператора-подгонщика животных система диагностики ЛБТС<sub>д</sub> зафиксирует соответствующие отклонения и этап, на котором они произошли, и передаст соответствующую информацию в АСУ фермы, которую должен проанализировать профильный специалист. Прохождение каждого этапа (ребра графа) должно фиксироваться соответствующими идентификационными датчиками животных или системами видеонаблюдения<sup>2</sup>.

Аналогичным образом можно рассмотреть и другие технологические процессы – например, группового кормления на кормовом столе<sup>3</sup>:

$$\sum S_{ki} T_{ki} = (S_{1k} T_{1k}) + (S_{2k} T_{2k}) + (S_{3k=0} T_{3k}) + (S_{4k=0} T_{4k}) + (S_{5k=0} T_{5k}) + (S_{6k} T_{6k}), \quad (10)$$

где  $S_{1k} T_{1k}$  – временно-путевой переход для отдельных животных из коровника к кормовому столу;  $S_{2k} T_{2k}$  – переход животного к конкретному кормоместу на кормовом столе;  $S_{3k=0} T_{3k}$  – ожидание подачи кормов на кормовой стол;  $S_{4k=0} T_{4k}$  – продолжительность разового кормления;  $S_{5k} T_{5k}$  – временно-путевой переход от кормового стола к автопоилке;  $S_{6k} T_{6k}$  – временно-путевой переход от автопоилки к стойлу.

Объединяя слагаемые с нулевыми перемещениями по аналогии с выражением (6), запишем:

$$S_{ki} T_{ki} = (S_{1k} T_{1k}) + S_{2k} (T_{2k} + T_{3k} + T_{4k}) + (S_{5k} T_{5k}) + (S_{6k} T_{6k}). \quad (11)$$

По аналогии с системой (8) суммарные выражения временно-путевых маршрутов в ЛБТС<sub>к</sub> кормления

<sup>2</sup> Буркатовская Ю.Б. Теория графов: Учебное пособие. Ч. 1. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. 200 с.

<sup>3</sup> Система DeLaval Optimat™. Комплексное решение, использующее автоматизацию для повышения эффективности кормления. URL: <https://www.delaval.com/ru/explore/feeding/delaval-optimat/> (дата обращения: 01.10.2022).

для разового обслуживания технологической группы ( $S_{кг}^p T_{кг}^p$ ) и стада ( $S_{кc}^p T_{кc}^p$ ) в целом, а также суточного обслуживания ( $S_{кг}^c T_{кг}^c, S_{кc}^c T_{кc}^c$ ) можно получить, просуммировав выражение (11) по числу коров в группе и по числу технологических групп кормления (оно может отличаться от числа групп в ЛБТС<sub>д</sub> доения) в стаде:

$$\begin{cases} S_{кг}^p T_{кг}^p = \sum S_{ки} T_{ки}; \\ S_{кc}^p T_{кc}^p = \sum \sum S_{ки} T_{ки}; \\ S_{кг}^c T_{кг}^c = \sum S_{ки} T_{ки} \cdot K_{сут}; \\ S_{кc}^c T_{кc}^c = \sum \sum S_{ки} T_{ки} \cdot K_{сут}. \end{cases} \quad (12)$$

По аналогии с доением общий многокритериальный функционал для ЛБТС<sub>к</sub> кормления можно представить как

$$P_{ЛБТСк} = [\sum S_{ик} T_{ик} - \min, \sum z_i - \min, \sum q_i - \max, \Delta q_{ик} \leq \Delta q_{доп}], \quad (13)$$

где  $\sum z_{ик}, \sum q_{ик}$  – соответственно суммарная заболеваемость пищеварительной системы животных и суммарный коэффициент конверсии корма технологической группы в ЛБТС<sub>к</sub> кормления;  $\Delta q_{ик}, \Delta q_{доп}$  – соответственно текущие и допустимые колебания индивидуальной массы животных, кг.

Аналогичным образом можно записать временно-путевые показатели маршрутов перемещения животных в системах автопоения, на выгульных площадках и других подсистемах, определив на их основе суммарную индивидуальную суточную двигательную активность животных, продолжительность отдыха в боксах, количество посещений мест кормления, поения, доения, дефекации и др.

В результате по каждому животному можно оценить холостые переходы от мест отдыха к местам обслуживания (самообслуживания) в соответствующих ЛБТС доения, поения, кормления (рабочий ход), лечения в стационаре при наличии заболеваний, суммарную двигательную активность, общее время отдыха в боксе (не менее 14 ч для высокопродуктивных животных), в том числе продолжительность ночного и дневного отдыха, значительные перерывы между доениями (свыше 14 ч) в случае «добровольного» доения в автоматических системах (роботах). Автохронометраж каждого животного в отдельности и анализ потерь времени (простои) в местах обслуживания (самообслуживания) дает внятную картину организации и эффективности выполнения отдельных технологических процессов на ферме и связанные с этим возможные потери продуктивности и издержки производства.

Классифицируя подобным образом временно-путевые перемещения животных на холостые (Х), рабочие (Раб) по обслуживанию в соответствующих ЛБТС

доения, кормления, поения и др., отдых в боксах (О), лечение и зооветеринарное обслуживание в боксах (ЗО), пребывание на выпасах и выгульных площадках (В), можно получить суммарные суточные циклы индивидуального обслуживания каждого животного в отдельных подсистемах и оценить эффективность их функционирования отношением полезной работы к полной:

$$\begin{aligned} \sum \sum S_{жи}^c T_{жи}^c &= \sum S_{жи}^x T_{жи}^x + \sum S_{жи}^{раб} T_{жи}^{раб} + \\ &+ \sum S_{жи}^o T_{жи}^o + \sum S_{жи}^{зо} T_{жи}^{зо} + \sum S_{жи}^в T_{жи}^в \\ КПД_{жи} &= \frac{\sum S_{рабжи} T_{рабжи}}{\sum \sum S_{сжи} T_{сжи}}. \end{aligned} \quad (14)$$

Технико-экономические показатели функционирования ЛБТС характеризуются количеством произведенной продукции в виде разовых и суточных удоев животных, коэффициентами неравномерности суточных удоев и конверсии корма [10].

### Выводы

1. Условный КПД животного можно выразить отношением полезной двигательной временно-путевой нагрузки, совершаемой животным при обслуживании в ЛБТС кормления, поения, доения и т.п., к суммарной временно-путевой нагрузке, используя интегральный СТ-критерий, позволяющий оценить в комплексе быстроту перемещения (обслуживания) по показателю «Т» и пройденный путь к местам обслуживания, определяемый шагомером по показателю «S».

2. Анализируя интегральный СТ-критерий (путь-время), можно оценить соответствующие траектории перемещения животных и временные интервалы их выполнения, осуществляя пошаговый мониторинг прохождения соответствующих точек (этапов) обслуживания и фиксируя возникающие при этом затруднения и проблемы. Можно отслеживать изменение пропускной способности технологических модулей и локальных биотехнических подсистем (ЛБТС) в целом, начало и продолжительность соответствующего этапа обслуживания животных, изменение их физиологического состояния (статуса: наступление половой охоты, болезни конечностей, малоподвижность, мастит и др.).

3. Необходимо оснастить соответствующие структурно-логистические элементы и технологические модули системами идентификации животных и видеонаблюдения, что позволит проводить непрерывный мониторинг животных при разовых и суточных циклах обслуживания, и в итоге – обеспечить лучшее и точное управление технологическими процессами на ферме.

## Список использованных источников

1. Черноиванов В.И., Судаков С.К., Толоконников Г.К. Биомашинные системы, функциональные системы и категорная теория систем // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017. № 2 (26). С. 32-43. EDN: YTNKTT.
2. Кирсанов В.В., Цой Ю.А. Тенденции развития биотехнических систем в животноводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 3. С. 27-32. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-27-32>
3. Кирсанов В.В., Кравченко В.Н. Пути совершенствования оборудования для доения и первичной обработки молока // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2005. № 9. С. 41-45.
4. Винницки С., Романиук В., Юговар Е., Артс И., Савиных П.А. Эффективность применения доильных роботов на фермах крупного рогатого скота // Вестник Марийского государственного университета. 2014. № 1 (13). С. 28-35. EDN: SGLMUH.
5. 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>
6. Четвертакова Е.В. Молочная продуктивность и адаптивная способность дочерей быков разного экогенеза // Вестник Омского аграрного университета. 2016. № 1 (21). С. 192-197. EDN: VVQHNH.
7. Рузин С.С., Владимиров Ф.Е., Юрочка С.С., Довгерд Г.А. Обоснование технологических схем и параметров роботизированных доильных залов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 3. С. 20-26. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-2-20-26>
8. Попов С.В. Неопределенность внешней среды и возбуждение/стресс как детерминанты поведения // Журнал общей биологии. 2010. Т. 71, № 4. С. 287-297. EDN: MSWULV.
9. Кирсанов В.В., Юрочка С.С., Павкин Д.Ю., Владимиров Ф.Е., Рузин С.С. Методика получения и обработки фото- и видеоматериала для автоматической бонитировки молочных коров // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019. № 1 (33). С. 142-146. EDN: SKYGEB.
10. Винницки С., Юговар Л., Морозов Н.М. Эффективность комплексной роботизации ферм КРС в Республике Польша // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017. № 2 (26). С. 220-225. EDN: YTNLGB.

## Вклад авторов

В.В. Кирсанов: общая концепция построения, методология формирования материалов на основе графоаналитического метода оценки маршрутизации и пребывания животных в локальных биотехнических системах обслуживания.  
 А.С. Дорохов предложил использовать интегральный ST-показатель (путь-время) для оценки путей перемещения и продолжительности пребывания в локальных биотехнических системах.  
 Ю.А. Иванов предложил: ввести факторологическую оценку поведения животных, разделяя факторы на физиологически нормальные и аномальные (болезни, агрессия и др.); наряду с оценкой индивидуальных временно-путевых показателей животных (ST-критерий) использовать аналогичные суммарные показатели по технологическим группам и стаду в целом.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 10.10.2022; поступила после рецензирования и доработки 21.10.2022; принята к публикации 21.10.2022

## References

1. Chernoiivanov V.I., Sudakov S.K., Tolokonnikov G.K. Biomachine systems, functional systems and categorical theory of systems. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2017;2(26):32-43. (In Rus.)
2. Kirsanov V.V., Tsoy Yu.A. Trends in the Development of Biotechnical Systems in Animal Husbandry. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020;14(3):27-32. (In Rus.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-27-32>
3. Kirsanov V.V., Kravchenko V.N. Ways to improve equipment for milking and primary milk processing. *Tractors and agricultural machinery*. 2005;9:41-45. (In Rus.)
4. Vinnitsky S., Romanyuk V., Yugovar E., Arts I., Savinykh P.A. Effectiveness of using milking robots on cattle farms. *Vestnik of the Mari State University*. 2014;1(13):28-35. (In Rus.)
5. Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Nikitin E.A., Dovlatov I.M. Methodology for optimizing the parameters of the machine feeding of cattle. *Agricultural Engineering*, 2021;1(101):10-14. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-1-10-14>
6. Chetvertakova E.V. Milk productivity and adaptive capacity of cows produced by bulls of different ecogenesis. *Vestnik of Omsk SAU*. 2016;1(21):192-197. (In Rus.)
7. Ruzin S.S., Vladimirov F.E., Yurochka S.S., Dovgerd G.A. Justification of Technological Schemes and Parameters of Robotic Milking Parlors. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020;14(3):20-26. (In Rus.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-2-20-26>
8. Popov S.V. Environmental uncertainty and arousal/stress as the direct determinants of animal behaviour. *Journal of general biology*. 2010;71(4):287-297. (In Rus.)
9. Kirsanov V.V., Yurochka S.S., Pavkin D.Yu., Vladimirov F.E., Ruzin S.S. Method for obtaining and processing photo and video material for automatic grading of dairy cows. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2019;1(33):142-146. (In Rus.)
10. Vinnitsky S., Yugovar L., Morozov N.M. Efficiency of integrated robotization of cattle farms in the Republic of Poland. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2017;2(26):220-225. (In Rus.)

## Contribution of the authors

V.V. Kirsanov: general concept of construction, methodology of formation of materials based on the graph-analytical method of estimating the travel and stay time of animals in local biotechnical service systems.  
 A.S. Dorokhov proposed to use integral ST-indicator (path-time) to estimate travel paths and dwell time in local biotechnical systems.  
 Y.A. Ivanov proposed to introduce a factor-based assessment of the animal behavior, dividing factors into physiologically normal and abnormal (diseases, aggression, etc.); along with the assessment of individual path-time indices of animals (ST-criterion) to use similar aggregate indices for technological groups and the herd as a whole.

## Conflict of interests

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

Received 10.10.2022; revised 21.10.2022; accepted 21.10.2022