

УДК: 004.93'11 612:636.2.

DOI:10.52419/issn2072-2419.2023.4.269

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ВИДЕОМОНИТОРИНГА ДЛЯ АНАЛИЗА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОРОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ

**Ачилов В.В.**<sup>1,2\*</sup> – канд. ветеринар. наук, доц. кафедры генетических и репродуктивных биотехнологий; **Олонцев В.А.**<sup>1,2</sup> – асп. кафедры кормления и разведения животных.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет  
ветеринарной медицины»

<sup>2</sup>ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр  
Российской академии наук»

\* achilov.vadim@mail.ru

**Ключевые слова:** видеомониторинг, сигналы коров, физиологическое состояние, прогнозирование, управление молочным стадом.

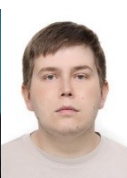
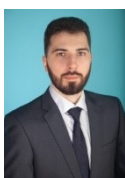
**Key words:** video monitoring, cow signals, physiological state, forecasting, dairy herd management.

**Финансирование:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-20081, <https://rscf.ru/project/23-19-20081/> и Санкт-Петербургского научного фонда

Поступила: 10.10.2023

Принята к публикации: 17.11.2023

Опубликована онлайн: 08.12.2023



### РЕФЕРАТ

На современном этапе развития молочного животноводства основной задачей, стоящей перед отраслью, становится эффективное управление всеми процессами, обеспечивающими работу фермы с большим поголовьем. Поставленная задача будет не достижима без использования цифровых интеллектуальных систем контроля и управления производством, отслеживания здоровья животных и их продуктивности. Существует множество систем, интегрирующихся в производство и позволяющих отслеживать здоровье коров на молочной ферме. Эти системы базируются на идентификации, отслеживании и сборе информации о физиологическом состоянии животных за счет различных датчиков. Однако, все эти системы дорогостоящие, требовательны к обслуживанию, часто выходят из строя из-за агрессивных условий эксплуатации. В статье рассмотрена возможность использования интеллектуальной системы видеомониторинга для анализа физиологического состояния коров и прогнозирования его изменения. Для обоснования требований к интеллектуальной системе видеомониторинга физиологического состояния коров предложена математическая модель жизни

продуктивных коров в виде графа состояний. Данный метод графически отображает возможные состояния системы и их возможные переходы из состояния в состояние. Построив граф состояний, опираясь на центральную теорему вероятностей для потоков событий, можно с использованием дифференциальных уравнений определить вероятность и интенсивность переходов состояний. Для функционирования системы видеомониторинга анализа физиологического состояния коров и прогнозирования его изменения предложенная математическая модель может являться основой системы и базироваться на сборе и анализе видеоинформации о поведении животных. При покрытии видеокамерами всей территории жизненного пространства животных, интеллектуальная система видеомониторинга сможет обеспечивать раннюю диагностику изменения физиологического состояния наблюдаемых животных и выдавать предупреждение, что позволит проводить своевременные лечебные и профилактические мероприятия.

### **ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION**

На современном этапе развития молочного животноводства основной задачей, стоящей перед отраслью, становится эффективное управление всеми процессами, обеспечивающими работу фермы с большим поголовьем. Поставленная задача будет не достижима без использования цифровых интеллектуальных систем контроля и управления производством, отслеживания здоровья животных и их продуктивности. Существует множество систем, интегрирующихся в производство и позволяющих отслеживать здоровье коров на молочной ферме, реализуя тем самым концепцию «Умного животноводства» [9]. Все эти системы базируются на идентификации, отслеживании и сборе информации о физиологическом состоянии животных за счет различных датчиков (температурных, шагомеров, акселерометрах, датчиках давления, внутрирубцовых датчиках анализа среды и др.) информация, получаемая от которых, часто интегрируется в системы управления молочной фермой, где её можно отслеживать, накапливать и анализировать [1,2,3,5]. Однако, все эти системы дорогостоящие, требовательны к обслуживанию, часто выходят из строя из-за агрессивных условий эксплуатации.

Высокие уровни концентрации поголовья, молочной продуктивности и инвестиций многократно повышают требования к качеству управления молочным стадом и производимой продукции. Растет актуальность разработки концептуально новых, эффективных технологий сбора и анализа информации, обеспечива-

ющих оперативный контроль здоровья и физиологического состояния животных для принятия специалистами эффективных решений, своевременной организации необходимых зооветеринарных мероприятий, корректировки рационов кормления. Анализ основных причин выбраковки коров в племенных хозяйствах свидетельствует, что большую часть болезней при беспривязном содержании коров с доением в доильных залах можно выявить и предотвратить на ранних стадиях, тщательно фиксируя и оперативно реагируя на «сигналы коров», характеризующие активность, особенности передвижения, нахождение в различных зонах животноводческих помещений, потребление корма и воды, руминацию, внешний вид. Рост требований к системе мониторинга здоровья и физиологического состояния высокопродуктивных коров на крупных молочных комплексах, возможности и ограничения существующих автоматических систем мониторинга здоровья и физиологического состояния животных, вызывают необходимость разработки и освоения в молочном животноводстве цифровых технологий обработки и анализа визуальной информации [10].

Объективные биологические и физиологические свойства коров делают их менее других видов домашних животных приспособленными к индустриальному производству «конвейерного» типа. Каждая корова в крупных сельскохозяйственных организациях, несмотря на все достижения селекционно-племенной работы и определенную однотипность применяемых в производстве молока технологий,

обладает выраженными индивидуальными характеристиками, существенными генетическими и фенотипическими различиями животных друг от друга в крупных стадах. Это отличается от промышленного птицеводства и свиноводства, где продуктивные животные гораздо более стандартизированы.

В молочном животноводстве России ни одна из систем управления стадом не объединяет производственную информацию о производительности и результатах производственного процесса, здоровье и физиологическом состоянии животных, количестве и структуре задействованных в производственном процессе ресурсов, получаемую от цифровых сенсоров и датчиков, с экономической информацией, что затрудняет оценку эффективности их освоения, тормозит широкое распространение цифровых технологий в молочном животноводстве [6]. Повышению темпов освоения цифровых технологий могут способствовать исследования, конкретизирующие требования к необходимой экономической информации, к способам ее сбора, анализа и использования в аналитических системах, ее интеграции с собираемой и анализируемой производственной информацией, информацией о здоровье животных и их воспроизводительных функциях [4]. Использование новых возможностей цифровых технологий по сбору, хранению, анализу и представлению информации можно достоверно выявить, на основе интеграции и анализа большого объема разнородной объективной информации, влияние на производственные параметры применения тех или иных технологических приемов и интенсивности использования отдельных ресурсов.

Нерешенной проблемой при оценке эффективности освоения цифровых технологий является необходимость одновременного учета как краткосрочных, так и долгосрочных результатов, достигаемых за счет повышения качества управления производственным процессом при повышении интенсивности использования отдельных видов ресурсов [8].

Таким образом, разработка научно обоснованных подходов к формированию системы цифровых технологий в молочном животноводстве является объективно необходимой. Они дополняют и обеспечивают рост молочной продуктивности и эффективности производства молока. В связи с вышеизложенным, целью исследований являлось теоретическое обоснование требований к интеллектуальной системе видеомониторинга в реальном хозяйстве и учет полученных данных.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS**

Для обоснования требований к интеллектуальной системе видеомониторинга физиологического состояния коров необходимо представить жизнь животного на ферме в виде математической модели или системы. Поскольку живой организм является сложной биологической системой динамично изменяющейся под воздействием внешних и внутренних факторов для анализа процессов, протекающих в этой системе, можно использовать метод, предусматривающий формализацию процесса в виде графа состояний. Данный метод графически отображает возможные состояния системы и их возможные переходы из состояния в состояние. Построив граф состояний, опираясь на центральную теорему вероятностей для потоков событий, можно с использованием дифференциальных уравнений определить вероятность и интенсивность переходов состояний. Чем быстрее будут выявлены и устранены возможные заболевания, тем выше будет качество производимой продукции и экономическая эффективность молочного стада. Изменение интенсивности переходов из одного состояния в другое будет основой для определения характеристик системы мониторинга.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS**

После анализа данных программного обеспечения для управления молочным стадом, журналов зоотехнического и ветеринарного учета в нескольких племенных хозяйствах Ленинградской области, возможных состояний, в которых может находиться молочная корова, в процессе

продуктивной жизни и учитывая возможность перехода из состояния в состояние, совместно с научным коллективом из Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук под руководством профессора д.т.н Осипова В.Ю. была сформирована модель, представленная на рисунке 1 [7].

В качестве состояний были выделены 1 – выранжировка, 16 – выбраковка, состояния со 2 по 8 соответствовали состояниям здоровых животных, состояния с 9 по 15 состояниям больных животных. Переход из больного состояния в здоровое и наоборот соответствовал физиологическому состоянию соотнесенному с производственным циклом: 2 и 9 – не осемененные коровы в фазе стабилизации лактации, 3 и 10 – стабилизация лактации коров (охота, осеменение, первый этап стельности), 4 и 11 – спад лактации коров (интенсивный рост плода и снижение молочной продуктивности), 5 и 12 – сухостойный период, 6 и 13 – транзитный период до отела, 7 и 14 – отёл и послеродовый период, 8 и 15 – раздой. Как видно на рисунке 1 животные, в соответствии с производственным циклом, переходят из одного физиологического состояния в другое. Переходы состояний обозначены стрелками между графами состояний. На каждом этапе при развитии патологических процессов, животное может перейти в больное состояние и уже в таком состоянии двигаться по производственной цепи. При этом продуктивность больного животного будет снижена, как и качество продукции. Также, находясь в любом графе состояний с 9 по 15 животное может быть выбраковано. Усилия ветеринарной службы животноводческих хозяйств направлены на то, чтобы животные находились в здоровом состоянии. Так или иначе, на любом из этапов производственной цепи, животное может перейти в больное состояние, а при выявлении этого состояния и проведении лечебных мероприятий перейти в здоровое. Для работоспособности модели нам нужно знать интенсивности переходов процесса из одних состояний в другие, которые

можно рассчитать, как обратные величины среднего времени переходов. На примере цеха раздоя, 8 и 15 граф, можно рассмотреть каким образом рассчитывается интенсивность переходов используя формулу:

$$\lambda_{8,15} = \sum_{z=1}^{z_{8,15}} \lambda_{8,15,z}$$

где – интенсивность перехода из состояния 8 в состояние 15 при развитии z-го заболевания; - число возможных видов заболеваний коров, находящихся в состоянии 8, при переходе в состояние 15.

На примере одного из животноводческих хозяйств Ленинградской области можно рассмотреть количество выявленных заболеваний в цеху раздоя за определенный период времени.

В цеху раздоя постоянно находятся  $400 \pm 26$  коров, ежемесячная выбраковка из этого цеха составляет  $3,75 \pm 0,6\%$ . Основные причины выбраковки мастит –  $56\%$ , болезни конечностей –  $27\%$ , гинекологические патологии –  $10\%$ , прочие причины –  $7\%$ . По распространенности патологий в цеху раздоя у  $15,3 \pm 6,9\%$  выявляют болезни молочной железы,  $11,3 \pm 4,2\%$  – болезни конечностей,  $8,4 \pm 3,5\%$  – гинекологические патологии,  $5,7 \pm 2,9\%$  – прочие патологии.

Теперь, для определения интенсивности перехода нужно найти среднее время перехода из здорового состояния в больное для каждой патологии. Для этого потребуется проведение наблюдений и исследований, а также анализ литературных данных. Зная среднее время перехода из одного состояния в другое, можно суммировав их определить интенсивность переходов. На следующем этапе можно будет определить подобные интенсивности на других производственных участках, соответствующих графу состояний 2 и 9, 3 и 10, 4 и 11 и т.д. в соответствии с моделью (рис. 1). Если нам будут известны все интенсивности переходов, то при определении вероятности развития патологических процессов и с использованием обще-

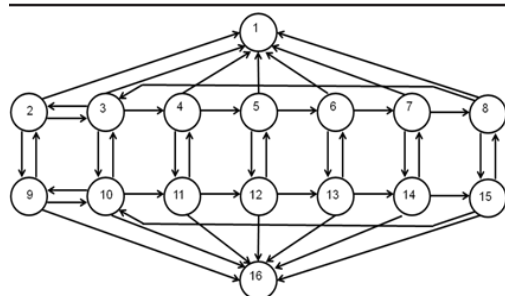


Рисунок 1 – Модель продуктивной жизни коров в виде графа состояний.



2 – Динамика переходов в цеху раздоя.

принятых математических методик, для решения уравнений применимых к модели граф состояний, можно обосновать главное требование к системе видеомониторинга – наличие действующей математической модели вокруг которой будет строиться многокомпонентная система мониторинга для раннего прогнозирования заболеваний с помощью интеллектуального анализа видеопотоков.

Для функционирования системы видеомониторинга анализа физиологического состояния коров и прогнозирования его изменения предложенная математическая модель будет являться основой системы и базироваться на сборе и анализе

видеоинформации о поведении животных. Такие возможности системы могут быть доступными при достаточном количестве информации заложенной в виде переменных, включающих в себя: цифровые материалы животных при разных патологиях, активность животных здоровых и больных, температуру тела, анализ походки в норме и при патологии, данные о поведении животных в разные физиологические периоды, а так же о поведении больных животных. Дополнительные источники данных о состоянии животных такие как тепловизоры и инфракрасные камеры, метки радиочастотной идентификации, датчики вокализации, помимо видеоинформации, смогут дополнять систему и расширять спектр её возможностей за счет агрегирования данных как о каждом животном, так и о групповом состоянии молочного стада.

Таким образом, архитектура предложенной нами системы видеомониторинга будет включать в себя: модуль сбора информации о животных при помощи сети видеокамер и датчиков для отслеживания животных; нейросетевой классификатор определения состояний животных по визуальным признакам; нейросетевой модуль обученный в соответствии с предложенной моделью, выдающий прогноз об изменении состояния животного; модуль формирующий предупреждение о возможном развитии заболевания у идентифицированного животного.

## ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Предложенная модель, при интеграции в систему непрерывного видеомониторинга, при покрытии видеокамерами всей территории жизненного пространства животных, сможет обеспечивать раннюю диагностику изменения физиологического состояния наблюдаемых животных и выдавать предупреждение, что позволит проводить своевременные лечебные и профилактические мероприятия, сохраняя животных в здоровом состоянии. Это позволит получать от животных больше продукции, более высокого качества, продлить продуктивный срок их жизни, сэкономить на лечении.



**THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE REQUIREMENTS FOR AN INTELLIGENT VIDEO MONITORING SYSTEM FOR ANALYZING THE PHYSIOLOGICAL STATE OF COWS AND PREDICTING ITS CHANGES**

**Achilov V.V.**<sup>1,2\*</sup> – Ph.D., Associate Professor of the Department of Genetic and Reproductive Biotechnologies, **Olontsev V.A.**<sup>1,2</sup> – postgraduate student of the Department of Animal Feeding and Breeding.

<sup>1</sup> St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

<sup>2</sup> St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences

\* achilov.vadim@mail.ru

**Financing:** The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-19-20081, <https://rscf.ru/project/23-19-20081> / and the St. Petersburg Scientific Foundation

**ABSTRACT**

At the present stage of development of dairy farming, the main task facing the industry is the effective management of all processes that ensure the operation of a farm with a large livestock. This task will not be achievable without the use of digital intelligent production control and management systems, tracking the health of animals and their productivity. There are many systems that integrate into production and allow you to monitor the health of cows on a dairy farm. These systems are based on the identification, tracking and collection of information about the physiological state of animals through various sensors. However, all these systems are expensive, demanding to maintain, often fail due to aggressive operating conditions. The article considers the possibility of using an intelligent video monitoring system to analyze the physiological state of cows and predict its changes. To substantiate the requirements for an intelligent video monitoring system of the physiological state of cows, a mathematical model of the life of productive cows in the form of a graph of states is proposed. This method graphically displays the possible states of the system and their possible transitions from state to state. Having constructed a graph of states, relying

on the central probability theorem for event flows, it is possible to determine the probability and intensity of state transitions using differential equations. For the functioning of the video monitoring system for analyzing the physiological state of cows and predicting its changes, the proposed mathematical model can be the basis of the system and be based on the collection and analysis of video information about animal behavior. When covering the entire territory of the animal's living space with video cameras, the intelligent video monitoring system will be able to provide early diagnosis of changes in the physiological state of the observed animals and issue a warning, which will allow for timely therapeutic and preventive measures.

**СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Иванов, Ю. Г. Системы дистанционного контроля сигналов коров / Ю. Г. Иванов, Г. П. Дюльгер, М. С. Сидоренко // Зоотехния. – 2014. – № 12. – С. 6-7.
2. Разработка методов и средств зоотехнического контроля в скотоводстве для управления физиологическим состоянием стада / Ф. Е. Владимиров, С. О. Базаев, Д. Ю. Павкин, С. С. Юрочка // Главный зоотехник. – 2023. – № 1(234). – С. 32-46. – DOI 10.33920/sel-03-2301-04.
3. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Владимиров Ф.Е., Никитин Е.А., Юрочка С.С., Гелетий Д.Г. Контроль и управление подсистемой «Животное» в сложной биотехнической системе «Человек-Машина-Животное» молочной фермы // Агроинженерия. 2020. № 6 (100). С. 4-10. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-6-4-10.
4. Кирсанов В.В., Владимиров Ф.Е., Павкин Д.Ю. и др. Сравнительный анализ и подбор систем мониторинга здоровья КРС // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019. № 1 (33). С. 27-31.
5. Цифровые технологии мониторинга здоровья коров / В. Н. Суровцев, И. К. Шульгин, В. Д. Лужняк, О. В. Погодина // Молочное и мясное скотоводство. – 2021. – № 5. – С. 2-6. – DOI 10.33943/MMS.2021.10.13.001.

6. Шульгин И.К., Лужняк В.Д., Суровцев В.Н., Хазанов В.Е., Гордеев В.В. Цифровая трансформация производственных процессов в молочном скотоводстве Ленинградской области. Молочное и мясное скотоводство. 2022. № 4. С. 3-8.
7. Осипов В.Ю., Кулешов С.В., Суровцев В.Н., Никулина Ю.Н. Метод оценки экономической эффективности цифровых технологий в молочном животноводстве с учетом изменений параметров процесса. Доклад на Пятой международной научно-практической конференции "Аграрная экономика в условиях глобализации и интеграции" (AGEGI-2023). 20-21 июня 2023 г. НИОПТУСХ – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ
8. Суровцев В.Н., Никулина Ю.Н., Зайцева А.А. Анализ методов оценки экономической эффективности цифровых технологий в молочном скотоводстве. Экономика сельского хозяйства России. 2023. № 8. С. 55-63.
9. Владимиров Ф.Е., Базаяев С.О., Хакимов А.Р. Разработка цифровой системы для оценки физиологического состояния крупного рогатого скота. Аграрная наука. 2023; 375(10): 73–78. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-73-78>
10. Цифровые технологии мониторинга здоровья коров / В. Н. Суровцев, И. К. Шульгин, В. Д. Лужняк, О. В. Погодина // Молочное и мясное скотоводство. – 2021. – № 5. – С. 2-6. – DOI 10.33943/MMS.2021.10.13.001.
- REFERENCES**
1. Ivanov, Yu. G. Systems of remote control of cow signals / Yu. G. Ivanov, G. P. Dyulger, M. S. Sidorenko // Zootechniya. – 2014. – No. 12. – pp. 6-7.
2. Development of methods and means of zootechnical control in cattle breeding for the management of the physiological state of the herd / F. E. Vladimirov, S. O. Bazaev, D. Y. Pavkin, S. S. Yurochka // Chief zootechnic. – 2023. – № 1(234). – Pp. 32-46. – DOI 10.33920/sel-03-2301-04.
3. Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Vladimirov F.E., Nikitin E.A., Yurochka S.S., Gelety D.G. Control and management of the "Animal" subsystem in a complex biotechnical system "Man-Machine-Animal" dairy farm // Agroengineering. 2020. No. 6 (100). pp. 4-10. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-6-4-10.
4. Kirsanov V.V., Vladimirov F.E., Pavkin D.Yu., etc. Comparative analysis and selection of cattle health monitoring systems // Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Animal Husbandry Mechanization. 2019. No. 1 (33). pp. 27-31.
5. Digital technologies for monitoring cow health / V. N. Surovtsev, I. K. Shulgin, V. D. Luzhnyak, O. V. Pogodina // Dairy and meat cattle breeding. – 2021. – No. 5. – pp. 2-6. – DOI 10.33943/MMS.2021.10.13.001.
6. Shulgin I.K., Luzhnyak V.D., Surovtsev V.N., Khazanov V.E., Gordeev V.V. Digital transformation of production processes in dairy cattle breeding of the Leningrad region. Dairy and beef cattle breeding. 2022. No. 4. pp. 3-8.
7. Osipov V.Yu. Kuleshov S.V., Surovtsev V.N., Nikulina Yu.N. Method of assessing the economic efficiency of digital technologies in dairy farming taking into account changes in process parameters Report at the Fifth International Scientific and Practical Conference "Agrarian economy in the context of globalization and integration" (AGEGI-2023). June 20-21, 2023 NIOPTUSKH – branch of FGBNU FNC VNIIESH
8. Surovtsev V.N., Nikulina Yu.N., Zaitseva A.A. Analysis of methods for assessing the economic efficiency of digital technologies in dairy cattle breeding. The economics of agriculture in Russia. 2023. No. 8. pp. 55-63.
9. Vladimirov F.E., Bazaev S.O., Khakimov A.R. Development of a digital system for assessing the physiological state of cattle. Agricultural science. 2023; 375(10): 73-78. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-73-78>
10. Digital technologies for monitoring cow health / V. N. Surovtsev, I. K. Shulgin, V. D. Luzhnyak, O. V. Pogodina // Dairy and meat cattle breeding. – 2021. – No. 5. – pp. 2-6. – DOI 10.33943/MMS.2021.10.13.001.