

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В МОЛОЧНОМ СКОТОВОДСТВЕ И ИХ РОЛЬ В ПОВЫШЕНИИ ПОПУЛЯЦИОННОГО ЗДОРОВЬЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЖИВОТНЫХ

¹С.С. Терентьев, кандидат биологических наук

²А.В. Пашкин, доктор ветеринарных наук, профессор

²Е.И. Бурова, кандидат ветеринарных наук

¹Верхневолжский государственный агробиотехнологический университет, Иваново, Россия

²Нижегородский государственный агротехнологический университет, Нижний Новгород, Россия

E-mail: elyckova0@gmail.com

Ключевые слова: крупный рогатый скот, доильная установка, датчик отслеживания, автономные роботизированные системы, популяционное здоровье, биологическая и продовольственная безопасность, агротрансформация, цифровая трансформация.

Реферат. Цель исследования – рассмотреть пути внедрения цифровых технологий и современных технических решений для обеспечения популяционного здоровья животных в условиях современного молочного скотоводства. В статье рассмотрены современные цифровые технические средства и автоматизированные по их средствам производственные процессы молочного скотоводства. В ходе исследования были определены основные задачи для успешной реализации цифровой трансформации и обеспечения популяционного здоровья животных в молочном скотоводстве: поиск биомаркеров патологических и физиологических состояний животных, разработка методов определения найденных биомаркеров, разработки технических решений регистрации параметров и их внедрения в производство. На данный момент реализованы автоматические системы диагностики состояния организма животных посредством звуковых датчиков, приборов определения активности животного и положения тела в пространстве. Датчики определения электропроводимости молока позволяют определить мастит на начальной стадии патологического процесса, а в сочетании с датчиками определения концентрации гормонов в молоке появляется возможность определить период полового цикла. Камеры ИКС позволяют определять зоны воспаления на теле животного. Современная система 3D-камер в сочетании с программным обеспечением позволяет проводить автоматическую оценку упитанности ежедневно. Таким образом, внедренные автоматизированные системы позволяют снизить время контакта человека с животным, что положительно влияет на здоровье животного. С другой стороны, постоянный контроль за важными показателями здоровья животных позволяет своевременно выявлять начало заболевания. Все вышеперечисленное позволяет обеспечить популяционное здоровье на молочных фермах.

APPLICATION OF DIGITAL TRANSFORMATION TOOLS IN DAIRY CATTLE FARMING AND THEIR ROLE IN IMPROVING POPULATION HEALTH AND ANIMAL PRODUCTIVITY

¹S.S. Terentyev, PhD in Biological Sciences

²A.V. Pashkin, Doctor of Veterinary Sciences, Professor

²E.I. Burova, PhD in Veterinary Sciences

¹Upper Volga State Agrobiotechnological University, Ivanovo, Russia

²Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: elyckova0@gmail.com

Keywords: cattle, milking machine, tracking sensor, autonomous robotic systems, population health, biological and food security, agrotransformation, digital transformation.

Abstract. The aim of the study is to explore the ways of implementing digital technologies and modern technical solutions to ensure the population health of animals in the context of contemporary dairy farming. The paper discusses modern digital technical tools and automated processes in dairy farming facilitated by these tools. In the course of the study, the main tasks for successful digital transformation and ensuring the population health of animals in dairy farming were identified: searching for biomarkers of pathological and physiological states

of animals, developing methods for determining found biomarkers, developing technical solutions for parameter registration and their implementation into production. At the moment, automatic systems for diagnosing the state of the animal's body have been implemented using sound sensors, devices for determining the activity of the animal and the position of the body in space. Sensors for determining the electrical conductivity of milk make it possible to determine mastitis at the initial stage of the pathological process. Sensors for determining the concentration of hormones in milk make it possible to determine the period of the sexual cycle. ICS cameras allow you to determine areas of inflammation on the animal's body. A modern 3-D camera system, combined with software, allows automatic measurement of animal body parameters on a daily basis. Thus, the implemented automated systems make it possible to reduce the time of human contact with an animal, which has a positive effect on the health of the animal. On the other hand, constant monitoring of important indicators of animal health allows timely detection of the onset of the disease. All of the above helps ensure population health on dairy farms.

Современные технологии все больше проникают во все сферы человеческой деятельности и, конечно, в ветеринарию сельскохозяйственного сектора. Активное внедрение цифровых технологий и новых технических решений в молочное скотоводство обеспечивает: высокую производительность труда; увеличение продуктивности конкретного животного и стада в целом; эффективность ветеринарной службы; реализацию программы биологической и продовольственной безопасности РФ. Современные технологии направлены на исключение человеческого фактора за счет замены человека механизмами и техническими средствами при выполнении однообразной работы и выявлении на ранних стадиях биомаркеров физиологических и патологических состояний животных.

Автоматизация производственных процессов в молочном животноводстве осуществляется на нескольких уровнях.

Во-первых, автоматизация уборки и поддержание в надлежащем ветеринарно-санитарном состоянии производственных помещений. Эта система была внедрена одной из первых, поскольку требовала значительных трудозатрат. Автоматические системы навозоудаления позволили обеспечить высокий ветеринарно-санитарный статус производственных помещений, что значительно снизило заболеваемость животных заразными и незаразными болезнями, позволило усилить интенсификацию животноводства и увеличить поголовье в производственных помещениях [1, 14].

Во-вторых, автоматическое доение коров. Современные доильные аппараты позволяют не только облегчить процесс доения, но и сделать его более гуманным для животных. На данный момент роботизированная дойка позволяет увеличить количество доек в сутки, что положительно влияет на здоровье коров и уровень

молочной продуктивности. Применение роботизированных систем доения позволяет снизить трудозатраты до 5–7 человеко-часов в год [2].

В-третьих, автоматизация кормления и поения. Специализированные роботы-кормораздатчики позволяют точно дозировать количество и состав корма для каждого животного, что способствует оптимальному росту и развитию коров.

В-четвертых, автоматизация управления стадом. Благодаря внедрению RFID-меток система распознает каждую корову, что позволяет отбирать и перегруппировывать коров без особых трудозатрат. Как правило, перегруппировку исполняют ворота-селектор, управляемые программой, а стимулирует движение коров автоматический погонщик, что позволяет сократить трудозатраты на обслуживающий персонал.

В-пятых, автоматизация процессов поддержания микроклимата. Разработка и внедрение систем контроля параметров окружающей среды в сочетании с машинами управления микроклиматом позволяют создавать определенные условия, необходимые для повышения продуктивности животного не только в животноводческом помещении, но и в отдельных его частях.

В-шестых, автоматизация контроля за состоянием и обеспечением популяционного здоровья животных. Использование сенсоров и систем отслеживания позволяет определять отклонения в физиологическом состоянии животных раньше, чем это сделал бы человек. Это не только значительно повышает продуктивность, эффективность преддиагностики заболеваний и сокращает затраты на лечение животных. Но и исключает человеческий фактор в работе ветеринарной службы и на производстве.

Мы изучили и провели анализ современных технологий автоматизации производственных

процессов молочного скотоводства и в работе ветеринарной службы в целом.

Цель исследования – рассмотреть пути внедрения цифровых технологий и современных технических решений для обеспечения популяционного здоровья животных в условиях современного молочного скотоводства.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поиск научных источников проводили путем скрининга международных баз научного цитирования Web of Science, PubMed, Scopus, Google Scholar, Mendeley, ResearchGate и РИНЦ. После исключения повторяющихся и непроверенных данных, выбора публикаций, полностью соответствующих цели работы, отобрано 23 источника.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Современные цифровые технические средства, используемые в молочном скотоводстве

Современное автоматизированное оборудование ведет сбор информации и регистрацию событий посредством датчиков. От точности их измерений напрямую зависит адекватность работы роботизированных систем.

Акселерометры встраиваются к ошейнику, одной из конечностей или уху. Обычно они используются для оценки общего состояния и поведения на основании двигательной активности. Акселерометры точно регистрируют движения конечностей, включая время лежания, время стояния, количество шагов, оценку походки, время кормления. Многолетние исследования позволяют регистрировать различные модели поведения и детали поведения в моделях. Например, распознавания галопа, рыси и ходьбы, а также регистрации таких видов поведения, как прием пищи, питье воды, жевание, позитивное социальное взаимодействие, уход за собой и бездействие [22, 23].

В качестве датчиков измерения температуры тела используются болюсы, камеры инфракрасного спектра (КИС) регистрации и термометры. Все они применяются для регистрации температуры тела в различных анатомических областях животных (ректальную, преджелудков, глаз и др.). По данным зарубежных исследовате-

лей, температура глаз коррелирует с ректальной температурой [17, 20]. Н. Nogami обнаружил, что температура корня хвоста практически полностью совпадает с ректальной температурой у телят. Кроме того, КИС позволяет оценить частоту дыхания животных [19].

Современные внутрижелудочные болюсные датчики кроме мониторинга температуры способны измерять pH в рубце и сетке, информация передается для оценки по беспроводным каналам связи [15].

С целью регистрации звуковых колебаний используют различные микрофоны, интегрированные в системы звукозаписи. Они могут обнаруживать аномальные звуки кашля и звуки жевания, что точно позволяет измерить время пережевывания корма и своевременно определить начальные стадии факторных и других болезней животных [16]. Система звукозаписи наиболее актуальна при выращивании телят и оценки их здоровья.

Внедрение машинного обучения и анализа «больших данных», доступные датчики могут регистрировать еще более широкий диапазон параметров. Например, С. Carslake применил подходы машинного обучения для идентификации нескольких классов поведения (включая двигательные игры, уход за собой, размышления, сосание без питания, сосание с питанием, активное лежание и неактивное лежание), а также количественную оценку поведения. Для этого он использовал сложный датчик, совмещающий акселерометр и гироскоп, обучение программы работе с датчиком происходило при помощи камер, которые регистрировали вход в загон, выход из загона, стояние или лежание, повороты, кормление и питье [11].

Трехмерные камеры (3D) позволяют отслеживать рост и морфологию (массу тела, ширину тела и высоту в холке) телят и телок. Для этого на разные участки тела животного проецируется лазерная сетка, а собственно камера считывает точки, затем программно ведется расчет расстояния между точками, что и позволяет определить параметры тела животного [12].

Комбинация всех вышеперечисленных технических средств позволяет своевременно оценить морфологические параметры тела, физиологическое и патологическое состояние организма животных, а также информирует

ветеринарных специалистов о статусе здоровья конкретного животного и стада в целом.

Современные автоматизированные системы

Передовыми компаниями по разработке и внедрению роботизированных и цифровых систем являются нидерландские фирмы Lely и Prolion, великобританская фирма FulWood, германская фирма Westfalia Landtechnik и шведская фирма DeLaval.

Роботизированные доильные аппараты позволяют определять мастит на субклинической стадии отдельно в каждой четверти вымени коровы посредством датчиков электропроводимости молока. Животное проходит через дойку несколько раз в день, что позволяет постоянно снимать с него ряд параметров. Роботизированные дойки позволяют использовать больше различных датчиков и механизмов, автоматизирующих отбор проб молока и его дальнейшее исследование [10].

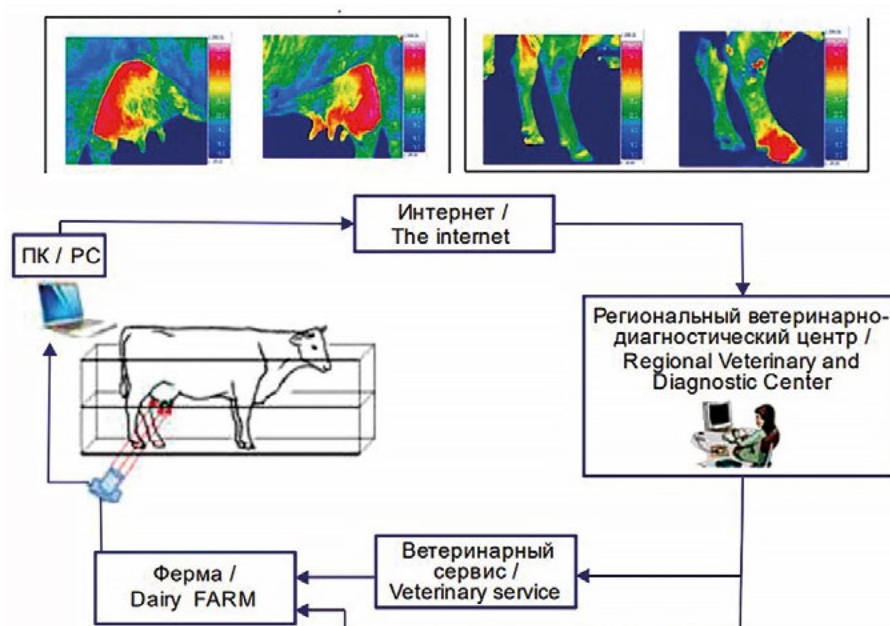


Рис. 1. Технология и бесконтактный аппаратно-программный комплекс видеоцифровой идентификации заболеваний вымени и суставов у коров [6]

Technology and contactless hardware and software complex for video-digital identification of udder and joint diseases in cows [6]

Инфракрасные камеры в сочетании с искусственным интеллектом на основании нагрева участков тела животных позволяют своевременно определять мастит и болезни суставов (рис. 1) [10, 4].

На данный момент компания DeLaval внедрила в свои роботизированные доильные аппараты систему, позволяющую определять концентрацию прогестерона в молоке, что дает возможность определить половую охоту у коровы, способствует своевременному осеменению, а также позволяет обнаружить фолликулярные кисты на ранних стадиях [12]. Совместное определение в молоке уровня прогестерона и данных по суточной активности животного помогает установить половую охоту с точность

99,7 %, что позволяет повысить оплодотворяемость и уменьшить расход семени [3, 21].

Определение концентрации гонадотропина может служить достоверным подтверждением стельности или, наоборот, абортирования коровы на ранних этапах развития эмбриона. А возможность анализировать концентрацию β -гидроксibuтират и лактатдегидрогеназы дает представление о функциональном состоянии печени животного. Анализ параметров молока в роботизированной дойке осуществляет real-time анализатор (Lattec I/S, Hillerød, Denmark), отбор пробы и перенос в анализатор – сам робот-дойяр [10, 9].

Уже автоматизирована система оценка упитанности животных. Система камер в сочетании с системой программной оценки позволяет

зафиксировать отдельные части животного: сверху, заднюю часть спины от коротких ребер до конца хвоста. Каждый раз, когда корова проходит под камерой, система определяет конкретное движение и фиксирует изображение коровы. Затем система создает 3D-модель спины коровы, а алгоритм ведет оценку состояния тела. Камеры размещены над разделительными воротами возле доильного роботизированного зала, измерение коровы проводится каждый

раз, когда она приходит на дойку. В качестве золотого стандарта шкала, использованная для разработки алгоритма, была основана на шкале визуальной оценки Виндмана: системе от 1 до 5 баллов [18]. По этой шкале оцениваются остистые и поперечные отростки, и им присваивается конкретная оценка, где единица соответствует самой низкой оценке, а пять – самой высокой оценке состояния.



Рис. 2. Система оценки упитанности коров DeLavalBCS¹
DeLavalBCS Cow Condition Scoring System

Комплексное решение существует у компании DeLaval. Совокупность камер и датчиков позволяет автоматически считывать параметры коровы в движении. Это дает возможность ветеринарным врачам ежедневно проводить мониторинг индивидуальных показателей конкретного животного и данных всего стада, что позволяет обеспечить популяционное здоровье животных [6]. Данную систему можно использовать для мониторинга как отдельного животного, так и стада в целом, для более точного расчета рациона кормления, а также для оптимизации процессов, влияющих на прибыльность производства. 3D-камера определяет индивидуальные параметры тела коровы и стада, информирует о прибавке в весе или недостаточном кормлении (рис. 2). Наличие на ферме такого оборудования позволяет значительно быстрее принимать важные решения. Это уникальное изобретение

имеет большие перспективы в современном животноводстве.

В Индии ирландская компания «Cainthus» совместно с Microsoft начала внедрение на фермах по содержанию крупного рогатого скота платформы искусственного интеллекта «Moo-ID» (система идентификации домашнего скота), которая решает проблему идентификации животных при помощи камер видеонаблюдения и по фотографиям животных. Более того, эта технология позволяет бороться с болезнями коров, негативно влияющими на эффективность производства. На базе искусственного интеллекта и компьютерного зрения платформа «Moo-ID» с точностью до 95 % способна распознать конкретную особь. Это возможно на основании фотографий отдельных животных в разных ракурсах. Система сопоставляет изображения с камер со считанным номером

¹ <https://www.eurasian-research.org/publication/artificial-intelligence-case-of-indian-dairy-industry/#:~:text=There%20are%20a%20number%20of,identification%3B%20Stellapps%2C%20a%20technology%20that>

на бирке или ошейнике, а также вычисляет экстерьерные и индивидуальные особенности головы. Оператор фермы при этом видит картинку, представленную на рис. 3. Также система собирает от животных такие параметры, как

особенности поведения, характеристика движения, активность, изменение температуры, наличие аппетита, поедаемость корма и качество руминации в течение суток [12].



Рис. 3. Изображение на экране оператора фермы в программе Moo-ID¹

Image on the farm operator's screen in the Moo-ID program

Процесс кормления автоматизировали компании Pellon, DeLaval и Mullerup (Дания). На рис. 4 представлена система автоматического кормления, разработанная компанией DeLaval. Решение выполнено в виде подвешенного вагона с кормом, передвигающегося по смонтирован-

ному на потолке коровника монорельсу параллельно кормовому столу. Система кормления на основании данных по параметрам животных рассчитывает компоненты кормовой смеси и рационы, дозирует их и раздает готовый корм.



Рис. 4. Система автоматического кормления компании DeLaval²

DeLaval Automatic Feeding System

¹ <https://evrosnab.ru/product/oborudovanie-dlya-kormleniya/kormorazdatchiki-relsovye-podvesnye/kormorazdatchik-delaval-ots100/>

² <https://evrosnab.ru/product/oborudovanie-dlya-kormleniya/kormorazdatchiki-relsovye-podvesnye/kormorazdatchik-delaval-ots100/>

Не обошла стороной автоматизация и процесс выращивания телят, уже внедрены станции автоматического кормления. Большой вклад в автоматизацию процесса выращивания телят внесла компания LelyCalm (рис. 5). Автоматические станции выпойки телят поддерживают постоянную температуру молока и позволяют питаться теленку в течение всего дня, когда это требуется его организму. Кроме того, пол-

ностью исключается занесение физических и бактериальных загрязнителей в молоко. Зарубежные авторы отмечали прирост продуктивности у телят и снижение заболеваний при внедрении автоматических станций поения в производственный процесс [7]. При кормлении станция собирает индивидуальные показатели конкретного теленка: ежедневное потребление, активность, скорость питья, поведение.



Рис. 5. Станция автоматической выпойки телят¹
Automatic calf feeding station

Информацию о состоянии молодняка собирают при помощи сенсорных систем, используемых и на взрослых животных: акселерометры, микрофоны, камеры инфракрасной термографии, датчики температуры, чипы радиочастотной идентификации (RFID), 3D-камеры и 2D-камеры.

Цифровая трансформация молочного скотоводства

Первые роботы-дояры были выпущены с конвейеров фабрик в конце 80-х гг. прошлого столетия. Наибольших успехов добились нидерландские фирмы Lely, Prolion, великобританская

FulWood, германская Westfalia Landtechnik, шведская DeLaval, итальянская Milkline и др.

Внедрение роботизированных и цифровых систем имеет ряд очевидных преимуществ и недостатков, которые представлены в таблице.

Преимущества и недостатки роботизированных доек

Автоматизация рутинных и трудоемких процессов ведет к снижению доли работы, которую раньше выполнял человек, следовательно, сокращается число работников, что экономически выгодно.

Преимущества и недостатки роботизированных доек Advantages and disadvantages of robotic milking

Преимущество	Недостаток
1	2
Значительное увеличение экономической эффективности (надой повышаются в полтора – два раза)	Стоимость приобретения роботов достаточно высокая, и не каждое предприятие может позволить себе такое технологическое решение
Качество молока более высокое	Необходимо резервировать электропитание

¹ <https://www.lely.com/ru/press/2016/06/30/lely-calm-control/>

1	2
Роботизированная доильная система соответствует всем потребностям животных. Можно увеличить количество доек каждого животного в зависимости от его потребностей	Необходимо периодически проводить техобслуживание квалифицированными специалистами
Снижение к минимуму контакта с человеком	Экономическая выгода от робота-дойера появляется при надоях от животных более 10 тыс. кг в год
Максимально возможный на сегодняшний день контроль параметров молока	Необходимость установки решетчатых полов в помещениях
Своевременная диагностика маститов и других болезней животных	Обязательное обучение работников предприятия (главного зоотехника, операторов, ветеринарных специалистов)
Автоматическое определение половой охоты у коров	Не все дойные коровы имеют идеальное расположение и форму сосков, позволяющие им доиться роботом
Роботизация фермы позволяет автоматически вести сепарацию молока в зависимости от его качества	
Снижение трудозатрат производства	

На данный момент передовые компании в области молочного скотоводства внедрили ряд технических средств, которые позволяют осуществлять мониторинг состояния животного: активность в течение суток, данные о передвижении, изменении температуры и признаках появления стресса у коров, отсутствии аппетита, поедаемости корма и качестве руминации в течение суток. Все это позволяет получить полную и своевременную информацию как о физиологическом состоянии животного, так и о развитии патологического процесса [18].

В сочетании с вышеперечисленными системами появляется возможность автоматической перегруппировки стад, своевременного выгула животных, контроля микроклимата в помещениях, что приводит к повышению продуктивности животных и снижению их заболеваемости.

В нашей стране не учитывают такой фактор как исключение человека из рутинной деятельности производственного процесса скотоводства и освобождение времени для интеллектуальной деятельности. В настоящее время отток жителей из сельских территорий принял широкий масштаб, следуя веяниям времени, молодое поколение стремится приобретать новые и технологичные профессии [5].

Цифровые технологии внесли важный вклад в снижение стресса у животных, улучшение их благополучия и тем самым устранение экономических потерь. Целью цифровой трансформации остается создание системы

управления, основанной на автоматическом непрерывном мониторинге и контроле в режиме реального времени всех аспектов управления животноводством, включая воспроизводство, обеспечение популяционного здоровья животных, а также снижение неблагоприятного воздействия продуктов жизнедеятельности на экологию окружающей среды. А своевременная диагностика заболеваний может помочь принять целенаправленные меры по лечению и профилактике болезней животных. Первостепенными задачами для достижения поставленной цели стали поиск биомаркеров физиологических и патологических состояний у животных различных групп, разработка методов регистрации и оценки найденных биомаркеров, интерпретация полученных данных, разработка технических решений и их внедрение в производство [14].

Полномасштабное применение современных технологий, а с ними и цифровая трансформация сельского хозяйства в нашей стране столкнулись с проблемами, которые предстоит решать в ближайшие годы. К ним относятся:

- большие затраты на покупку технологий и оборудования;

- необходимость в индивидуальном подходе к установке всех составляющих «умной» молочной фермы, которые корректируются под определенное животноводческое хозяйство;

- нехватка IT-специалистов разных областей. На данный момент животноводство не может конкурировать в найме высококвалифици-

цированных кадров с передовыми компаниями нашей страны;

– многие современные технологии требуют высокоскоростного и устойчивого подключения к интернету, а в соответствии с зоогигиеническими требованиями скотоводческие комплексы удалены от вышек и на достаточно большое расстояние, что отрицательно влияет на качество связи на предприятии.

ВЫВОДЫ

1. При ряде сложностей цифровая трансформация молочного скотоводства в Российской Федерации медленно продвигается, а число роботизированных ферм увеличивается год от года. Плюсы, которые получает сектор животноводства в целом, несмотря высокую стоимость внедрения цифровых технологических решений, перевешивают минусы. Внедренные в молочное скотоводство системы регистрации физиологических и морфологических параме-

тров животного позволяют говорить об индивидуальном мониторинге состояния здоровья, что обеспечивает раннюю диагностику болезней животных и высокий уровень популяционного здоровья стада в целом.

2. Роботизация позволяет свести потребность в присутствии и работе человека на молочной ферме к минимуму, что в современных реалиях является необходимостью.

3. Цифровые технологии внесли важный вклад в снижение стресса у животных, улучшение их благополучия, увеличивая тем самым экономическую эффективность производства.

На данный момент цифровая трансформация молочного скотоводства складывается из поиска биомаркеров патологических и физиологических состояний животных, разработки методов определения найденных биомаркеров, разработки технических решений регистрации параметров и их внедрения в производство.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Белая А.* Конец ручного управления. Какие цифровые технологии внедряются на животноводческих предприятиях // *Агроинвестор*. – 2020. – № 3. – С. 15–23.
2. *Козлов А.А.* Особенности применения цифровых технологий при производстве продукции животноводства // *Цифровая экономика: проблемы и перспективы развития: мат-лы межрегион. науч.-практ. конф.* – 2019. – С. 202–210.
3. *Пудченко А.Р., Сарычева А.Д., Тузов И.Н.* Использование программы «DeLaval» в молочном скотоводстве УОХ «Краснодарское» // *Научное обеспечение агропромышленного комплекса: мат-лы 76-й науч.—практ.- конф- студентов по итогам НИР за 2020 г. Краснодар, 10–30 марта 2021 г. Ч. 1.* – Краснодар, 2021. – С. 541–543. – EDNAZZVOH.
4. *Цой Ю.А., Башиева Р.А.* Технологические аспекты создания «умной» молочной фермы // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2019. – Т. 20, № 2. – С. 192–199. – DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.192-199. – EDNAIFXKO.
5. *Ярмак О.В., Ткаченко А.Ю.* Профессиональные ориентиры сельской молодежи как фактор миграции в город // *Большие данные и проблемы общества: мат-лы междунар. научн. конф.* – Томск, 2022. – С. 157–160.
6. *A Systematic Review of Automatic Health Monitoring in Calves: Glimpsing the future From Current Practice / Dengsheng Sun, Laura Webb, P.P.J. van der Tol [et al.]* // *Frontiers in Veterinary Science*. – 2021. – 26:8:761468, DOI: 10.3389/fvets.2021.761468.
7. *Alison M.S., Emer K.E., Bokkers A.M.* The effects of manual and automated milk feeding methods on group-housed calf health, behaviour, growth and labour // *Livestock Science*. – 2021. – Vol. 244. – DOI: 10.1016/j.livsci.2020.104343.
8. *Antanaitis R.* Dynamic changes in progesterone concentration in cows' milk determined by the at-line milk analysis system herd navigatortm // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20, № 18. – P. 5020.
9. *Antanaitis R.* Relation of Automated Body Condition Scoring System and Inline Biomarkers (Milk Yield, β -Hydroxybutyrate, Lactate Dehydrogenase and Progesterone in Milk) with Cow's Pregnancy Success // *Sensors (Basee)*. – 2021. – № 21 (4). – pp. 1414. – DOI: 10.3390/s21041414.

10. Arago N. Smart dairy cattle farming and In-heat detection through the Internet of things (IoT) // International Journal of Integrated Engineering. – 2022. – Vol. 14, № 1. – P. 157–172.
11. Carslake C., Vázquez-Diosdado J.A., Kaler J. Machine learning algorithms to classify and quantify multiple behaviours in dairy calves using a sensor: Moving beyond classification in precision livestock // Sensors. – 2020. – Vol. 21, № 1. – P. 88.
12. Dautova I. Artificial Intelligence: an example of the dairy industry in India // Eurasian research institute e-bulletin. Analysis. – 2022. – № 362.
13. DeLaval [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.delaval.com/ru/explore/delaval-delpro/precision-analytics/delavalbody-condition-scoring-bcs/> (дата обращения: 16.11.2023).
14. Džermeikaitė K., Bačėninaitė D., Antanaitis R. Innovations in Cattle Farming: Application of Innovative Technologies and Sensors in the Diagnosis of Diseases // Animals. – 2023. – No. 13(5) – P. 780. – DOI: 10.3390/ani13050780.
15. Lee M., Seo S. Wearable wireless biosensor technology for monitoring cattle: A review // Animals. – 2021. – Vol. 11, № 10. – P. 2779.
16. Lowe G. Infrared thermography – A non-invasive method of measuring respiration rate in calves // Animals. – 2019. – Vol. 9, № 8. – P. 535.
17. Automated collection and analysis of infrared thermograms for measuring eye and cheek temperatures in calves / G. Lowe, B. Mccane, M. Sutherland [et al.] // Animals. – 2020. – No. 10. – P. 292. – DOI: 10.3390/ani10020292.
18. Nayyar A., Puri V. Smart farming: IoT based smart sensors agriculture stick for like temperature and moisture monitoring using Arduino, cloud computing and solar technology / Proc. of The International Conference on Communication and Computing Systems. – 2016. – № 1. – P. 673–680.
19. Nogami H. Wearable and compact wireless sensor nodes for measuring the temperature of the base of a Calf's Tail // Sens. Mater. – 2013. – T. 25, № 9. – P. 577–582.
20. Rodrigues J.P. Evaluation of an automatic system for monitoring rumination time in weaning calves // Livestock Science. – 2019. – Vol. 219. – P. 86–90.
21. Rodriguez Z., Caixeta L.S., Cramer G. Diagnostic accuracy of a bovine specific electronic beta-hydroxybutyrate handheld meter in fresh blood and stored serum samples // Veterinary and Animal Science. – 2021. – Vol. 11. – P. 100159.
22. Identifying livestock behavior patterns based on accelerometer dataset / D.S. Rodriguez-baena, F.A. Gomez-vela, M. García-torres [et al.] // Journal Computational Scitnce. – 2020. – № 41. – P. 10176. – DOI: 10.1016/j.jocs.2020.101076.
23. Swartz T.H., McGilliard M.L., Petersson-Wolfe C.S. Technical note: the use of an accelerometer for measuring step activity and lying behaviors in dairy calves // Journal of Dairy Science. – 2016. – № 99. – P. 9109–9113. – DOI: 10.3168/jds.2016-11297.

REFERENCES

1. Belaya A., *Agroinvestor*, 2020, No. 3, pp. 15–23. (In Russ.)
2. Kozlov A.A., *Tsifrovaya ekonomika: problem I perspektivy razvitiya* (Digital economy: problems and development prospects), Proceedings of the Conference Title, 2019, pp. 202–210. (In Russ.)
3. Pudchenko A.R., Sarycheva A.D., Tuzov I.N., *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa* (Scientific support for the agro-industrial complex), Proceedings of the Conference Title, Krasnodar, 2021, pp. 541–543, EDN AZZVOH. (In Russ.)
4. Tsoi Yu. A., Baisheva R.A., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2019, T. 20, No. 2, pp. 192–199, DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.192-199, EDN AIFXKO. (In Russ.)
5. Yarmak, O.V., Tkachenko A.Yu., *Bol'shie dannye I problem obshchestva*, (Big data and problems of society), Proceedings of the Conference Title, Tomsk, 2022, pp. 157–160. (In Russ.)
6. Sun Dengsheng, Webb Laura, van der Tol P.P.J. [et al.], A Systematic Review of Automatic Health Monitoring in Calves: Glimpsing the future From Current Practice, *Frontiers in Veterinary Science*, 2021, 26:8:761468, DOI: 10.3389/fvets.2021.761468.
7. Alison M.S., Emer K.E., Bokkers A.M., The effects of manual and automated milk feeding methods on group-housed calf health, behaviour, growth and labour, *Livestock Science*, 2021, Vol. 244, ISSN 1871-1413, DOI: 10.1016/j.livsci.2020.104343.

8. Antanaitis R., Dynamic changes in progesterone concentration in cows' milk determined by the at-line milk analysis system herd navigatortm, *Sensors*, 2020, T. 20, No. 18, pp. 5020.
9. Antanaitis R., Relation of Automated Body Condition Scoring System and Inline Biomarkers (Milk Yield, β -Hydroxybutyrate, Lactate Dehydrogenase and Progesterone in Milk) with Cow's Pregnancy Success, *Sensors (Basee)*, 2021, No. 21 (4), pp. 1414, DOI: 10.3390/s21041414.
10. Arago N., Smart dairy cattle farming and In-heat detection through the Internet of things (IoT), *International Journal of Integrated Engineering*, 2022, Vol. 14, No. 1, pp. 157–172.
11. Carslake C., Vázquez-Diosdado J.A., Kaler J., Machine learning algorithms to classify and quantify multiple behaviours in dairy calves using a sensor: Moving beyond classification in precision livestock, *Sensors*, 2020, Vol. 21, No. 1, C. 88.
12. Dautova I., Artificial Intelligence: an example of the dairy industry in India, *Eurasian research institute e-bulletin. Analysis*, 2022, No. 362.
13. DeLaval: URL: <https://www.delaval.com/ru/explore/delaval-delpro/precision-analytics/delavalbody-condition-scoring-bcs/> (Датаобращения: 16.11.2023).
14. Džermeikaitė K., Bačėninaitė D., Antanaitis R., Innovations in Cattle Farming: Application of Innovative Technologies and Sensors in the Diagnosis of Diseases, *Animals*, 2023, No. 13(5), pp. 780, DOI: 10.3390/ani13050780.
15. Lee M., Seo S., Wearable wireless biosensor technology for monitoring cattle: A review, *Animals*, 2021, Vol. 11, No. 10, pp. 2779.
16. Lowe G., Infrared thermography—A non-invasive method of measuring respiration rate in calves, *Animals*, 2019, Vol. 9, No. 8, pp. 535.
17. Lowe G., Mccane B., Sutherland M., Waas J., Schaefer A., Cox N., Automated collection and analysis of infrared thermograms for measuring eye and cheek temperatures in calves, *Animals*, 2020, No. 10, pp. 292, DOI: 10.3390/ani10020292.
18. Nayyar A., Puri V., Smart farming: IoTbased smart sensors agriculture stick for like temperature and moisture monitoring using Arduino, cloud computing and solar technology, *Proc. Of The International Conference on Communication and Computing Systems*, 2016, No. 1, pp. 673–680.
19. Nogami H., Wearable and compact wireless sensor nodes for measuring the temperature of the base of a Calf's Tail, *Sens. Mater*, 2013, Vol. 25, No. 9, pp. 577–582.
20. Rodrigues J.P., Evaluation of an automatic system for monitoring rumination time in weaning calves, *Livestock Science*, 2019, Vol. 219, pp. 86–90.
21. Rodriguez Z., Caixeta L.S., Cramer G., Diagnostic accuracy of a bovine specific electronic beta-hydroxybutyrate handheld meter in fresh blood and stored serum samples, *Veterinary and Animal Science*, 2021, Vol. 11, pp. 100159.
22. Rodriguez-baena D.S., Gomez-vela F.A., García-torres M., Divina F., Barranco C.D., Daz-diaz N., Identifying livestock behavior patterns based on accelerometer dataset, *Journal Computational Scitnce*, 2020, No. 41, pp. 10176, DOI: 10.1016/j.jocs.2020.101076.
23. Swartz T.H., McGilliard M.L., Petersson-Wolfe C.S., Technical note: the use of an accelerometer for measuring step activity and lying behaviors in dairy calves, *Journal of Dairy Science*, 2016, No. 99, pp. 9109–9113, DOI: 10.3168/jds.2016-11297.