

Ф.Е. Владимиров
С.О. Базаев
А.Р. Хакимов ✉

Федеральный научный агроинженерный
центр ВИМ, Москва, Россия

✉ arty.hv@gmail.com

Поступила в редакцию:
19.06.2023

Одобрена после рецензирования:
15.09.2023

Принята к публикации:
29.09.2023

Fedor E. Vladimirov
Savr O. Bazaev
Artem R. Khakimov ✉

Federal Scientific Agroengineering Center
VIM, Moscow, Russia

✉ arty.hv@gmail.com

Received by the editorial office:
19.06.2023

Accepted in revised:
15.09.2023

Accepted for publication:
29.09.2023

Разработка цифровой системы для оценки физиологического состояния крупного рогатого скота

РЕЗЮМЕ

Состояние рубца влияет на продуктивность крупного рогатого скота (далее — КРС). Несвоевременное выявление проблем у животного может привести к непредвиденным расходам, которые можно было предотвратить автоматическими системами мониторинга здоровья. pH содержимого рубца можно контролировать с помощью внутрирубцовых болюсов. В связи с этим была разработана система оценки физиологического состояния КРС и определена подходящая сенсорная технология для измерения переменных вместе с системой беспроводной связи, основанной на протоколе радиочастот. Компоненты были объединены в коммерческую цифровую платформу, которая хранит данные и имеет визуальный интерфейс. Температура определяется с погрешностью не более $\pm 0,75$ °C. Работоспособность прототипа проверялась в два этапа — в искусственно созданной среде с контролируемыми колебаниями pH и температуры и в ходе натурных испытаний *in vivo* с фистулированной коровой. Устройство вводили в рубец корове и в течение семи часов получали (каждые 30 минут) по 10 измеренных значений. Автономность системы — 4 года. Болюс круглосуточно собирал и передавал информацию в режиме реального времени на базовую станцию. Прототип предоставляет данные *in vivo*, аналогичные данным *in vitro* ($R > 0,90$, $p < 0,05$).

Ключевые слова: коровы, внутрирубцовый болюс, радиочастота, активность, pH, содержимое рубца

Для цитирования: Владимиров Ф.Е., Базаев 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>

© Владимиров Ф.Е., Базаев С.О., Хакимов А.Р.

Development of a digital system for assessing the physiological state of cattle

ABSTRACT

The condition of the scar affects the productivity of cattle (hereinafter — cattle). Untimely detection of problems in an animal can lead to unforeseen expenses that could have been prevented by automatic health monitoring systems. The pH of the contents of the scar can be controlled using intra-scar boluses. In this regard, a system for assessing the physiological state of cattle was developed and a suitable sensor technology for measuring variables was determined together with a wireless communication system based on the radio frequency protocol. The components have been combined into a commercial digital platform that stores data and has a visual interface. The temperature is determined with an error of no more than ± 0.75 °C. The prototype's operability was tested in two stages — in an artificially created environment with controlled pH and temperature fluctuations and during *in vivo* field tests with a fistulated cow. The device was injected into the rumen of a cow and 10 measured values were obtained (every 30 minutes) for seven hours. The autonomy of the system is 4 years. Bolus collected and transmitted information in real time to the base station around the clock. The prototype provides *in vivo* data similar to *in vitro* data ($R > 0.90$, $p < 0.05$).

Key words: cows, intrarumen bolus, radiofrequency, activity, pH, rumen content

For citation: Vladimirov F.E., Bazaev S.O., Khakimov A.R. Development of a digital system for assessing the physiological state of cattle. *Agrarian science*. 2023; 375(10): 73–78 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-73-78>

© Vladimirov F.E., Bazaev S.O., Khakimov A.R.

Введение/Introduction

Эффективное управление фермой с большим количеством поголовья является главной задачей, стоящей перед отраслью. Решение ее достигается развитием интеллектуальных цифровых систем управления производством, так называемой биотехнической системой «человек — машина — животное» (или умное животноводство) [1]. Умное животноводство — отрасль сельского хозяйства, занимающаяся разведением сельскохозяйственных животных, особенность которой — внедрение систем и технологий нового поколения для автоматизации ухода за животными с целью увеличения продуктивности животного и уменьшения затрат [2]. Разработку такой системы можно отнести к очередному этапу научно-технической революции [3].

На сегодняшний день на территории РФ до сих пор используются устаревшие технологические методы контроля за животными. Несвоевременное выявление проблем у животного может привести к непредвиденным расходам, которые можно было предотвратить автоматическими системами мониторинга здоровья животного. Исходя из данных Министерства сельского хозяйства РФ, несвоевременное выявление мастита у каждого животного влечет убыток порядка 14 тыс. рублей, а тепловой стресс — 23 тыс. рублей. Ежегодный падеж отечественного дойного стада составляет 2%¹.

Для выявления предстоящего отела и половой охоты в животноводческих предприятиях с большим количеством поголовья всё больше полагаются на автоматизированные системы, использующие датчики (например, акселерометр, шагомер, датчик давления) для сбора и интерпретации данных о животных [4].

В нескольких исследованиях изучалось использование датчиков для выявления предстоящего отела и половой охоты у дойных коров. Например, использовался акселерометр, прикрепленный к задней ноге коровы (IceTag 3D, IceRobotics, Эдинбург, Шотландия), чтобы регистрировать изменения количества актов лежания и общей активности перед отелом [5]. Мальц и Антлер в своем исследовании пришли к выводу, что 10 из 12 случаев отела были успешно обнаружены в течение 24 часов до наступления данного события на основе алгоритма, связывающего время лежания, количество шагов и их отношение к моменту отела [6].

Ширманн и соавторы (2013) подтвердили, что коровы тратят в среднем на 66 минут меньше времени на кормление за 24 часа до наступления отела. Время жвачки (руминации) и кормления продолжало уменьшаться после отела в среднем на 133 минуты и 82 минуты, соответственно, по сравнению с исходным уровнем [7].

Аналогичным образом в нескольких исследованиях использовались различные датчики (для измерения двигательной активности, температуры, концентрации прогестерона в молоке) для выявления половой охоты [8–10].

Подострый ацидоз рубца (ПАР) — широко распространенная проблема у высокопродуктивных молочных коров [11, 12]. Он возникает, когда высокоэнергетический корм контактирует со средой рубца, которая не приспособлена к такому рациону. Как показали измерения pH рубца, ацидоз возникает преимущественно на выпасе молочного стада [13, 14]. Употребление большого количества корма животным также может predispose рубец к ПАР, поскольку секреция слюнной

железы может не компенсировать дополнительное образование кислоты. Ранние признаки ацидоза обычно не оцениваются с помощью клинических наблюдений [15], поэтому цифровые системы могут быть полезны для ранней диагностики ПАР.

Однако большинство доступных в настоящее время систем, такие как ошейники с транспондером, пedomетры и ушные бирки, имеют ограниченный функционал (например, для выявления половой охоты) с использованием одного датчика. Поэтому фермеры вынуждены покупать и интегрировать различные системы от разных поставщиков на ферме в зависимости от цели.

Разработка автономных зондов для мониторинга двигательной активности, pH и температуры содержимого рубца с электронными элементами, которые выполняют преобразование и передачу данных *in vivo* с высоким временным разрешением, является основным направлением этого исследования.

В работе представлены результаты разработки многофункциональной цифровой системы для оценки физиологического состояния КРС, способной одновременно измерять три показателя и отправлять полученные данные на приемопередатчик для просмотра в режиме реального времени.

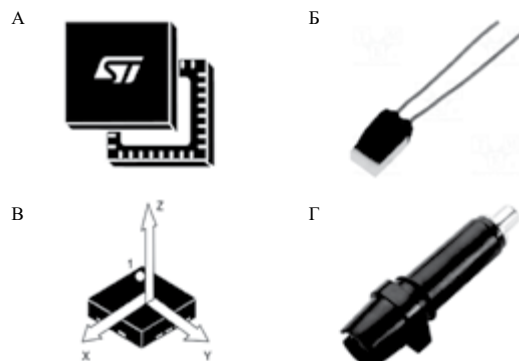
Материалы и методы исследования / Materials and methods

На первом этапе система была погружена в среду, имитирующую рубцовую жидкость. Второй этап — введение системы в рубец фистулированной коровы.

Другими элементами, входящими в устройство, являются микроконтроллер STM32L431KC фирмы STMicroelectronics (Женева, Швейцария) и терморезистор Heraeus Nexensos 32207615 PT1000 (Кляйнстхайм, Германия) с выходным напряжением, линейно пропорциональным температуре (°C). Терморезистор не требует какой-либо внешней калибровки или подстройки для обеспечения точности $\pm 0,25$ °C при комнатной температуре и $\pm 0,75$ °C во всем диапазоне температур от -55 до 150 °C (рис. 1). Для определения pH внутри рубца использовали комбинированный pH-электрод HI 73127 HANNA Instruments (США), заключенный в пластиковый корпус. Этот электрод имеет диапазон измерения pH 0–14. Диапазон рабочих температур — 0–100 °C, диаметр — 10 мм, длина — 150 мм (рис. 1).

Рис. 1. Встроенная система сбора, обработки, передачи и приема данных и датчики температуры и pH: А) микроконтроллер STM32L431KC, Б) терморезистор PT1000, В) трехосевой акселерометр, Г) pH электрод HI 73127 HANNA Instruments

Fig. 1. Built-in system for collecting, processing, transmitting and receiving data and temperature and pH sensors: А) STM32L431KC microcontroller, Б) PT1000 thermistor, С) three-axis accelerometer, D) pH electrode HI 73127 HANNA Instruments



¹ The DairyNews. 2023. — URL: <https://dairynews.today/news/> (дата обращения: 20.05.2023).

Поскольку интегральная схема TL084 является элементом, используемым в каждом модуле каскада преобразования аналогового сигнала зондирующего сигнала, в лаборатории для подачи напряжения ± 5 В использовался источник постоянного тока с несколькими выходами. Однако при введении прототипа в рубец коровы необходим источник энергии, позволяющий системе работать автономно. Учитывая характеристики процесса, в системе используется литий-тионилхлоридная батарея (Li-SOCl₂) без выводов Minamoto ER17505 (AA) 3.6V (KHP) емкостью 3400 мАч и напряжением 3,6 В (рис. 2). Эта батарея будет питать всю цепь.

Рубцовый болюс имеет длину 13,2 см и диаметр 3,5 см с массой нетто 218 г (рис. 3). Разработка модуля болюс имеет ряд специфических особенностей. Данные особенности заключаются в том, что на этапе разработки изделия невозможно учесть влияние некоторых факторов, например количество теряемой мощности при прохождении сигнала через животное, поведение материала корпуса при длительном нахождении в агрессивной среде желудка, возможность корректной работы ряда датчиков без дополнительной подстройки калибровочных коэффициентов. Учитывая специфические особенности, при разработке изделия было принято решение провести макетирование модуля болюса в преддверии выпуска серии с целью экспериментального определения влияния неизвестных факторов на корректность работы изделия.

При выборе материала корпуса необходимо учитывать, что он должен обеспечивать надежную защиту изделия от попадания различных веществ, находящихся в агрессивной среде желудка коровы, внутрь корпуса. Помимо защитной функции, материал корпуса не должен принести вред животному, поскольку это повлечет за собой неблагоприятные последствия. Наиболее подходящими материалами, выполняющими данные функции, являются материалы из семейства поликарбонатов. В качестве материала корпуса для макетов модулей болюс были выбраны четыре различных поликарбоната. В процессе разработки макетов болюсов было принято решение изготовить их корпуса из всех четырех видов поликарбоната и по результатам исследовательских испытаний определить материал, наиболее подходящий для применения. Отличие поликарбонатов связано в основном с различным уровнем механической прочности и способности нахождения в агрессивных средах. Также имеются различия по стоимости данных материалов, что в преддверии серии имеет высокую степень экономической целесообразности.

Антенна, используемая в модуле болюс, вносит весомый вклад в бюджет канала связи, что, в свою очередь, влияет на потребление устройства и максимальную дальность действия связи. Антенна должна иметь всенаправленную диаграмму, поскольку ориентация устройства в момент нахождения внутри животного имеет вероятностный характер. Важным параметром антенны применительно к данной задаче являются ее габаритные размеры, поскольку размеры всего устройства ограничены диаметром пищевода коровы. Учитывая приведенные факторы, было принято решение разработать несколько типовых вариантов исполнения антенн и по результатам исследовательских испытаний определить наилучший вариант. (Более подробно о разрабатываемых антеннах написано в разделе моделирование антенны.)

Важное значение имеет выбор несущей частоты сигнала, скорости передачи данных, которая непосредственно зависит от ширины полосы сигнала и объема

Рис. 2. Внешний вид собранной печатной платы ячейки болюса с литий-тионилхлоридной батареей (Li-SOCl₂) без выводов Minamoto ER17505 (AA) 3.6V

Fig. 2. External view of the assembled circuit board of the bolus cell with a lithium-thionyl chloride battery (Li-SOCl₂) without leads Minamoto ER17505 (AA) 3.6V



передаваемых пакетов. Объем передаваемых пакетов зависит от периодичности опроса датчиков и типа получаемой информации от каждого датчика. Зависимость периодичности опроса датчиков от качественных показателей комплекса в целом представлена в разделе «Разработка математических моделей для выявления половой охоты, предстоящего отела, мониторинга уровня кормления и потребления воды».

Важно отметить взаимосвязь между скоростью передачи данных с качественными показателями комплекса в целом, что, по сути, влияет на энергетический потенциал устройства, то есть качественные показатели комплекса выше с ростом частоты опроса датчиков. Чем выше частота опроса датчиков, тем больше информации должно быть передано с болюса на базовую станцию, что обуславливает большее потребление энергии болюсом. Поскольку модуль болюс работает от батарейки, очень важно найти компромисс между возможностью реализации такого устройства с технической точки зрения и качественными показателями комплекса в целом, что влияет на вероятность определения половой охоты, наличия заболеваний и так далее.

Немаловажным вопросом является влияние комбинаций выбранных вариантов исполнения модулей болюс на комплексную функциональность изделий в целом. Опираясь на опыт разработчиков и анализ результатов исследовательских испытаний, будут выработаны наилучшие решения для создания высококлассного продукта, способного составить конкуренцию мировым аналогам.

Статистический анализ был выполнен GLM (ANOVA, StatgraphicPlus 5.1, Плейнс, Вирджиния, США). Данные считались достоверными со статистической точки зрения при $p < 0,05$.

Рис. 3. Трехмерная модель корпуса, а также финальный внешний вид модуля болюс: А — с датчиком pH, Б — без датчика pH

Fig. 3. Three-dimensional model of the housing, as well as the final appearance of the bolus module: A — with a pH sensor, B — without pH sensor

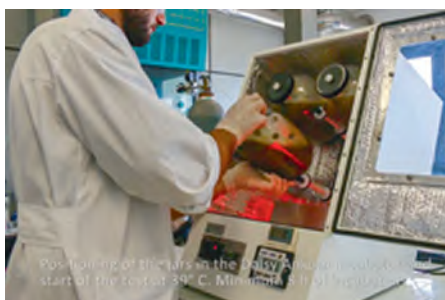


А

Б

Рис. 4. Сосуды с болюсами и рубцовой жидкостью в инкубаторе

Fig. 4. Vessels with boluses and scar fluid in an incubator



Результаты и обсуждение / Results and discussion

Сенсорная система физиологического мониторинга была проверена с помощью инкубатора с регулируемой температурой (Isotemp 228, Fisher Scientific®) (25–100 °C). Системы помещали в пятилитровый сосуд, содержащий 4 л воды и корм (зеленая масса, полученная в день испытаний). Температуру в инкубаторе измеряли стеклянным жидкостным термометром (1/300 °C). Измерительную систему помещали внутрь инкубатора на 30 минут после смешивания моделируемой среды рубца (рис. 4).

Для достижения аналогичных условий pH рубца (кислотность и щелочность) использовали буферные растворы (HCl, NaOH). Для определения pH в диапазоне от 5 до 7,5 использовали потенциометр (HANNA Instruments, США). Колебания регистрировались каждые 5 минут. Температуру инкубации поддерживали между 34 и 44 °C на протяжении всего исследования. На рисунке 5А, 5Б показаны результаты линейной регрессии данных. Значения экспериментальных данных (наблюдаемых) были сопоставлены с оценками датчика. Полученные результаты показывают достоверную связь ($p < 0,05$) температуры ($r = 0,98$) и pH ($r = 0,97$).

После того как система была откалибрована в среде, похожей на рубец коровы, эксперимент проведен на корове с фистулой рубца. Поскольку диаметр свища составлял 5 см, дизайн пищевого комка был доведен до диаметра 3,5 см, длины 13,2 см и массы 0,218 кг. Электроника разработана для работы с питанием от батареи, состоящей из трех элементов литий-тионилхлоридного типа (рис. 2).

Устройство вводили в рубец корове и в течение семи часов (каждые 30 минут) получали по 10 измеренных значений, чтобы оценить изменения. Поскольку измерения проводились в режиме реального времени, получили график изменения температуры в процессе ферментации и pH рубца с течением времени. Изменения температуры и pH наблюдались с момента начала кормления животного в период добровольного потребления (рис. 5).

В отчетах других исследователей оценивалась производительность экспериментального устройства при непрерывном измерении pH и температуры, были обнаружены важные различия в экспериментальных данных из-за явления сопротивления, которое очень распространено в приборах [16]. Однако прототип смог показать умеренную корреляцию между ручными и непрерывными формами измерения pH и температуры, аналогичную той, что была обнаружена в исследовании авторов. В других конструкциях устройств изучали взаимосвязь между pH и температурой рубцовой жидкости для определения циркадных изменений

Рис. 5. Температура и уровень pH водно-кормового раствора в инкубаторе. А — колебания температуры водно-кормового раствора в инкубаторе, Б — колебания pH при водно-кормовом растворе в инкубаторе

Fig. 5. Temperature and pH level of the water-feed solution in the incubator. А — fluctuations in the temperature of the water-feed solution in the incubator, Б — pH fluctuations in the water-feed solution in the incubator

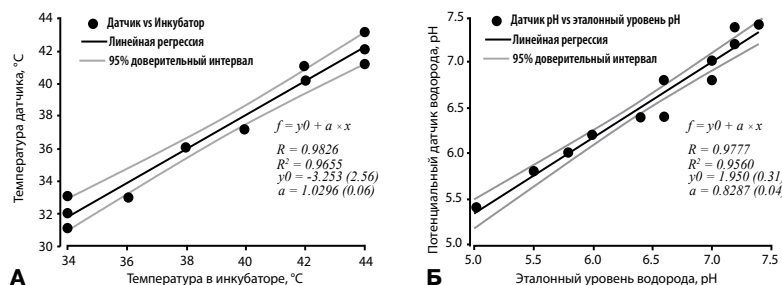
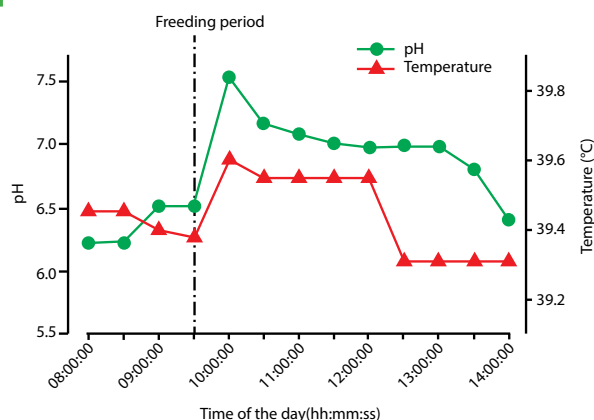


Рис. 6. График измерения pH и температуры содержимого рубца с наглядным изменением этих показателей в зависимости от времени суток

Fig. 6. Graph of measurement of pH and temperature of the contents of the rumen with a visual change in these indicators depending on the time of day



индуцированного рубцового ацидоза, оценивая оба параметра с 10-минутными интервалами [17]. Были обнаружены значительные изменения ($p < 0,05$) pH рубца, который достигал 4 через 16 часов. Напротив, температура рубца имела противоположное поведение, значительно повышаясь ($p < 0,01$) между 8 и 14 часами позже. Это позволяет предположить, что активная ферментация и последующее производство летучих жирных кислот (ЛЖК) вызвали эти модификации. Предлагаемое оборудование способно передавать это состояние в течение не менее 24 часов непрерывной работы.

В другой работе в предварительном исследовании на КРС в течение 10-дневного периода использовался pH-зонд для непрерывного измерения pH в рубце. Зонды были запрограммированы на измерение pH каждые 30 секунд, и сообщалось об ошибках отбора проб в 0,08 единицы pH, как и в результатах авторов [18]. Было отмечено, что прототип этих характеристик должен иметь возможность измерять диапазоны pH от 6,8 до 5,4 ($\pm 0,1$) для использования в программах по предотвращению риска ацидоза рубца. По мере того как pH пищи в рубце приближается к 5,0, амплитуда и частота сокращений рубца прогрессивно уменьшаются с возможным застоем [19]. Исследуемое оборудование удовлетворяет этому условию. Результаты, полученные с помощью данного устройства, используемого для измерения pH и температуры рубца у экспериментальной тропической коровы КРС, позволят разработать новые устройства с использованием микро- и нанотехнологий, которые обеспечивают доступ, постоянство, временную работу и отправку информации из рубца.

Выводы/Conclusion

Прототип, предназначенный для непрерывной передачи значений pH и температуры рубца, соответствует зоотехническим нормам. Он может работать в желаемых физиологических диапазонах для клинических и продуктивных экспериментов, а корреляция наблюдаемых данных с оценками совпадает с предыдущими исследованиями с аналогичными прототипами, что также связано с возможностью передачи

данных в течение не менее 24 часов. Наконец, в качестве будущей работы предполагается спроектировать и изготовить прототип технологии интегральных схем, который, учитывая его размеры, объединяет все модули электронной платформы, воспринимающей физиологические параметры, а также передающей данные по беспроводной связи в режиме реального времени, что позволяет неинвазивное тестирование.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу.

Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Cornou C. Automation Systems for Farm Animals: Potential Impacts on the Human-Animal Relationship and on Animal Welfare. *Anthrozoös*. 2009; 22(3): 213–220. <https://doi.org/10.2752/175303709X457568>
- Hamadani H., Khan A.A. Automation in livestock farming — A technological revolution. *International Journal of Advanced Research*. 2015; 3(5): 1335–1344.
- Bijl R., Kooistra S.R., Hogeveen H. The Profitability of Automatic Milking on Dutch Dairy Farms. *Journal of Dairy Science*. 2007; 90(1): 239–248. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)72625-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)72625-5)
- 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): 6–10. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-6-4-10>
- Jensen M.B. Behaviour around the time of calving in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*. 2012; 139(3-4): 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.04.002>
- Maltz E., Antler A. A practical way to detect approaching calving of the dairy cow by a behaviour sensor. Cox S. (ed.). *Precision livestock farming '07*. Wageningen Academic Publishers. 2007; 141–146.
- Schirmann K., Chapinal N., Weary D.M., Vickers L., von Keyserlingk M.A.G. Short communication: Rumination and feeding behavior before and after calving in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2013; 96(11): 7088–7092. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7023>
- Duffield T. et al. Comparison of Techniques for Measurement of Rumen pH in Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 2004; 87(1): 59–66. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73142-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73142-2)
- Eihvalde I., Kairisa D., Sematovica I. Long-term continuous monitoring of ruminal pH and temperature for dairy cows with indwelling and wireless data transmitting unit. *Engineering for Rural Development. Proceedings of the 15th International Scientific Conference*. Jelgava. 2016; 15: 726–731.
- Haley D.B., Rushen J., de Passillé A.M. Behavioural indicators of cow comfort: activity and resting behaviour of dairy cows in two types of housing. *Canadian Journal of Animal Science*. 2000; 80(2): 257–263. <https://doi.org/10.4141/A99-084>
- Plaizier J.C. et al. Review: Enhancing gastrointestinal health in dairy cows. *Animal*. 2012; 12(S2): s399–s418. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001921>
- Владимиров Ф.Е., Базаев С.О., Павкин Д.Ю., Юрочка С.С. Разработка методов и средств зоотехнического контроля в скотоводстве для управления физиологическим состоянием стада. *Главный зоотехник*. 2023; (1): 32–46. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2301-04>
- Sato S. et al. Diagnosis of subacute ruminal acidosis (SARA) by continuous reticular pH measurements in cows. *Veterinary Research Communications*. 2012; 36(3): 201–205. <https://doi.org/10.1007/s11259-012-9528-8>
- Enemark J.M.D. The monitoring, prevention and treatment of subacute ruminal acidosis (SARA): A review. *The Veterinary Journal*. 2008; 176(1): 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.021>
- Falk M., Münger A., Dohme-Meier F. Technical note: A comparison of reticular and ruminal pH monitored continuously with 2 measurement systems at different weeks in early lactation. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(3): 1951–1955. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9725>
- Lohölter M., Rehage R., Meyer U. Evaluation of a device for continuous measurement of rumen pH and temperature considering localization of measurement and dietary concentrate proportion. *Landbauforschung*. 2013; 63(1): 61–68. https://doi.org/10.3220/LBF_2013_61-68
- Kimura A. et al. Relationship between pH and Temperature in the Rumen Fluid of Cows, Based on a Radio-Transmission pH-Measurement System. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2012; 74(8): 1023–1028. <https://doi.org/10.1292/jvms.12-0084>
- Enemark J.M.D., Peters G., Jørgensen R.J. Continuous Monitoring of Rumen pH — A Case Study With Cattle. *Journal of Veterinary Medicine Series A*. 2003; 50(2): 62–66. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0442.2003.00490.x>
- Ram K.P., Verma S.P., Agrawal K.A., Jayachandran C. Effect of severity of acidosis on ruminal activity in goats. *Indian Journal of Animal Research*. 2007; 41(4): 256–260.

REFERENCES

- Cornou C. Automation Systems for Farm Animals: Potential Impacts on the Human-Animal Relationship and on Animal Welfare. *Anthrozoös*. 2009; 22(3): 213–220. <https://doi.org/10.2752/175303709X457568>
- Hamadani H., Khan A.A. Automation in livestock farming — A technological revolution. *International Journal of Advanced Research*. 2015; 3(5): 1335–1344.
- Bijl R., Kooistra S.R., Hogeveen H. The Profitability of Automatic Milking on Dutch Dairy Farms. *Journal of Dairy Science*. 2007; 90(1): 239–248. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)72625-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)72625-5)
- Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Vladimirov F.E., Nikitin E.A., Yurochka S.S., Gelety D.G. Monitoring and management of the «animal» subsystem in a complex biotechnical system «man — machine — animal» of a dairy farm. *Agricultural engineering*. 2020; 6(100): 6–10 (In Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-6-4-10>
- Jensen M.B. Behaviour around the time of calving in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*. 2012; 139(3-4): 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.04.002>
- Maltz E., Antler A. A practical way to detect approaching calving of the dairy cow by a behaviour sensor. Cox S. (ed.). *Precision livestock farming '07*. Wageningen Academic Publishers. 2007; 141–146.
- Schirmann K., Chapinal N., Weary D.M., Vickers L., von Keyserlingk M.A.G. Short communication: Rumination and feeding behavior before and after calving in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2013; 96(11): 7088–7092. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7023>
- Duffield T. et al. Comparison of Techniques for Measurement of Rumen pH in Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 2004; 87(1): 59–66. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73142-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73142-2)
- Eihvalde I., Kairisa D., Sematovica I. Long-term continuous monitoring of ruminal pH and temperature for dairy cows with indwelling and wireless data transmitting unit. *Engineering for Rural Development. Proceedings of the 15th International Scientific Conference*. Jelgava. 2016; 15: 726–731.
- Haley D.B., Rushen J., de Passillé A.M. Behavioural indicators of cow comfort: activity and resting behaviour of dairy cows in two types of housing. *Canadian Journal of Animal Science*. 2000; 80(2): 257–263. <https://doi.org/10.4141/A99-084>
- Plaizier J.C. et al. Review: Enhancing gastrointestinal health in dairy cows. *Animal*. 2012; 12(S2): s399–s418. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001921>
- Vladimirov F.E., Bazaev S.O., Pavkin D.Yu., Yurochka S.S. Development of methods and means of livestock control in cattle breeding to manage the physiological state of the herd. *Head of Animal Breeding*. 2023; (1): 32–46 (In Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-03-2301-04>
- Sato S. et al. Diagnosis of subacute ruminal acidosis (SARA) by continuous reticular pH measurements in cows. *Veterinary Research Communications*. 2012; 36(3): 201–205. <https://doi.org/10.1007/s11259-012-9528-8>
- Enemark J.M.D. The monitoring, prevention and treatment of subacute ruminal acidosis (SARA): A review. *The Veterinary Journal*. 2008; 176(1): 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.021>
- Falk M., Münger A., Dohme-Meier F. Technical note: A comparison of reticular and ruminal pH monitored continuously with 2 measurement systems at different weeks in early lactation. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(3): 1951–1955. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9725>
- Lohölter M., Rehage R., Meyer U. Evaluation of a device for continuous measurement of rumen pH and temperature considering localization of measurement and dietary concentrate proportion. *Landbauforschung*. 2013; 63(1): 61–68. https://doi.org/10.3220/LBF_2013_61-68
- Kimura A. et al. Relationship between pH and Temperature in the Rumen Fluid of Cows, Based on a Radio-Transmission pH-Measurement System. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2012; 74(8): 1023–1028. <https://doi.org/10.1292/jvms.12-0084>
- Enemark J.M.D., Peters G., Jørgensen R.J. Continuous Monitoring of Rumen pH — A Case Study With Cattle. *Journal of Veterinary Medicine Series A*. 2003; 50(2): 62–66. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0442.2003.00490.x>
- Ram K.P., Verma S.P., Agrawal K.A., Jayachandran C. Effect of severity of acidosis on ruminal activity in goats. *Indian Journal of Animal Research*. 2007; 41(4): 256–260.

ОБ АВТОРАХ

Фёдор Евгеньевич Владимиров,
научный сотрудник,
fvladimirov21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3058-2446>

Савр Олегович Базаев,
кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник,
sbazaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Артём Рустамович Хакимов,
младший научный сотрудник,
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Fedor Evgenievich Vladimirov,
Research Associate,
fvladimirov21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3058-2446>

Savr Olegovich Bazaev,
Candidate of Agricultural Sciences, Research Associate,
sbazaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Artem Rustamovich Khakimov,
Junior Research Assistant,
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institute Passage, Moscow, 109428, Russia

К 95-летию со дня рождения Н.Х. Мамаева

В ноябре 2023 г. исполняется 95 лет со дня рождения Нурутдина Хизроевича Мамаева, доктора ветеринарных наук, профессора, академика Международной академии информатизации, заслуженного ветеринарного врача РСФСР и Дагестанской АССР, заслуженного деятеля науки Дагестанской АССР, заслуженного деятеля науки Дагестанской АССР, лауреата премии Совета Министров СССР.

Н.Х. Мамаев родился 2 ноября 1928 г. в г. Буйнакске Дагестанской АССР в семье рабочего.

Трудовую деятельность начал в качестве ветеринарного техника в 1944 г. По окончании Дагестанского сельскохозяйственного института работал заведующим Богатыревским, Чирюртовским, затем Кизлярским центральными зооветеринарными участками отгонного животноводства.

В 1956 г. был переведен начальником ветеринарного отдела, затем назначен заместителем министра сельского хозяйства. С 1961 г. работал заместителем Председателя Совета Министров ДАССР по животноводству, через год был переведен на должность первого замминистра сельского хозяйства и заготовок сельхозпродуктов ДАССР.

В 1962 г. Нурутдин Хизроевич защитил диссертацию на соискание ученой степени к.в.н. по теме «Особенности кожно-оводовой инвазии КРС и меры борьбы с ней в условиях Дагестанской АССР» во Всесоюзном институте экспериментальной ветеринарии Министерства сельского хозяйства СССР.

В 1967 г. Мамаев был назначен директором вновь образованного Дагестанского научно-исследовательского ветеринарного института. Работая в институте, в 1971 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Краявая эпизоотология, Иммунобиологическая реактивность организма животных при гиподерматозе, и разработка мер борьбы с ним в Дагестане». Разработанные Н.Х. Мамаевым в соавторстве с другими учеными меры борьбы с гиподерматозом в условиях Дагестанской АССР и повсеместное внедрение их в ветеринарную практику позволили оздоровить регион от этого паразитоза. Авторы работы стали лауреатами, получили Государственную премию Совета Министров СССР.

До 2002 г. в течение 35 лет он работал директором Прикаспийского зонального научно-исследовательского ветеринарного института. В апреле 2002 г. был назначен заведующим отделом паразитарных и незаразных болезней института.

Все этапы жизненного пути Н.Х. Мамаева неразрывно связаны с организацией борьбы с инфекционными,

инвазионными и незаразными болезнями сельскохозяйственных животных и птиц, повышением эпизоотической и ветеринарно-санитарной безопасности региона.

Огромный практический опыт и научный авторитет Н.Х. Мамаева помогали решать многие задачи, стоящие перед институтом.

Н.Х. Мамаев принимал непосредственное участие в оздоровлении многих районов республики от бруцеллеза и туберкулеза, вовлекая партийные и хозяйственные органы самого высокого уровня.

Н.Х. Мамаев был крупным, высокоэрудированным ученым, имя которого хорошо знали не только в РФ, но и во многих странах ближнего и дальнего зарубежья. Его научные разработки неоднократно демонстрировались на ВДНХ СССР и были отмечены шестью золотыми и серебряными медалями выставки. Им в соавторстве с другими учеными опубликовано 256 научных работ, 4 монографии, в том числе и «Справочник чабана». Имел 3 патента на изобретения, под его руководством подготовлены и защищены 9 кандидатских и докторских диссертаций.

За высокие достижения в производственной деятельности и большой вклад в борьбу с болезнями животных, развитие ветеринарной науки и практики Мамаев был удостоен 14-ти почетных грамот Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина, Российской академии сельскохозяйственных наук, Министерства сельского хозяйства СССР, РСФСР, награжден орденами Трудового Красного Знамени, «Знак Почета» и другими правительственными наградами, неоднократно избирался депутатом районных и городских Советов народных депутатов.

Нурутдин Хизроевич являлся талантливым исследователем, который мог анализировать, обобщать и находить недостающее звено, позволявшее решать поставленные задачи. Он обладал ценными качествами, необходимыми для руководителя, решал возникающие вопросы быстро и грамотно, всегда оставался отзывчивым к людям.

Память о нем всегда будет жить в сердцах сотрудников института.

А.Ю. Алиев, С.Ш. Кабардиев