

УДК 637.112.5

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-388-11-145-149

А.Р. Хакимов ✉

Д.Ю. Павкин

С.С. Юрочка

С.С. Рузин

П.С. Бердюгин

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

✉ [arty.hv@gmail.com](mailto:arty.hv@gmail.com)

Поступила в редакцию: 09.08.2024

Одобрена после рецензирования: 01.10.2024

Принята к публикации: 18.10.2024

© Хакимов А.Р., Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Рузин С.С., Бердюгин П.С.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-388-11-145-149

Artem R. Khakimov ✉

Dmitry Yu. Pavkin

Sergey S. Yurochka

Semen S. Ruzin

Pavel S. Berdyugin

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

✉ [arty.hv@gmail.com](mailto:arty.hv@gmail.com)

Received by the editorial office: 09.08.2024

Accepted in revised: 01.10.2024

Accepted for publication: 18.10.2024

© Khakimov A.R., Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Ruzin S.S., Berdyugin S.P.

## Модернизация доильной системы устройством экспресс-анализа качества молока

### РЕЗЮМЕ

Используемые в России доильные системы имеют потенциал модернизации устройствами поточного контроля параметров качества молока. Контроль состава молока и отслеживание аномалий в концентрации соматических клеток в режиме реального времени особенно важны для оперативного реагирования на изменение параметров физиологического состояния животных и своевременного вмешательства до попадания некачественного молока в общий резервуар. В данной работе приведен пример модернизации доильной системы «Елочка» функцией оценки качества молока в процессе доения. Используемое для модернизации доильной системы устройство экспресс-анализа качества молока является оптическим и не влияет на протекание потока молока в молочном шланге доильной системы. Устройство позволяет проводить поточный анализ процентной концентрации жира и количественный анализ концентрации соматических клеток в молоке с пороговым уровнем обнаружения 900–1000 тыс. клеток / мл, анализируя поток объемом до 6 л/мин. В исследовании в два этапа оценивалась работоспособность устройства анализировать сырое коровье молоко с двумя отличающимися параметрами жирности — 2,53% и 3,16% и концентрацией  $1 \times 10^6$  соматических клеток на 1 мл. В результате эксперимента среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение жирности составили  $(2,75 \pm 0,16)\%$  и  $(3,37 \pm 0,20)\%$ , а соматических клеток —  $(0,096 \pm 0,007)$  у. е. и  $(0,102 \pm 0,006)$  у. е., что соответствует диапазону 900–1000 тыс. клеток / мл. Погрешности средних значений измеряемой жирности молока составили 0,2–0,3% жирности измеряемого молока. Максимальный коэффициент вариации для измерений жирности — 6%, а для качественного анализа соматических клеток — 7%, что демонстрирует стабильность работы устройства и успешность модернизации доильной системы. В дальнейшем будет продолжено совершенствование системы, обеспечивающей поточный мониторинг процесса доения.

**Ключевые слова:** молочное животноводство, цифровизация, молоко, качество молока, модернизация, доильные системы

**Для цитирования:** Хакимов А.Р., Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Рузин С.С., Бердюгин П.С. Модернизация доильной системы устройством экспресс-анализа качества молока. *Аграрная наука*. 2024; 388(11): 145–149.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-145-149>

## Modernization of the milking system with a device for express analysis of milk quality

### ABSTRACT

Milking systems used in Russia have the potential to be upgraded with devices for in-line control of milk quality parameters. Monitoring the composition of milk and tracking anomalies in the concentration of somatic cells in real time is especially important for rapid response to changes in the parameters of the physiological state of animals and timely intervention before low-quality milk enters the common reservoir. This paper provides an example of the modernization of the “Herringbone” milking system with the function of evaluating the quality of milk during milking. The milk quality express analysis device used to modernize the milking system is optical and does not affect the flow of milk in the milk hose of the milking system. The device allows for in-line analysis of the percentage concentration of fat and quantitative analysis of the concentration of somatic cells in milk with a threshold detection level of 900–1000 thousand cells / ml, analyzing a flow volume of up to 6 liters/min. In the study, the operability of the device to analyze raw cow's milk with two different fat content parameters — 2.53% and 3.16% and a concentration of  $1 \times 10^6$  somatic cells per 1 ml was evaluated in two stages. As a result of the experiment, the average value  $\pm$  standard deviation of fat content was  $(2.75 \pm 0.16)\%$  and  $(3.37 \pm 0.20)\%$ , and somatic cells were  $(0.096 \pm 0.007)$  cu and  $(0.102 \pm 0.006)$  cu, which corresponds to the range of 900–1000 thousand cells / ml. The errors of the average values of the measured fat content of milk amounted to 0.2–0.3% of the fat content of the measured milk. The maximum coefficient of variation for fat content measurements is 6%, and for qualitative analysis of somatic cells — 7%, which demonstrates the stability of the device and the success of the modernization of the milking system. In the future, the improvement of the system providing on-line monitoring of the milking process will continue.

**Key words:** dairy farming, digitalization, milk, milk quality, modernization, milking systems

**For citation:** Khakimov A.R., Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Ruzin S.S., Berdyugin S.P. Modernization of the milking system with a device for express analysis of milk quality. *Agrarian science*. 2024; 388(11): 145–149 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-145-149>

## Введение/Introduction

В России существует значительный потенциал развития сельского хозяйства в направлении создания и внедрения средств автоматизации [1]. Развитие этой области имеет тренд в направлении использования цифровых и интеллектуальных технологий [2–6].

Для обеспечения контроля качества продукции фермы расширяют использование высокотехнологичных систем экспресс-анализа, которые постепенно заменяют классические дорогостоящие и трудоемкие инвазивные химические методы [7].

Контроль состава молока и длительности доения в режиме реального времени особенно важен для оперативного реагирования на отклонение параметров физиологического состояния животных и своевременной корректировки рационов при снижении удоев [8–11].

Из-за необходимости использовать устройства экспресс-анализа качества продукции, не приводящие к нарушению работы доильной установки и значительному падению давления в молочном шланге, при разработке анализаторов качества молока для оборудования молочных ферм в первую очередь перспективны оптические методы диагностики [12, 13]. Такие методы позволяют проводить бесконтактную и неразрушающую диагностику с высокой чувствительностью и скоростью [14, 15].

Применение БИК-спектроскопии в молочной промышленности привело к повышению качества анализа параметров молока [16]. Однако излишки воды в молоке и наличие микро- и макропузырьков газов усложняют БИК-спектроскопический анализ, что снижает точность анализа молока [17].

В этих условиях измерительные устройства анализа качества молока создаются с учетом того, что поток молока в доильной установке представляет собой чередование молочных и воздушных пробок с различными параметрами рассеяния [18]. Во время работы доильной системы молоко не должно загрязняться объектами, влияющими на его оптические свойства. Например, попадание воды в молочные шланги нарушит пропорции потока молока. Для обеспечения приемлемых условий работы устройства необходимо содержать внутренние поверхности доильной системы в чистоте [19]. Это накладывает определенные ограничения на условия эксплуатации доильных систем.

*Цель исследования* — определить работоспособность модели устройства для измерения процентной концентрации жира и проведения качественного анализа концентрации соматических клеток в молоке в составе модернизированной доильной системы.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Лабораторные испытания проводились в октябре 2023 года в Агроинженерном центре ВИМ и включали оценку работоспособности и точности измерений устройством экспресс-анализа качества молока по двум критериям — процентный анализ массовой доли жира в потоке молоковоздушной смеси и качественный анализ концентрации соматических клеток в потоке молоковоздушной смеси.

Используемое для модернизации доильной системы устройство экспресс-анализа качества молока разработано Агроинженерным центром ВИМ совместно

с ИОФ РАН (патент на изобретение от 28.02.2023 RU 2790807 С1<sup>1</sup>). Устройство позволяет проводить точный анализ процентной концентрации жира и количественный анализ концентрации соматических клеток в молоке с пороговым уровнем 900–1000 тыс. клеток / мл. Комплект состоит из модуля измерений, включающего в себя источник излучения, блок приемников излучения, измерительную камеру и кронштейн для крепления, и модуля расчетов, включающего в себя плату управления и кронштейн для крепления.

Принцип работы и условия эксплуатации скаттерометрического устройства экспресс-анализа качества молока описаны в научных работах разработчиков технологии [19, 20].

В основе лабораторного стенда использована доильная система типа «Елочка» 30° 1 x 3 на три доильных места (ФНАЦ ВИМ, Россия). Максимальный объем потока молоковоздушной смеси в молочном шланге доильной системы и измерительной камере устройства равен 6 л/мин (ежесекундный объем 0,0001 м<sup>3</sup>/с).

В исследовании использовался молочный шланг ПВХ 14 x 24 мм прозрачный (Terraflex, Израиль). При этом учитывается, что поток молоковоздушной смеси протекает при неполном и неравномерном заполнении, что соответствует реальному процессу доения в условиях фермы. В соответствии с требованиями ГОСТ 34496-2018<sup>2</sup> максимально возможным перепадом давления в доильной системе является 3 кПа. Это ключевое условие интеграции устройства в молочный шланг доильной системы. Проверенный вакуумметром (ЧВМЗ, Россия) перепад составил менее 1 кПа.

Разработанный лабораторный стенд состоит из трех модулей, связанных между собой: доильной системы типа «Елочка» 30° 1 x 3 (ФНАЦ ВИМ, Россия); устройства экспресс-анализа качества молока в процессе доения; резервуара (пластикового бака на 50 л с врезанными силиконовыми репликами сосков вымени коровы (производство ФНАЦ ВИМ, Россия), молокопорожнителя 09.000.000 с НМУ (АДС, Беларусь) и молочных шлангов (1,5 м длина участка ПВХ шланга 14 x 24 мм между коллектором и счетчиком молока (Terraflex, Израиль) для создания замкнутой системы циркулирования молоковоздушной смеси.

Поскольку только один из двух модулей устройства экспресс-анализа качества молока непосредственно интегрируется в молочный шланг, монтаж модулей в экспериментальном стенде производится разными способами: модуль расчета был неподвижно закреплен на одной из балок экспериментального стенда с помощью кронштейна; модуль измерений был зафиксирован в молочном шланге экспериментального стенда с использованием двух хомутов и дополнительно неподвижно закреплен на одной из балок экспериментального стенда с помощью кронштейна. Модули связаны шлейфом, поэтому максимальное расстояние между ними составляет 150 мм. На рисунке 1 показан вид лабораторного стенда.

Конструкция стенда позволяет прокачивать молоко в замкнутом цикле неограниченное время, однако делать это дольше 30 мин. не рекомендуется из-за разрушения структуры молока при длительной прокачке в молочных шлангах экспериментального стенда.

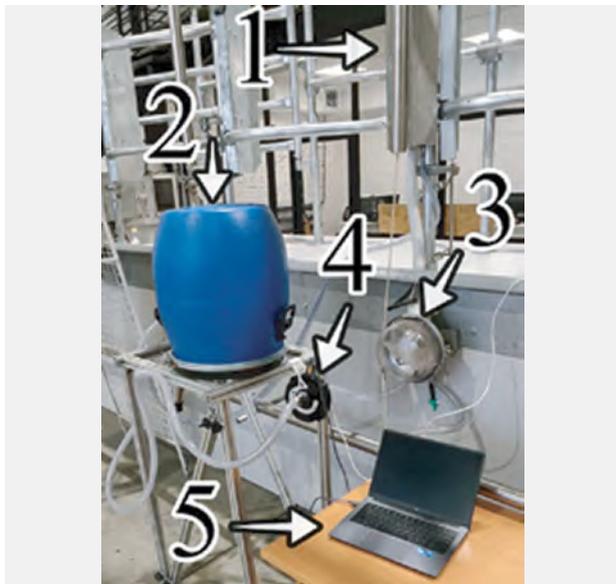
Методика исследования включает оценку двух параметров качества молока — процентную концентрацию

<sup>1</sup> Патент на изобретение от 28.02.2023 RU 2790807 С1 «Способ и проточное устройство для определения процентных концентраций компонентов молока в потоке», заявка № 2022109279. Правообладатель ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ».

<sup>2</sup> ГОСТ 34496-2018 Установки и аппараты доильные для коров. Методы испытаний.

**Рис. 1.** Лабораторный стенд для испытаний модели модернизированной системы устройства учета: 1 — блок управления доильной системой «Елочка», 2 — бак для молока, 3 — счетчик молока, 4 — устройство экспресс-анализа качества молока, 5 — компьютер для отображения и сохранения данных

**Fig. 1.** Laboratory stand for testing the upgraded milking system: 1 — control unit for the milking system "Herringbone", 2 — milk tank, 3 — milk meter, 4 — device for express analysis of milk quality, 5 — computer for displaying and storing data



жирности и качественный анализ концентрации соматических клеток. Для проведения исследования необходимы эталонный анализатор качества молока (для оценки процентной концентрации жирности) и референсный способ качественной оценки концентрации соматических клеток.

Исследование проводилось в два этапа, использовалось сырое коровье молоко, пастеризованное, неомогенизированное, с двумя отличающимися параметрами жирности — 2,53% и 3,16%. Молоко разной жирности поочередно заливалось в систему.

Жирность молока перед исследованием измерялась сертифицированным анализатором качества молока «Лактан 1-4М» (ООО ВПК «Сибагроприбор», Россия) в соответствии с РМГ 29-2013<sup>3</sup>. По причине логистической недоступности доставки сырого коровьего молока с высокой концентрацией соматических клеток для проверки точности качественного анализа концентрации соматических клеток в молоке были использованы клетки карциномы молочной железы человека размером около 20 мкм, разбавленные в молоке для обеспечения концентрации в  $1 \times 10^6$  клеток на 1 мл, используя существующую методику создания модели соматических клеток [21].

Измерения проводятся по 32 раза с каждым типом молока. Устройство проводит измерение каждые 12 сек., что соответствует пяти измерениям в 1 мин. Программа вывода результатов измерений указывает точное время при выводе результата измерения.

Для проведения лабораторного эксперимента необходимо выполнить следующие шаги:

1. Заполнить макет вымени молоком.

2. Подключить устройство экспресс-анализа качества молока к компьютеру и запустить программу вывода результатов измерений.

3. Включить экспериментальный стенд и задать режим производительности (минимальный — 1 л/мин, максимальный — 6 л/мин).

4. Фиксировать результаты измерений (программа вывода результатов измерений позволяет переносить результаты в файл текстового редактора компьютера).

5. По окончании эксперимента остановить прокачку молока, отключить от молочного шланга устройство экспресс-анализа, опорожнить макет вымени от молока, промыть макет и устройство, просушить всё оборудование.

Для оценки однородности полученных результатов использовался коэффициент вариации, благодаря которому можно оценить степень рассеивания результатов измерений в общей выборке данных.

Точность работы устройства в ходе проведенного лабораторного исследования позволит сделать предположения о достоверности и применимости сбора массива цифровых данных и последующего анализа ветеринарами для оценки стада. Рассчитанный коэффициент вариации  $s_v$  измерений был рассчитан с использованием отношения стандартного отклонения выборки  $\sigma$  к среднему значению выборки  $x$  по формуле (1):

Оценка точности работы устройства проводится сравнением результатов, полученных устройством экспресс-анализа качества молока, с процентной концентрацией жирности и качественным анализом концентрации соматических клеток, полученными эталонными способами, описанными выше.

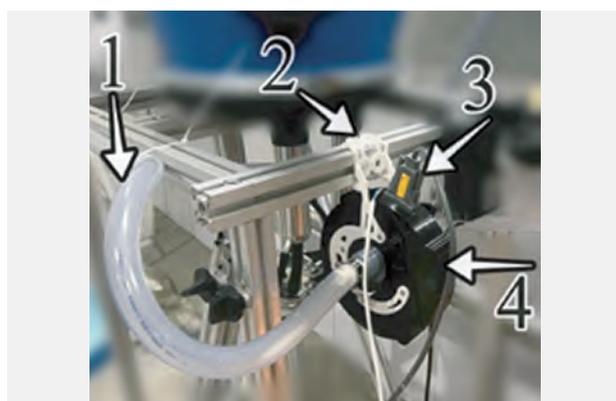
### Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для испытаний использовалось коровье молоко жирностью 2,53% и 3,16%. Работающее устройство экспресс-анализа качества молока проводит измерение параметров качества молока каждые 12 сек. независимо от наличия молока в измерительной камере устройства, поэтому значения в моменты отсутствия молока в измерительной камере устройства были исключены из результатов. Вид устройства после испытаний представлен на рисунке 2.

На первом этапе эксперимента была проверена точность работы устройства с молоком жирностью 2,53% и количеством соматических клеток  $1 \times 10^6$ . В результате среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение

**Рис. 2.** Устройство во время проведения испытаний: 1 — молочный шланг, 2 — нейлоновый кронштейн, 3 — кабели подключения питания и передачи данных в формате RS-232, 4 — устройство экспресс-анализа качества молока. Фото автора

**Fig. 2.** Device during testing: 1 — milk hose, 2 — nylon bracket, 3 — power supply and RS-232 data cables, 4 — device for express analysis of milk quality. Photo by the author



<sup>3</sup> РМГ 29-2013 Прямое измерение. Измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений.

жирности —  $2,75 \pm 0,16\%$ , коэффициент соматических клеток —  $0,102 \pm 0,006$  у. е., что соответствует диапазону 900–1000 тыс. соматических клеток. Достоверность результатов подтверждена при  $p < 0,05$ . На рисунке 3 можно визуально оценить результаты по измерению жирности молока.

На втором этапе эксперимента была проверена точность работы устройства с молоком жирностью 3,16% и с количеством соматических клеток  $1 \times 10^6$ . В результате эксперимента среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение жирности составили  $3,37 \pm 0,20\%$ , коэффициент соматических клеток —  $0,096 \pm 0,007$  у. е., что соответствует диапазону 900–1000 тыс. соматических клеток. Достоверность результатов подтверждена при  $p < 0,05$ . На рисунке 4 можно визуально оценить результаты по измерению жирности молока.

Максимальный коэффициент вариации для измерений жирности составил 6%, а для качественного анализа соматических клеток — 7%, что демонстрирует стабильность работы устройства. Подробное изучение массива цифровых данных, которые будут получены при производственных испытаниях устройства, помогут находить даже слабо выраженные закономерности изменения параметров качества молока животных.

Из результатов эксперимента можно сделать заключение о погрешности средних значений измеряемой жирности молока в 0,2–0,3%, а разовые измерения имеют максимальную погрешность менее 0,6% жирности.

Стоит отметить, что на возможную точность результатов исследования может оказывать влияние загрязнение молочных шлангов. В лабораторной установке промывка молочных шлангов производится своевременно и в соответствии с инструкцией по эксплуатации, поэтому они сохраняют свою функциональность. Однако в производственных условиях возможны нарушения условий эксплуатации, что может привести к загрязнению протекающего в молочных шлангах доильной системы потока молоковоздушной смеси и возможному снижению точности измерений устройством.

**Рис. 3.** Результаты испытаний точности устройства по измерению процентной концентрации жира в молоке

**Fig. 3.** Results of testing the accuracy of the device for measuring the percentage concentration of fat in milk



**Рис. 4.** Результаты испытаний точности устройства по проведению качественного анализа концентрации соматических клеток

**Fig. 4.** Results of testing the accuracy of the device for conducting a qualitative analysis of the concentration of somatic cells



### Выводы/Conclusions

Экспериментально доказана возможность модернизировать доильную систему «Елочка» устройством экспресс-анализа параметров качества молока. Был разработан и создан модельный экспериментальный стенд, на котором оценена способность устройства проводить экспресс-анализ процентной концентрации жира и качественную оценку концентрации соматических клеток в молоке жирностью 2,53% и 3,16%.

В результате эксперимента среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение жирности составили  $2,75 \pm 0,16\%$  и  $3,37 \pm 0,20\%$ , а соматических клеток —  $0,096 \pm 0,007$  у. е. и  $0,102 \pm 0,006$  у. е., что соответствует диапазону 900–1000 тыс. клеток / мл. Погрешности средних значений измеряемой жирности молока составили 0,2–0,3% жирности измеряемого молока.

В дальнейшем будет продолжено совершенствование системы, обеспечивающей поточный мониторинг процесса доения.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the 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

1. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021; 15(4): 6–10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
2. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(2): 4–13. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13>
3. Zolkin A.L., Matvienko E.V., Bityutsky A.S., Shamina S.V., Dragulenko V.V. Introduction of advanced information technologies in agriculture. *E3S Web of Conferences. V International Scientific Forum on Computer and Energy Sciences (WFCES 2023)*. 2023; 419: 03002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341903002>
4. Zhuravleva L., Zarubina E., Ruchkin A., Simachkova N., Chupina I. Development of the agrarian and industrial complex of Russia through the use of new technologies. *E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference "Ensuring the Technological Sovereignty of the Agro-Industrial Complex: Approaches, Problems, Solutions" (ETSAC2023)*. 2023; 395: 05007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339505007>

### REFERENCES

1. Lobachevsky Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021; 15(4): 6–10 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
2. Tsench Yu.S. Scientific and Technological Potential as the Main Factor for Agricultural Mechanization Development. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022; 16(2): 4–13 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13>
3. Zolkin A.L., Matvienko E.V., Bityutsky A.S., Shamina S.V., Dragulenko V.V. Introduction of advanced information technologies in agriculture. *E3S Web of Conferences. V International Scientific Forum on Computer and Energy Sciences (WFCES 2023)*. 2023; 419: 03002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341903002>
4. Zhuravleva L., Zarubina E., Ruchkin A., Simachkova N., Chupina I. Development of the agrarian and industrial complex of Russia through the use of new technologies. *E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference "Ensuring the Technological Sovereignty of the Agro-Industrial Complex: Approaches, Problems, Solutions" (ETSAC2023)*. 2023; 395: 05007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339505007>

5. Chernyakov M., Chemyakova M., Suleymanov Sh. The use of digital technologies in the agro-industrial complex. *International Scientific and Practical Conference "Current Issues of Biology, Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops" (CIBTA2022). Conference Proceedings (To the 110<sup>th</sup> anniversary of V.S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops)*. 2023; 277: 020007-1–020007-6. <https://doi.org/10.1063/5.0140164>
6. Tsvetkova I.I., Vakhovskaya M.Yu. The use of digital technologies in agricultural management. *II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023)*. Les Ulis. 2023; 392: 01028. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339201028>
7. Burmistrov D.E. et al. Application of Optical Quality Control Technologies in the Dairy Industry: An Overview. *Photonics*. 2021; 8(12): 551. <https://doi.org/10.3390/photonics8120551>
8. Khakimov A.R., Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Astashev M.E., Dovlatov I.M. Development of an Algorithm for Rapid Herd Evaluation and Predicting Milk Yield of Mastitis Cows Based on Infrared Thermography. *Applied Sciences*. 2022; 12(13): 6621. <https://doi.org/10.3390/app12136621>
9. Баеринас М.Н., Неверова О.П., Горелик О.В., Гриценко С.А., Ребезов М.Б., Исаева К.С. Динамика вариации молочных признаков у коров при применении кормовой добавки «ВивАктив». *Аграрная наука*. 2024; (5): 63–68. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-63-68>
10. Белооков А.А., Белоокова О.В., Горелик О.В., Ребезов М.Б. Состав и свойства молока коров черно-пестрой породы разных генотипов. *Аграрная наука*. 2023; (3): 62–69. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-62-69>
11. Канев П.Н., Горелик О.В., Харлап С.Ю., Горелик А.С., Ребезов М.Б. Сопряженность продуктивных признаков молочного скота голштинской породы. *Аграрная наука*. 2024; (3): 92–97. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-92-97>
12. He C., He H., Chang J., Chen B., Ma H., Booth M.J. Polarisation optics for biomedical and clinical applications: a review. *Light: Science & Applications*. 2021; 10: 194. <https://doi.org/10.1038/s41377-021-00639-x>
13. Ghosh N., Vitkin A.I. Tissue polarimetry: concepts, challenges, applications, and outlook. *Journal of biomedical optics*. 2011; 16(11): 110801. <https://doi.org/10.1117/1.3652896>
14. Ramella-Roman J.C., Saytashev I., Piccini M. A review of polarization-based imaging technologies for clinical and preclinical applications. *Journal of Optics*. 2020; 22(12): 123001. <https://doi.org/10.1088/2040-8986/abbf8a>
15. Li P. et al. Temperature dependent red luminescence from a distorted Mn<sup>4+</sup> site in CaAl<sub>2</sub>O<sub>7</sub>: Mn<sup>4+</sup>. *Optics Express*. 2013; 21(16): 18943–18948. <https://doi.org/10.1364/OE.21.018943>
16. Karoui R., De Baerdemaeker J. A review of the analytical methods coupled with chemometric tools for the determination of the quality and identity of dairy products. *Food Chemistry*. 2007; 102(3): 621–640. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.042>
17. Агеев А.И., Осипцов А.Н. Сдвиговое течение вязкой жидкости над каверной, содержащей пульсирующий пузырек газа. Доклады Российской академии наук. *Физика, технические науки*. 2020; 493: 38–41. <https://doi.org/10.31857/S2686740020030037>
18. Chue-Sang J., Bai Y., Stoff S., Straton D., Ramaswamy S.D., Ramella-Roman J.C. Use of combined polarization-sensitive optical coherence tomography and Mueller matrix imaging for the polarimetric characterization of excised biological tissue. *Journal of Biomedical Optics*. 2016; 21(7): 071109. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.21.7.071109>
19. Khakimov A.R. et al. Effects of Milking System Operating Conditions on the Milk-Fat-Percentage Measuring Accuracy of an Inline Light-Scattering Sensor. *Applied Sciences*. 2023; 13(21): 11836. <https://doi.org/10.3390/app132111836>
20. Shkirin A.V., Astashev M.E., Ignatenko D.N., Suyazov N.V., Vedunova M.V., Gudkov S.V. Laser Scatterometric Device for Inline Measurement of Fat Percentage and the Concentration Level of Large-Scale Impurities in Milk. *Applied Sciences*. 2022; 12(24): 12517. <https://doi.org/10.3390/app122412517>
21. Шкирин А.В., Асташев М.Е., Игнатенко Д.Н., Козлов В.А., Гудков С.В. Флуоресцентно-скаттерометрическая методика измерения процентного содержания дисперсных компонентов эмульсий в применении к оценке качества молока. *Краткие сообщения по физике ФИАН*. 2023; 50(5): 14–24. <https://www.elibrary.ru/kabwrz>
5. Chernyakov M., Chemyakova M., Suleymanov Sh. The use of digital technologies in the agro-industrial complex. *International Scientific and Practical Conference "Current Issues of Biology, Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops" (CIBTA2022). Conference Proceedings (To the 110<sup>th</sup> anniversary of V.S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops)*. 2023; 277: 020007-1–020007-6. <https://doi.org/10.1063/5.0140164>
6. Tsvetkova I.I., Vakhovskaya M.Yu. The use of digital technologies in agricultural management. *II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023)*. Les Ulis. 2023; 392: 01028. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339201028>
7. Burmistrov D.E. et al. Application of Optical Quality Control Technologies in the Dairy Industry: An Overview. *Photonics*. 2021; 8(12): 551. <https://doi.org/10.3390/photonics8120551>
8. Khakimov A.R., Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Astashev M.E., Dovlatov I.M. Development of an Algorithm for Rapid Herd Evaluation and Predicting Milk Yield of Mastitis Cows Based on Infrared Thermography. *Applied Sciences*. 2022; 12(13): 6621. <https://doi.org/10.3390/app12136621>
9. Baerinas M.N., Neverova O.P., Gorelik O.V., Gritsenko S.A., Rebezov M.B., Isaeva K.S. Dynamics of variation of dairy characteristics in cows when using the feed additive "VivAktiv". *Agrarian science*. 2024; (5): 63–68 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-63-68>
10. Belookov A.A., Belookova O.V., Gorelik O.V., Rebezov M.B. The composition and properties of the milk of black-and-white cows of different genotypes. *Agrarian science*. 2023; (3): 62–69 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-62-69>
11. Kanev P.N., Gorelik O.V., Kharlap S.Yu., Gorelik A.S., Rebezov M.B. The conjugation of productive features of dairy cattle of the Holstein breed. *Agrarian science*. 2024; (3): 92–97 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-92-97>
12. He C., He H., Chang J., Chen B., Ma H., Booth M.J. Polarisation optics for biomedical and clinical applications: a review. *Light: Science & Applications*. 2021; 10: 194. <https://doi.org/10.1038/s41377-021-00639-x>
13. Ghosh N., Vitkin A.I. Tissue polarimetry: concepts, challenges, applications, and outlook. *Journal of biomedical optics*. 2011; 16(11): 110801. <https://doi.org/10.1117/1.3652896>
14. Ramella-Roman J.C., Saytashev I., Piccini M. A review of polarization-based imaging technologies for clinical and preclinical applications. *Journal of Optics*. 2020; 22(12): 123001. <https://doi.org/10.1088/2040-8986/abbf8a>
15. Li P. et al. Temperature dependent red luminescence from a distorted Mn<sup>4+</sup> site in CaAl<sub>2</sub>O<sub>7</sub>: Mn<sup>4+</sup>. *Optics Express*. 2013; 21(16): 18943–18948. <https://doi.org/10.1364/OE.21.018943>
16. Karoui R., De Baerdemaeker J. A review of the analytical methods coupled with chemometric tools for the determination of the quality and identity of dairy products. *Food Chemistry*. 2007; 102(3): 621–640. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.042>
17. Ageev A.I., Osipov A.N. Shear Flow of a Viscous Fluid over a Cavity with a Pulsating Gas Bubble. *Doklady Physics*. 2020; 65(7): 242–245. <https://doi.org/10.1134/S1028335820050031>
18. Chue-Sang J., Bai Y., Stoff S., Straton D., Ramaswamy S.D., Ramella-Roman J.C. Use of combined polarization-sensitive optical coherence tomography and Mueller matrix imaging for the polarimetric characterization of excised biological tissue. *Journal of Biomedical Optics*. 2016; 21(7): 071109. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.21.7.071109>
19. Khakimov A.R. et al. Effects of Milking System Operating Conditions on the Milk-Fat-Percentage Measuring Accuracy of an Inline Light-Scattering Sensor. *Applied Sciences*. 2023; 13(21): 11836. <https://doi.org/10.3390/app132111836>
20. Shkirin A.V., Astashev M.E., Ignatenko D.N., Suyazov N.V., Vedunova M.V., Gudkov S.V. Laser Scatterometric Device for Inline Measurement of Fat Percentage and the Concentration Level of Large-Scale Impurities in Milk. *Applied Sciences*. 2022; 12(24): 12517. <https://doi.org/10.3390/app122412517>
21. Shkirin A.V., Astashev M.E., Ignatenko D.N., Kozlov V.A., Gudkov S.V. Fluorescence-scatterometric technique for measuring the percentage content of dispersed components of emulsions in application to milk quality assessment. *Kratkiye soobshcheniya po fizike FIAN*. 2023; 50(5): 14–24 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kabwrz>

#### ОБ АВТОРАХ

##### Артём Рустамович Хакимов

младший научный сотрудник

arty.hv@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

##### Дмитрий Юрьевич Павкин

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

dimqaqa@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

##### Сергей Сергеевич Юрочка

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

yssvim@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

##### Семён Сергеевич Рузин

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

ruzin.s.s@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6870-5486>

##### Павел Сергеевич Бердюгин

младший научный сотрудник

BPS71188@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0005-8217-9482>

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

#### ABOUT THE AUTHORS

##### Artem Rustamovich Khakimov

Junior Researcher Assistant

arty.hv@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

##### Dmitry Yuryevich Pavkin

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

dimqaqa@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

##### Sergey Sergeevich Yurochka

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

yssvim@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

##### Semen Sergeevich Ruzin

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

ruzin.s.s@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6870-5486>

##### Pavel Sergeevich Berdyugin

Junior Researcher Assistant

BPS71188@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0005-8217-9482>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM,  
5 1<sup>st</sup> Institute Passage, Moscow, 109428, Russia