

УДК 637.112.5

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2024-387-10-165-170

А.Р. Хахимов ✉

С.С. Юрочка

С.С. Рузин

Ф.Е. Владимиров

Федеральный научный агроинженерный
центр ВИМ, Москва, Россия

✉ art.y.hv@gmail.com

Поступила в редакцию: 26.07.2024

Одобрена после рецензирования: 12.09.2024

Принята к публикации: 26.09.2024

© Хахимов А.Р., Юрочка С.С., Рузин С.С.,
Владимиров Ф.Е.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2024-387-10-165-170

Artyom R. Khakimov ✉

Sergey S. Yurochka

Sergey S. Ruzin

Fedor E. Vladimirov

Federal Scientific Agroengineering Center
VIM, Moscow, Russia

✉ art.y.hv@gmail.com

Received by the editorial office: 26.07.2024

Accepted in revised: 12.09.2024

Accepted for publication: 26.09.2024

© Khakimov A.R., Yurochka S.S., Ruzin S.S.,
Vladimirov F.E.

Разработка и испытания измерительной камеры для устройства экспресс-анализа качества молока в потоке

РЕЗЮМЕ

Механизация и роботизация молочных ферм требуют развития технологий оценки качества производимой продукции. 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. В первой версии скаттерометрического устройства экспресс-анализа качества молока использовалась стеклянная измерительная камера с простым круглым сечением, однако она не обеспечивала приведение турбулентного потока молоковоздушной смеси к ламинарному. В данном исследовании представлены разработка и испытания прототипа измерительной камеры, обеспечивающей замедление и ламинаризацию потока молоковоздушной смеси. Устройство работает при производительности доения от 1 до 6 л/мин, скорость потока — от 0,2 до 1,8 м/с. В разрабатываемой измерительной камере создан специальный отвод под углом отклонения 45° так, чтобы он имел общую прорезь с основной трубкой. В отводе происходит замедление потока молоковоздушной смеси для уменьшения завихрений и количества пузырьков воздуха, мешающих работе скаттерометрических устройств. Область проведения измерений устройством находится в верхней части отвода. В результате разработанная измерительная камера имеет внутренний диаметр основной части в 15 мм, отвода — в 11 мм, обеспечивает в момент прохода молочной пробки близкое к 100% заполнение отвода жидкостью. Разработанная измерительная камера позволила новой версии устройства экспресс-анализа качества молока добиться увеличения точности и стабильности измерений.

Ключевые слова: молочное животноводство, цифровизация, молоко, качество молока, спектроскопия

Для цитирования: Хахимов А.Р., Юрочка С.С., Рузин С.С., Владимиров Ф.Е. Разработка и испытания измерительной камеры для устройства экспресс-анализа качества молока в потоке. *Аграрная наука*. 2024; 387(10): 165–170.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-165-170>

Development and testing of a measuring chamber for a device for express analysis of milk quality in a flow

ABSTRACT

Mechanization and robotization of dairy farms require the development of technologies for assessing the quality of manufactured products. Monitoring milk composition and milking duration in real time is especially important for prompt response to deviations in animal physiological state parameters and timely adjustment of rations when milk yields decrease. The first version of the scatterometric device for express analysis of milk quality used a glass measuring chamber with a simple round cross-section, but it did not ensure the reduction of the turbulent flow of the milk-air mixture to laminar. This study presents the development and testing of a prototype of a measuring chamber that provides deceleration and laminarization of the milk-air mixture flow. The device operates at a milking capacity of 1 to 6 l/min, flow speed from 0.2 to 1.8 m/s. In the developed measuring chamber, a special bypass is created at an angle of 45° so that it has a common slot with the main tube. In this bypass, the flow of the milk-air mixture is slowed down to reduce turbulence and the number of air bubbles that interfere with the operation of scatterometric devices. The measurement area of the device is located in the upper part of the bypass. As a result, the developed measuring chamber has an internal diameter of the main part of 15 mm, the bypass of 11 mm, and provides close to 100% filling of the branch with liquid at the moment of the milk plug passage. The developed measuring chamber allowed the new version of the express milk quality analysis device to achieve increased accuracy and stability of measurements.

Key words: dairy farming, digitalization, milk, milk quality, spectroscopy

For citation: Khakimov A.R., Yurochka S.S., Ruzin S.S., Vladimirov F.E. Development and testing of a measuring chamber for a device for express analysis of milk quality in a flow. *Agrarian science*. 2024; 387(10): 165–170 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-165-170>

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 [2–5]. В сфере молочного животноводства развитие автоматизации является особенно наукоемким процессом из-за необходимости прямого взаимодействия с животными.

Механизация и роботизация молочных ферм требуют развития технологий оценки качества производимой продукции [6, 7]. Так, для контроля качества молока актуально поточное измерение его компонентного состава в процессе доения.

Получение информации о содержании компонентов молока (жира, белков, лактозы, соматических клеток, прогестерона, аминокислот и др.) лежит в основе оценки пригодности молока к употреблению, диагностики баланса питания и клинического состояния коров [8, 9]. В частности, процентная концентрация жира считается основным критерием, определяющим рыночную стоимость молока.

Для обеспечения контроля качества продукции фермы расширяют использование высокотехнологичных систем экспресс-анализа, которые постепенно заменяют классические дорогостоящие и трудоемкие инвазивные химические методы [10]. 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 [11].

Из-за необходимости использовать устройства 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 актуальны оптические методы диагностики [12, 13].

Во встраиваемых в молочные шланги поточных устройствах контроля качества молока наиболее перспективными являются спектральные методы диагностики, работающие в ближнем инфракрасном диапазоне (БИК-спектроскопия) [14].

Применение БИК-спектроскопии в молочной промышленности привело к повышению качества анализа параметров молока [15]. Скаттерометрические 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 [16]. Из практики известно, что реальное заполнение молочного шланга никогда не является полным и обычно составляет 30–60% его объема.

Для соблюдения условий работы устройства, использующего метод пропускания света, необходимо, чтобы при любых параметрах доения происходило полное заполнение измерительной камеры молоком и было как можно меньше пузырьков воздуха. Присутствие излишков воды в молоке, наличие микро- и макропузырьков газов усложняет БИК-спектроскопический анализ, что снижает точность анализа молока [17].

Для работы оптических устройств необходимы измерительные камеры с прозрачными стенками для

обеспечения пропускания света сквозь поток молоко-воздушной смеси.

Принцип работы скаттерометрического устройства поточного анализа полидисперсных жидкостей подробно описан в уже опубликованных научных работах [18, 19].

В скаттерометрическом устройстве экспресс-анализа качества молока, разработанном Агроинженерным центром ВИМ совместно с ИОФ РАН (Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, г. Москва, Россия) использовалась стеклянная измерительная камера с простым круглым сечением. Однако в таком случае поток молоковоздушной смеси, который анализируется устройством в измерительной камере, имеет скорость, сходную с потоком в молочном шланге, что усложняет процесс анализа. В нем присутствует большое количество пузырьков воздуха.

Цель исследования — разработать новую измерительную камеру устройства экспресс-анализа качества молока, обеспечивающую ламинарный поток молоко-воздушной смеси в зоне измерения.

Материалы и методы исследования /

Materials and methods

Разработка и испытания измерительной камеры проводились в июне — октябре 2023 года в Агроинженерном центре ВИМ.

В соответствии с требованиями ГОСТ 34496¹ максимально возможным перепадом давления в доильной системе является 3 кПа, недопуск перепада давления является принципиальным условием разработки устройства экспресс-анализа качества молока. Изменение давления в молочном шланге доильной системы оценивается с использованием вакуумметра (ЧВМЗ, Россия).

Объект исследования — устройство экспресс-анализа качества молока, разработанное Агроинженерным центром ВИМ совместно с ИОФ РАН².

Модернизируемое устройство состоит из двух модулей — 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.

Разработка новой измерительной камеры должна затрагивать только модуль измерений, при этом должны сохраниться и сходные параметры подключения устройства в молочный шланг с использованием штуцеров, а именно возможность подключения к молочному шлангу с внутренним диаметром 14 мм.

У устройства экспресс-анализа качества молока внутренний диаметр измерительной камеры должен соответствовать производительности доильной системы (до 6 л/мин).

В исследовании использовался шланг молочный прозрачный ПВХ 14 x 24 мм (Terraflex, Израиль). Прокачка жидкости в рабочем режиме в молочных шлангах испытательного стенда проводилась с производительностью от 2,5 до 3,5 л/мин, достигала 6 л/мин для тестов максимальной производительности, минимальный поток был равен 1 л/мин.

В уже разработанном варианте устройства использовалась измерительная камера с круглым сечением, повторяющим форму внутреннего сечения молочного

¹ ГОСТ 34496-2018 Установки и аппараты доильные для коров. Методы испытаний.

² Патент на изобретение RU 2790807 C1 «Способ и проточное устройство для определения процентных концентраций компонентов молока в потоке» от 28.02.2023, заявка № 2022109279. Правообладатель: ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ».

шланга, где не было участков со стабильным ламинарным потоком молоковоздушной смеси [20].

При разработке измерительной камеры устройства испытания будут проводиться в условиях, приближенных к производственным (будет использоваться лабораторная установка на основе распространенной в России доильной системы «Елочка», адаптированная к замкнутому циклу прокачки жидкости).

В предыдущих работах были описаны влияние условий эксплуатации доильной системы на точность измерения жирности молока устройством и влияние на загрязнение измерительной камеры [21].

Единственное отличие в данной работе — проведение испытаний с использованием воды вместо молока в качестве рабочей жидкости для упрощения визуальной оценки потока и уменьшения налипания на стенки измерительной камеры. Это допустимо ввиду схожей плотности молока и воды (плотность воды при 20 °C составляет 998 кг/м³, а плотность молока — 1027 кг/м³), поэтому заполнение жидкостью отвода измерительной камеры будет практически идентичным.

В существующем устройстве измерительная камера имеет небольшое уменьшение внутреннего диаметра, но при этом ту же цилиндрическую форму (рис. 1).

В разрабатываемой измерительной камере будет создан специальный отвод, в котором будет происходить замедление потока. Важнейшими условиями разработки остаются уменьшение количества пузырьков воздуха и полное заполнение жидкостью области проведения измерений.

Разработка новой измерительной камеры с отводом будет проводиться в программе «Компас-3D» на основе стандартов ЕСКД, изготовление корпуса устройства — на 3D-принтере из термоустойчивого пластика (PETG Geek Fil/lament, Китай). Для большей устойчивости измерительная камера и штуцеры будут напечатаны из нейлона (ERYONE Nylon Clear, Китай).

Прозрачная вставка в отводе измерительной камеры, обеспечивающая проведение скаттерометрического анализа, изготавливается из кварцевого стекла.

Из литературного исследования известно, что для применения оптического метода поток молока должен быть 10–15 мм в диаметре, поскольку в этом случае выполняется условие преобладания многократного рассеяния и возможно проводить исследования методами спектроскопии рассеяния и пропускания [22]. Поэтому внутренний диаметр рабочей части отвода измерительной камеры, где будет осуществляться измерение параметров качества молока, должен быть не более 15 мм, при этом внутренний диаметр основной части измерительной камеры должен быть большего диаметра.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Чтобы добиться ламинарного потока молока в измерительной камере, но при этом сохранить способность измерительной камеры к пассивной промывке одновременно со всей доильной системой, к основной трубке добавили цилиндрический отвод под углом ответвления 45°, так чтобы он имел общую прорезь с основной трубкой.

Для определения параметров протекания жидкости было проведено имитационное моделирование завихрений потока молоковоздушной смеси в среде SolidWorks.

Рис. 1. Вид измерительной камеры первой версии устройства

Fig. 1. Image of the measuring chamber of the first version of the device

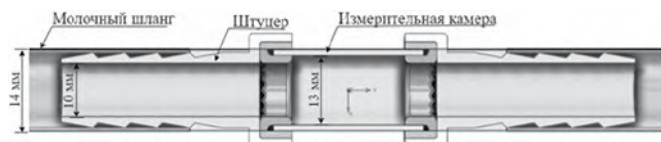


Рис. 2. Моделирование завихрений в отводе измерительной камеры устройства

Fig. 2. Modeling of vortices in the measuring chamber branch of the device

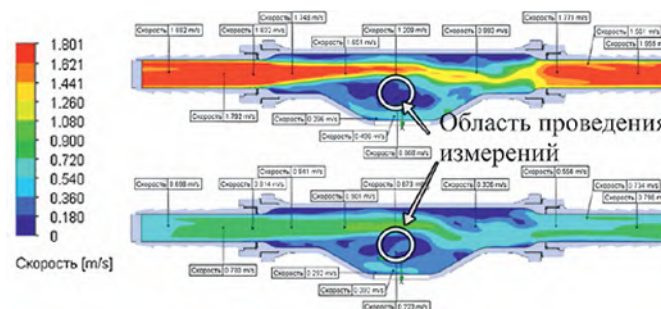
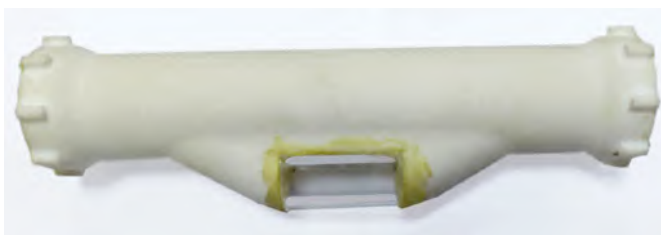


Рис. 3. Изображение разработанной измерительной камеры. Фото авторов

Fig. 3. Image of the developed measuring chamber. Photo by the authors



В разработанной модели внутренний диаметр основной части измерительной камеры был равен 14 мм, а отвода, в котором и производится процесс измерения параметров качества молока, — 11 мм. Моделирование проводилось с потоком 6 л/мин. Скорость движения потока в измерительной камере составляла от 0,2 до 1,8 м/с (рис. 2).

Для лабораторного эксперимента, оценивающего результат исследования по созданию отвода в измерительной камере, был создан опытный образец измерительной камеры (рис. 3).

В этом отводе поток молоковоздушной смеси должен становиться ламинарным с меньшим количеством пузырьков воздуха. Сама измерительная камера с отводом изготовлена методом 3D-печати из полиамидного пластика (материал ERYONE Nylon Clear, Китай; принтер Total Z AnyForm 250-G3, Россия), а отвод сделан из кварцевого стекла толщиной 1 мм, чтобы обеспечить измерительной камере прозрачность для лазерного излучения.

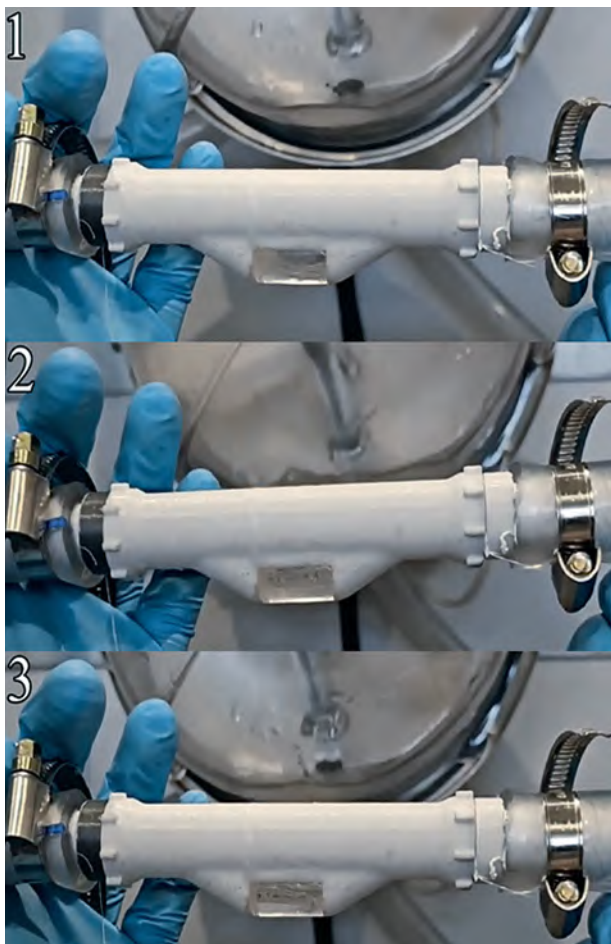
Фактически цилиндрический кварцевый отвод, встроенный в измерительную камеру, служит оптической ячейкой для наблюдения углового распределения рассеянного света с помощью полукруглого массива фотодетекторов, установленного концентрично с отводом измерительной камеры.

Жидкость в измерительной камере постоянно обновляется во время работы доильного аппарата. Штуцеры на концах основного канала являются съемными и могут выбираться в зависимости от диаметра используемого молочного шланга.

Были проведены испытания измерительной камеры в лабораторных условиях, результаты которых

Рис. 4. Результаты первого испытания: 1–3 — завихрения при протекании воздушных и молочных пробок. Фото авторов

Fig. 4. The results of the first test: 1–3 — turbulence during the flow of air and milk plugs. Photos of the authors



фиксировали камерой с частотой записи 480 к/сек (OnePlus 8 Pro, Китай). Для первоначального исследования объем протекающей жидкости выставили равным 4 л/мин.

Результаты представлены на рисунке 4. Цифрами 1–3 обозначены моменты протекания воздушных и молочных пробок в молочном шланге доильной системы.

Как видно на рисунках, при таких параметрах измерительной камеры не происходит достаточного заполнения измерительной камеры жидкостью, измерения параметров качества молока скаттерометрическим способом не могут производиться.

По результатам моделирования предполагалось наличие спокойного ламинарного потока в области проведения измерений, а наибольших завихрений — в основной части измерительной камеры. Недостаточное заполнение отвода жидкостью приводит к тому, что завихрения оказываются в области измерений устройством, что приводит к нарушению работы скаттерометрического устройства. При этом можно отметить постоянное обновление жидкости в отводе измерительной камеры и сделать вывод о применимости использования угла перехода к отводу измерительной камеры в 45°.

На основании этих наблюдений было принято решение уменьшить длину отвода измерительной камеры на 35%, при этом был сохранен исходный внутренний диаметр отвода, равный 11 мм. Толщина стеклянных стенок отвода была увеличена до 2 мм для повышения

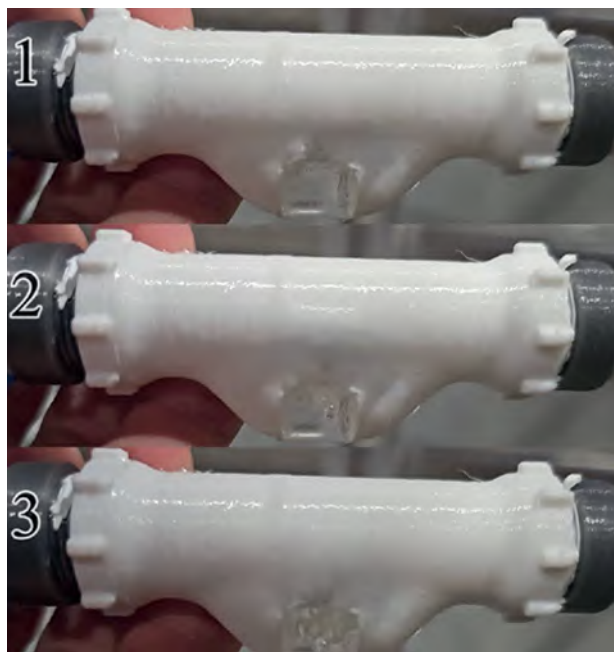
Рис. 5. Изображение доработанной измерительной камеры. Фото авторов

Fig. 5. Image of the modified measuring chamber. Photo by the authors



Рис. 6. Результаты второго испытания: 1–3 — завихрения при протекании воздушных и молочных пробок. Фото авторов

Fig. 6. Results of the second test: 1–3 — turbulence during the flow of air and milk plugs. Photos of the authors



устойчивости крепления в измерительной камере и общей прочности конструкции.

Изображение доработанной измерительной камеры после печати представлено на рисунке 5.

Были сохранены исходные пропорции ответвления, но уменьшен объем отвода измерительной камеры (примерно на 40%). В результате при сохранении объема протекающего в молочном шланге потока молоковоздушной смеси потребуется меньше жидкости для заполнения отвода, но сохранятся параметры завихрений.

Результаты испытаний представлены на рисунке 6. Цифрами 1–3 обозначены моменты работы протекания воздушных и молочных пробок в молочном шланге доильной системы.

Как видно на рисунке 6, в случае доработанного отвода измерительной камеры между тактами работы доильной системы есть периоды ламинарного потока, необходимого для работы скаттерометрического устройства экспресс-анализа качества молока. При этом в области проведения измерений практически отсутствуют пузырьки воздуха, а заполнение отвода жидкостью близко к 100%. Даже в момент прохождения воздушной пробки в отвод попадают пузырьки воздуха, но не происходит его осушения.

Данный результат был признан удовлетворительным, а разработанная измерительная камера была использована при создании нового образца устройства экспресс-анализа качества молока в потоке молоковоздушной смеси.

Выводы/Conclusions

В данном исследовании была разработана модернизированная измерительная камера, обеспечивающая преобразование турбулентного потока молоковоздушной смеси в ламинарный с сохранением объема протекающего потока.

Изменение структуры потока обеспечивается специальным цилиндрическим отводом под углом ответвления 45°, имеющим общую прорезь с основной трубкой измерительной камеры. Внутренний диаметр отвода

составляет 11 мм, стенки изготовлены из стекла толщиной 2 мм. Разработка испытана при различных объемах протекающего потока — от 1 до 6 л/мин.

Структура отвода позволяет добиться ламинарного потока в области проведения измерений устройством, при этом обеспечивается заполнение жидкостью всего объема отвода.

В ходе дальнейшей работы измерительная камера была успешно использована при создании устройства экспресс-анализа качества молока в процессе 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. Научнотехнический 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. Zagidullin L.R., Khisamov R.R., Kayumov R.R., Shaidullin R.R., Zinnatov F.F., Sadykov N.F. Dairy robotic milking system. *II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023)*. Les Ulis Cedex A. 2023; 71:1004. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237101004>
4. Trezubov K., Avksentieva E., Luzhnyak V., Shulgin I.K. Analysis of technologies for visual tracking of physiological condition of cattle. *Agriculture Digitalization and Organic Production. Proceedings of the Second International Conference. Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2023; 331: 259–270. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7780-0_23
5. Kokieva G., Kurochkin B., Ivanova M., Fedorova A., Timofeeva K., Borisova I. Conditions for the effective use of milking machines. *E3S web of conferences. XV International Scientific Conference on Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry "State and Prospects for the Development of Agribusiness — INTERAGROMASH 2022"*. EDP Sciences. 2022; 363: 03056. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236303056>
6. Kolokolova L., Kimura H., Ziegler K., Mann I. Light-scattering properties of random-oriented aggregates: Do they represent the properties of an ensemble of aggregates? *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 2006; 100(1–3): 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2005.11.038>
7. Mengüç M., Manickavasagam S. Characterization of size and structure of agglomerates and inhomogeneous particles via polarized light. *International Journal of Engineering Science*. 1998; 36(12–14): 1569–1593. [https://doi.org/10.1016/S0020-7225\(98\)00049-4](https://doi.org/10.1016/S0020-7225(98)00049-4)
8. 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>
9. Баеринас М.Н., Неверова О.П., Горелик О.В., Грищенко 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. 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>
11. 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>
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. Evangelista C., Basiricò L., Bernabucci U. An Overview on the Use of Near Infrared Spectroscopy (NIRS) on Farms for the Management of Dairy Cows. *Agriculture*. 2021; 11(4): 296. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040296>
15. 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>
16. Kirsanov V.V. et al. Laser Fluorescence and Extinction Methods for Measuring the Flow and Composition of Milk in a Milking Machine. *Photonics*. 2021; 8(9): 390. <https://doi.org/10.3390/photonics8090390>

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. Zagidullin L.R., Khisamov R.R., Kayumov R.R., Shaidullin R.R., Zinnatov F.F., Sadykov N.F. Dairy robotic milking system. *II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023)*. Les Ulis Cedex A. 2023; 71:1004. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237101004>
4. Trezubov K., Avksentieva E., Luzhnyak V., Shulgin I.K. Analysis of technologies for visual tracking of physiological condition of cattle. *Agriculture Digitalization and Organic Production. Proceedings of the Second International Conference. Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2023; 331: 259–270. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7780-0_23
5. Kokieva G., Kurochkin B., Ivanova M., Fedorova A., Timofeeva K., Borisova I. Conditions for the effective use of milking machines. *E3S web of conferences. XV International Scientific Conference on Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry "State and Prospects for the Development of Agribusiness — INTERAGROMASH 2022"*. EDP Sciences. 2022; 363: 03056. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236303056>
6. Kolokolova L., Kimura H., Ziegler K., Mann I. Light-scattering properties of random-oriented aggregates: Do they represent the properties of an ensemble of aggregates? *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 2006; 100(1–3): 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2005.11.038>
7. Mengüç M., Manickavasagam S. Characterization of size and structure of agglomerates and inhomogeneous particles via polarized light. *International Journal of Engineering Science*. 1998; 36(12–14): 1569–1593. [https://doi.org/10.1016/S0020-7225\(98\)00049-4](https://doi.org/10.1016/S0020-7225(98)00049-4)
8. 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>
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. 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>
11. 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>
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. Evangelista C., Basiricò L., Bernabucci U. An Overview on the Use of Near Infrared Spectroscopy (NIRS) on Farms for the Management of Dairy Cows. *Agriculture*. 2021; 11(4): 296. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040296>
15. 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>
16. Kirsanov V.V. et al. Laser Fluorescence and Extinction Methods for Measuring the Flow and Composition of Milk in a Milking Machine. *Photonics*. 2021; 8(9): 390. <https://doi.org/10.3390/photonics8090390>

17. Ageev A.I., Osipov A.N. Сдвиговое течение вязкой жидкости над каверной, содержащей пульсирующий пузырек газа. *Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки*. 2020; 493(1): 38–41. <https://doi.org/10.31857/S2686740020030037>

18. 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>

19. Shkirin A.V., Ignatenko D.N., Chirikov S.N., Bunkin N.F., Astashev M.E., Gudkov S.V. Analysis of Fat and Protein Content in Milk Using Laser Polarimetric Scatterometry. *Agriculture*. 2021; 11(11): 1028. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111028>

20. Павкин Д.Ю., Хахимов А.Р., Шкирин А.В., Юрочка С.С., Игнатенко Д.Н. Моделирование влияния проточного устройства анализа качества молока на поток в доильной установке. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023; 17(1): 70–75. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-70-75>

21. 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>

22. Liu T. *et al.* Comparative study of the imaging contrasts of Mueller matrix derived parameters between transmission and backscattering polarimetry. *Biomedical Optics Express*. 2018; 9(9): 4413–4428. <https://doi.org/10.1364/BOE.9.004413>

ОБ АВТОРАХ

Артём Рустамович Хахимов

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

Сергей Сергеевич Юрочка

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
yssvim@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Семен Сергеевич Рузин

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
ruzin.s.s@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6870-5486>

Фёдор Евгеньевич Владимиров

научный сотрудник
fvladimirov21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2480-5754>

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

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. 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>

19. Shkirin A.V., Ignatenko D.N., Chirikov S.N., Bunkin N.F., Astashev M.E., Gudkov S.V. Analysis of Fat and Protein Content in Milk Using Laser Polarimetric Scatterometry. *Agriculture*. 2021; 11(11): 1028. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111028>

20. Pavkin D.Yu., Khakimov A.R., Shkirin A.V., Yurochka S.S., Ignatenko D.N. Simulating the Influence of a Flow-Through Device for Milk Quality Analysis on The Flow Rate in the Milking Machine. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023; 17(1): 70–75 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-70-75>

21. 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>

22. Liu T. *et al.* Comparative study of the imaging contrasts of Mueller matrix derived parameters between transmission and backscattering polarimetry. *Biomedical Optics Express*. 2018; 9(9): 4413–4428. <https://doi.org/10.1364/BOE.9.004413>

ABOUT THE AUTHORS

Artyom Rustamovich Khakimov

Junior Researcher
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Sergey Sergeevich Yurochka

Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher
yssvim@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Semen Sergeevich Ruzin

Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher
ruzin.s.s@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6870-5486>

Fedor Evgenyevich Vladimirov

Research Associate
fvladimirov21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2480-5754>

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

Подпишитесь на печатные выпуски «АГРАРНОЙ НАУКИ» с любого месяца и на любой срок

» В РЕДАКЦИИ по тел. +7 (495) 777 67 67, доб. 1453,
по e-mail agrovetpress@inbox.ru

» В АГЕНТСТВЕ ПОДПИСКИ
ООО «Урал-Пресс Округ»
<https://www.ural-press.ru/catalog/>



» БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
на отраслевом портале
<https://agrarnayanauka.ru>



» ПОДПИСКА НА АРХИВНЫЕ НОМЕРА
И ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ
на сайте Научной электронной библиотеки
www.elibrary.ru

