

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.770-776>

УДК 636.085.34



Применение систем технического зрения для диагностики качества кормов КРС

© 2021. В. В. Кирсанов, Д. Ю. Павкин, Е. А. Никитин✉, И. А. Кирюшин
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва,
Российская Федерация

В ходе исследования проанализирована российская и зарубежная литература, посвященная разработке систем диагностики и сканирования объектов с использованием системы технического зрения с программами глубокого машинного обучения. Рассмотрены особенности технологического процесса кормления крупного рогатого скота. Предложена система бесконтактной оценки содержания сухого вещества/влажности компонентов кормовой смеси естественного выращивания на примере кукурузного силоса с применением систем технического зрения. Собрана база данных изображений кукурузного силоса и выявлены зависимости по интенсивности отражающего светового потока силоса с учетом изменения влажности. Исследования проводили в 2020 году на базе ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФНАЦ ВИМ) с использованием экспериментального оборудования Института общей физики РАН им. А. М. Прохорова и ФНАЦ ВИМ. Разработан стенд с системой технического зрения, позволяющий классифицировать компоненты кормовой смеси по цветовым характеристикам. Полученные зависимости отражающей интенсивности кукурузного силоса позволяют утверждать о перспективе применения системы технического зрения для экспресс-оценки качественных показателей компонентов кормовой смеси. С учетом уровня роботизации технологических процессов кормления крупного рогатого скота, вопрос оценки качественных показателей (в частности, содержание сухого вещества/влажности) компонентов кормовой смеси является актуальным.

Ключевые слова: радиочастотная модуляция света, технологический мониторинг, эффективность кормления КРС, влажность кормов

Благодарности: работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям по договору №63853 от 14.12.2020 г. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кирсанов В. В., Павкин Д. Ю., Никитин Е. А., Кирюшин И. А. Применение систем технического зрения для диагностики качества кормов КРС. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2021;22(5):770-776.
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.770-776>

Поступила: 22.04.2021

Принята к публикации: 01.10.2021

Опубликована онлайн: 27.10.2021

Application of technical vision systems for diagnosing the quality of cattle feed

© 2021. Vladimir V. Kirsanov, Dmitry Yu. Pavkin, Evgeniy A. Nikitin✉,
Ivan A. Kiryushin
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Russian and foreign literature on the development of diagnostic systems and scanning of objects using a vision system with deep machine learning programs has been analyzed during the study. The features of the technological process of feeding cattle have been studied. A system of non-contact assessment of the dry matter content/humidity of the components of the feed mixture of natural cultivation on the example of a corn silo using technical vision systems was proposed. A database of images of corn silage was collected and the dependences on the intensity of the reflecting light flux of the silage were revealed taking into account changes in humidity. The research was conducted in 2020 on the basis of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (FNAC VIM), using experimental equipment of the Institute of General Physics of the Russian Academy of Sciences named after A. M. Prokhorov and FNAC VIM. A stand with a technical vision system has been developed that allows to classify the components of a cattle feed mixture by color characteristics. The obtained dependences of the reflecting intensity of corn silage allow us to assert the prospect of using a vision system for express-evaluation of the quality indicators of feed mixture components. Taking into account the level of robotization of technological processes of feeding cattle, the problem of assessing the quality indicators (in particular, the dry matter/moisture content) of the components of a feed mixture is relevant.

Keywords: technical vision, radio-frequency light modulation, technological monitoring, cattle feeding efficiency, feed moisture content

Acknowledgment: The study is carried out under the support of «Innovation support fund» within the contract No. 63853 of 12/14/2020.

The authors are grateful to reviewers for their contribution to expert assessment of the work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citations: Kirsanov V. V., Pavkin D. Yu., Nikitin E. A., Kiryushin I. A. Application of technical vision systems for diagnosing the quality of cattle feed. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(5):770-776. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.770-776>

Received: 22.04.2021

Accepted for publication: 01.10.2021

Published online: 27.10.2021

Содержание крупного рогатого скота (КРС) одно из приоритетных направлений в сельскохозяйственной деятельности большинства стран мира, формирующее продовольственную безопасность государства. Современные животноводческие комплексы по получению молока КРС – это предприятия с высоким уровнем автоматизации энергозатратных технологических процессов, таких как доение, навозоудаление и кормление [1].

Стоит отметить, что современная степень изучения физиологических процессов пищеварения животных описывает процесс переваривания и усвоения компонентов кормовой смеси на микрохимическом уровне, что позволяет определять потребность каждого вещества (протеин, глюкоза, клетчатка, кальций и пр.) в точной пропорции для конкретных технологических групп животных (с учетом лактационного периода) и половозрастных [2].

В качестве инструментария для составления рациона кормления используются автоматизированные системы: Коралл-АГРО, Белкофф, AMTS, РАЦИОН, HYBRIMIN Fitter и другие, которые обеспечивают максимальное соответствие составляемого рациона и потребности животных для достижения необходимого уровня показателей продуктивности.

Кормление животных на ферме – это не только составление рациона с использованием компьютерной программы, но и выполнение ряда последовательных технологических операций. Например, в роботизированных системах кормления типа Lely Vector или Delaval Optimat и прочих влияние человеческого фактора сводится к минимуму и весь перечень операций, начиная от последовательного весового дозирования каждого компонента кормовой смеси до их смешивания и последующей раздачи, осуществляется без участия человека, всё происходит автономно по предварительно заданному режиму. Но даже в подобных системах отсутствуют автоматические системы входного контроля качества используемых компонентов кормовой смеси, что может поспособствовать попаданию

силоса/сенажа/сена, подвергнувшегося гнилостным процессам, плесени или отклонению уровня питательности составленного рациона от приготовленной кормой смеси на выходе [3, 4].

В большинстве случаев на долю рациона КРС приходится корма естественного происхождения (силос, сенаж, сено). При этом их заготовка производится в течение длительного периода из растений различной фазы спелости, при различных погодных условиях и с разной степенью подвяливания (сушки) в момент уборки. Таким образом, процесс кормозаготовки имеет многофакторное влияние на конечный результат. Например, уровень влажности зелёной массы кукурузы, используемой на силосование в день уборки, может отличаться в зависимости от места, где она была скошена – на возвышенном открытом пространстве или недалеко от водоёма, или в местах куда не попадает солнце и ветер. В результате чего в одном хранилище может находиться силос с показателями содержания сухого вещества, отличающимися до 10 %.

В настоящее время мировым рынком предлагается множество приборов, позволяющих оценивать показатель влажности/сухого вещества корма, в основу которых заложен диэлькометрический метод на примере Wille 500. Прибор выглядит в виде стержня, один конец которого помещается в исследуемый образец, а на другом размещается приборная часть. Результаты оценки влажности можно получить за 20 секунд [5, 6]. Существенным недостатком метода является то, что исследуемый образец должен быть плотно спрессован, в противном случае прибор дает высокую погрешность, что ограничивает сферу применения подобного метода.

Учитывая развивающийся тренд роботизации процессов кормления на ферме, для автоматической оценки качества корма на выходном окне дозатора, подающего корм в робот-кормораздатчик, необходимо применение бесконтактных спектральных методов [7, 8, 9, 10].

В ходе исследования была проанализирована российская и зарубежная литература, посвященная разработке систем диагностики и сканирования объектов с использованием системы технического зрения с программами глубокого машинного обучения. В подобных системах в качестве исполнительных устройств служат TOF-камеры, способные сканировать геометрические параметры объекта, а также оптические камеры высокого разрешения с системой определения цветовой гаммы сканируемого объекта [11, 12, 13, 14].

Настоящим исследованием предлагаются некоторые результаты, посвященные разработке метода на основе системы технического зрения как инструмента определения влажности/сухого вещества в компонентах корма естественного выращивания.

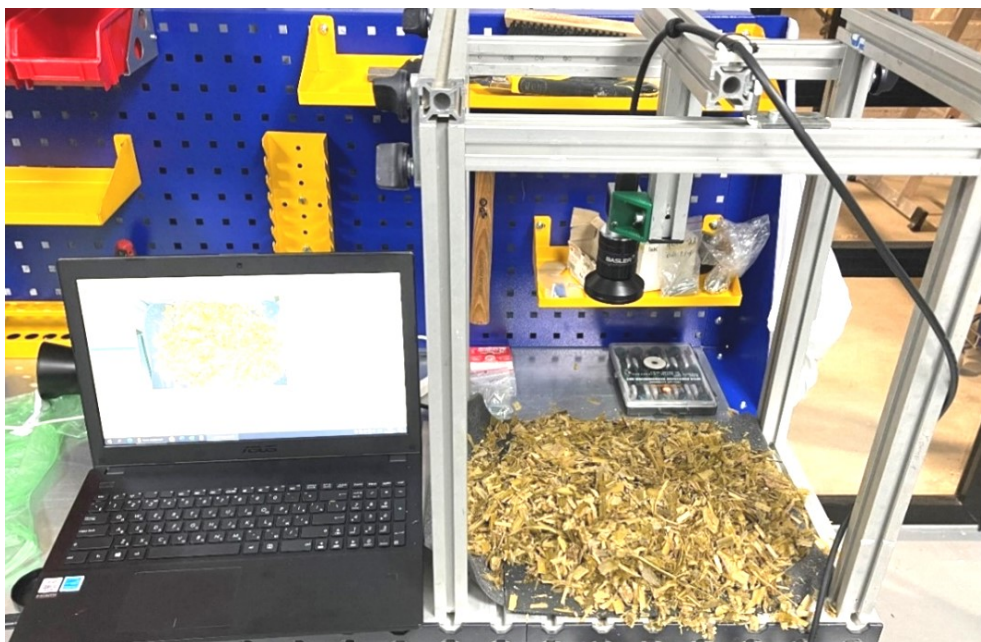
Цель исследования – оценить перспективу применения систем технического зрения для автоматического мониторинга процесса приготовления кормовой смеси для крупного рогатого скота на животноводческих комплексах.

Новизна исследований заключается в выявлении зависимостей по интенсивности отражающего светового потока образцов

кукурузного силоса с учетом изменения их влажности.

Материал и методы. Для определения актуальности направления научных исследований изучили материалы международных выставок отрасли, публикации в базах Web of Science, E-library и Scopus, сайты ведущих производителей оборудования для исследования кормов.

Исследования проводили в 2020 году на базе ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФНАЦ ВИМ) с использованием экспериментального оборудования Института общей физики РАН им. А. М. Прохорова и ФНАЦ ВИМ. В качестве образцов компонентов кормовой смеси использовали кукурузный силос и сенаж люцерны, заготовленный в сезон 2020-2021 гг. на базе АО "Зеленоградское", Пушкинский район Московской области. Использовали экспериментальную установку, оснащенную системой технического зрения, где в качестве исполнительного устройства применяется камера Basler ace acA5472-17uc. Тип камеры матричная цветная, сканирующий затвор, тип матрицы CMOS, размер матрицы 3.1 мм x 8.8 мм, максимальное разрешение 5472 на 3648 пикселей (рис. 1).



*Рис. 1. Экспериментальная установка для диагностики кормов с системой технического зрения /
Fig. 1. Experimental installation with a vision system for the diagnosis of feed*

Для возбуждения флуоресценции исследуемого корма использовался источник света с диапазоном излучения от 570 до 720 нм.

Объектив камеры содержал светофильтры для отсеивания не интересующих спектров флуоресценции.

При обработке изображений использовали программу, позволяющую оценивать спектр флуоресценции и интенсивность по каждому каналу с возможностью построения графических зависимостей по каждому образцу кукурузного силоса.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследования была сформирована база данных изображений (1000 фото образцов) для калибровки системы технического зрения, которые характеризовали цветовую интенсивность эталонных образцов кукурузного силоса с влажностью 70 % (рис. 2).

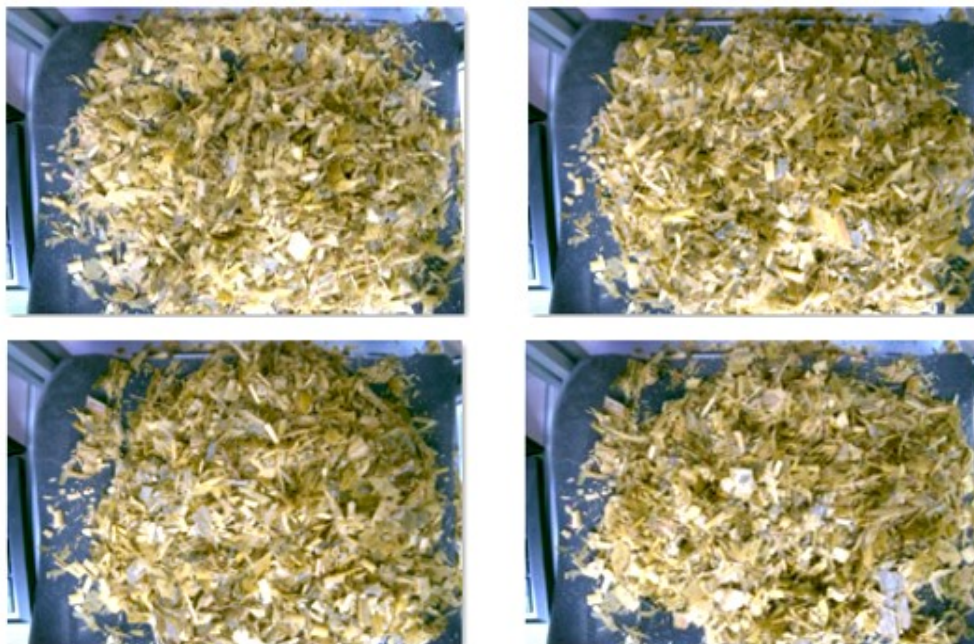


Рис. 2. Пример полученных изображений силоса кукурузного /
Fig. 2. An example of the obtained images of corn silage

По каждому снимку эталонного образца кукурузного силоса формировался пакет гистограмм, который характеризовал интенсивность отражения хлорофиллов и воды в

образцах кукурузного силоса от падающего источника света (рис. 3), на каждом пикселе изображения, в соответствии с цветовым каналом (красный/red, зеленый/green, синий/blue).

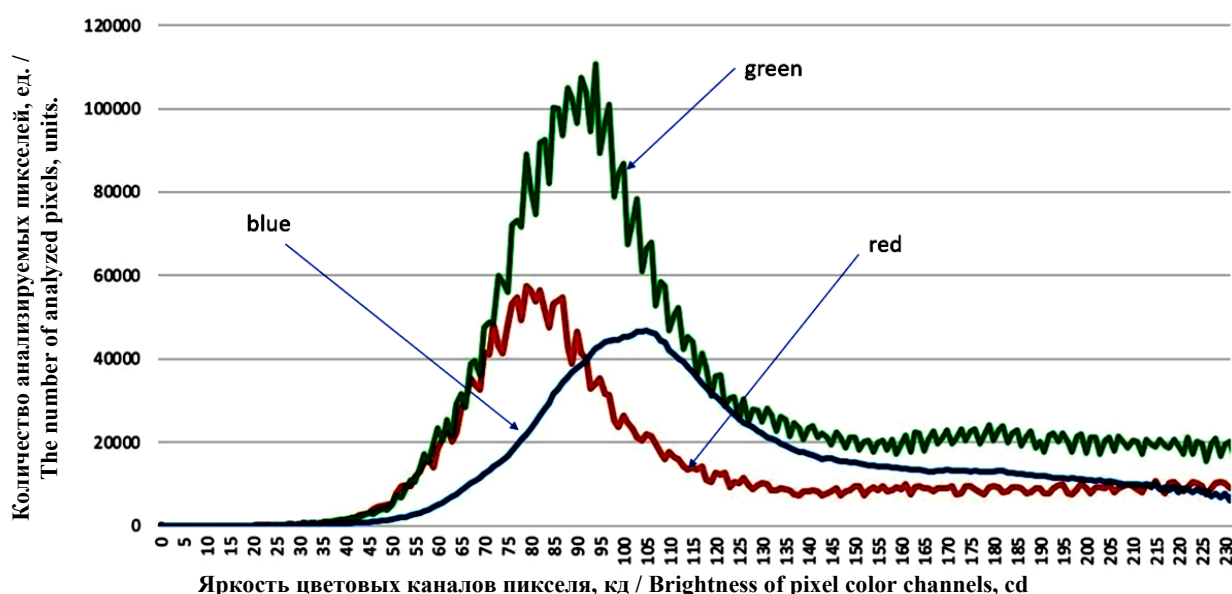


Рис. 3. Гистограмма световой отражающей интенсивности силоса /
Fig. 3. The histogram of the light reflecting intensity of the silo

С использованием устройства конвекционной сушки 48 эталонных образцов кукурузного силоса были подвергнуты сушке с контролем изменения влажности традиционным диэлькометрическим прибором Wille 500. Замеры и фиксация отражающего светового сигнала кукурузного силоса производили с указанным на рисунке 4 шагом уменьшения влажности от 65 % до максимального высыхания.

Обработанные результаты отражающей интенсивности анализировали с использованием метрики качества оценки сегментации – jaccard metric; число параллельно обрабатываемых изображений – 6. Функция ошибки – ФокалЛосс (FocalLoss). Метрика качества для

оценки сегментации jaccard metric рассчитывается по формуле:

$$Jacc(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} = \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|}$$

где A – первое множество,

B – второе множество,

$A \cap B$ – пересечение множеств,

$A \cup B$ – объединение множеств.

В качестве сигнала был выбран интеграл полосы флуоресценции хлорофилла в спектральном диапазоне от 655 до 715 нм. Результаты зависимости флуоресценции хлорофилла от влажности образца представлены на рисунке 5.

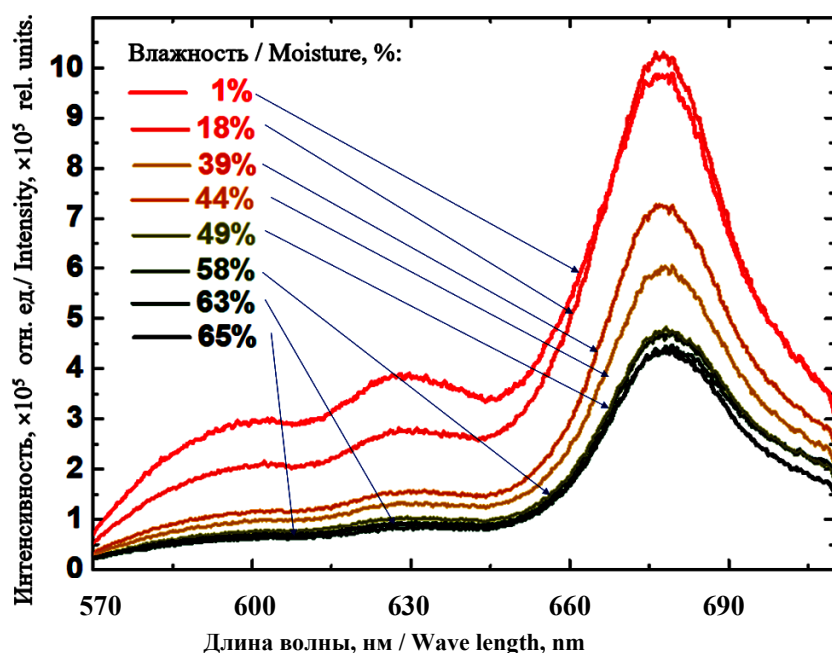


Рис. 4. Изменение отражающего светового сигнала кукурузного силоса при последовательных итерациях сушки /

Fig. 4. Change in the reflecting light signal of the corn silo during successive iterations of drying

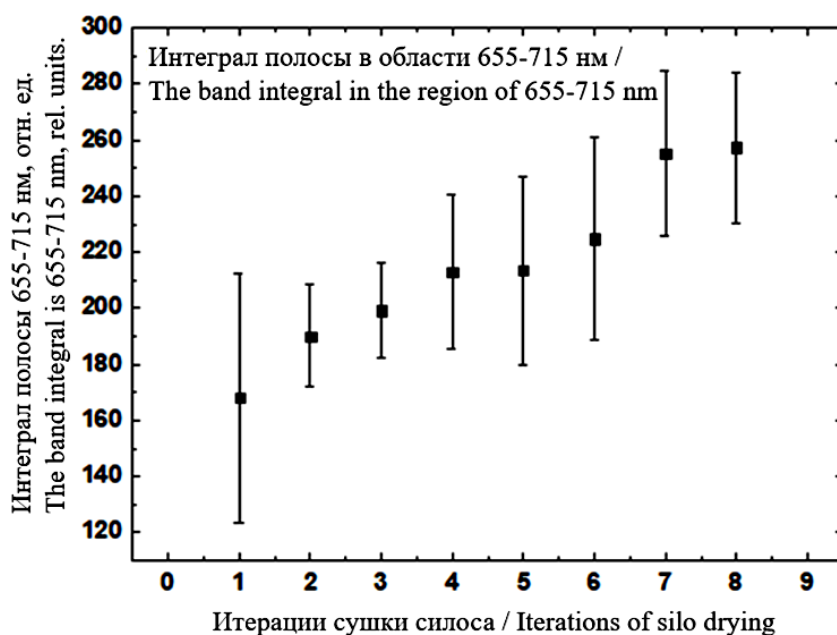


Рис. 5. Зависимость изменения спектров флуоресценции от влажности образца /

Fig. 5. Dependence of changes in the fluorescence and humidity spectra

Проведенные исследования позволяют утверждать, что при изменении показателей содержания сухого вещества/влажности коррелируются показатели интенсивности светоотражающего сигнала в кукурузном силосе при различных стадиях готовности.

Выводы. 1. С учетом уровня роботизации технологических процессов кормления крупного рогатого скота, вопрос оценки качест-

венных показателей (в частности, содержание сухого вещества/влажности) компонентов кормовой смеси является актуальным.

2. Полученные зависимости отражающей интенсивности кукурузного силоса позволяют утверждать о перспективе применения системы технического зрения для экспресс-оценки качественных показателей компонентов кормовой смеси для КРС.

References

1. Никитин Е. А., Дорохов А. С., Павкин Д. Ю. Совершенствование технологии приготовления кормовой смеси при реконструкции кормовых площадок. Техника и оборудование для села. 2019;(11):32-34. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-11-32-34>
1. Nikitin E. A., Dorokhov A. S., Pavkin D. Yu. *Sovershenstvovanie tekhnologii prigotovleniya kormovoy smesi pri rekonstruktsii kormovykh ploshchadok*. [Improving a process for the preparation of feed mixture during the reconstruction of feed sites]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2019;(11):32-34. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-11-32-34>
2. Павкин Д. Ю., Никитин Е. А., Зобов В. А. Система роботизированного обслуживания кормового стола на животноводческих комплексах. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020;14(3):33-38. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-33-38>
2. Pavkin D. Yu., Nikitin E. A., Zbov V. A. *Sistema robotizirovannogo obsluzhivaniya kormovogo stola na zhivotnovodcheskikh kompleksakh*. [Robotic system for maintenance of feed table for livestock complexes]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2020;14(3):33-38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-33-38>
3. Neethirajan S. The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. Sensing and Bio-Sensing Research. 2020;29:100367. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100367>
4. Nasirahmadi A., Edwards S., Sturm B. Implementation of machine vision for detecting behaviour of cattle and pigs. Livestock Science. 2017;202:25-38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.014>
5. Regoa G., Ferrero F., Valledora M., Campoa Ju. C., Forcadab S., Royob L. J., Soldadob A. A portable IoT NIR spectroscopic system to analyze the quality of dairy farm forage. Computers and Electronics in Agriculture. 2020;175:105578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105578>
6. Wajizaha S. S., Munawarb A. A. Rapid and Simultaneous Determination of Feed Nutritive Values by Means of Near Infrared Spectroscopy. Tropical Animal Science Journal, August 2018;41(2):121-127. DOI: <https://doi.org/10.5398/tasj.2018.41.2.121>
7. Rodionova O. Ye., Fernandez Pierna J. A., Baeten V., Pomerantsev A. L. Chemometric non-targeted analysis for detection of soybean meal adulteration by near infrared spectroscopy. Food Control. 2021;119:107459. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107459>
8. Piccioli-Cappelli F., Calegari F., Calamari L., Bani P., Minuti A. Application of a NIR device for precision feeding in dairy farms: effect on metabolic conditions and milk production. Italian Journal of Animal Science. 2019;18(1): 754-765. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1570829>
9. Oetzel G. R., Villalba F. P., Goodger W. J., Nordlund K. V. A Comparison of On-Farm Methods for Estimating the Dry Matter Content of Feed Ingredients. Journal of Dairy Science. 1993;76(1):293-299. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77349-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77349-X)
10. Crofcheck C., Wade J., Swamy J. N., Aslan M. M., Mengüç M. P. Effect of Fat and Casein Particles in Milk on the Scattering of Elliptically Polarized Light. Biosystems and Agricultural Engineering Faculty Publications. 2005;48(3):1147-1155. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.18488>
11. Taneja P., Vasava H. K., Daggupati P., Biswas A. Multi-algorithm comparison to predict soil organic matter and soil moisture content from cell phone images. Geoderma. 2021;385:114863. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114863>
12. Kim W.-S., Lee D.-H., Kim Y.-J., Kim Y.-S., Kim T., Park S.-U., Kim S.-S., Hong D.-H.g. Crop height measurement system based on 3D image and tilt sensor fusion. 2020;10(11):1670. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111670>
13. Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Aksenov A. G. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines. INMATEH-AGRICULTURAL ENGINEERING. 2019;58(2):63-74. URL: https://inmateh.eu/INMATEH_2_2019/58-07%20Dorokhov.pdf

14. Dorokhov A. S., Shepvalova O. V. Solar PV systems integrated into hardscape and sculptures. Technologies and materials for renewable energy, environment and sustainability: TMREES19GR. 2019;2190:020094. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5138580>

Сведения об авторах

Кирсанов Владимир Вячеславович, доктор техн. наук, гл. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2549-4070>

Павкин Дмитрий Юрьевич, кандидат техн. наук, ст. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

✉ **Никитин Евгений Александрович**, аспирант, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3748-6561>, e-mail: evgeniy.nicks@yandex.ru

Кирюшин Иван Алексеевич, аспирант, инженер, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3748-6561>

Information about the authors

Vladimir V. Kirsanov, DSc in Engineering, chief researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Dmitriy Yu. Pavkin, PhD in Engineering, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

✉ **Evgeniy A. Nikitin**, postgraduate, junior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0918-2990>, e-mail: evgeniy.nicks@yandex.ru

Ivan A. Kiryushin, postgraduate, engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3748-6561>

✉ – Для контактов / Corresponding author