

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.3:004.8

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-2-45-50

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

ЕРОХИН МИХАИЛ НИКИТЬЕВИЧ, академик РАН, д-р техн. наук, профессор¹

n.erohin@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

ДОРОХОВ АЛЕКСЕЙ СЕМЕНОВИЧ, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор РАН, заместитель директора по научно-организационной работе²

dorokhov.vim@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

КАТАЕВ ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ[✉], канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией²

ykataev@mail.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

² Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5

Аннотация. Исследования, направленные на разработку и внедрение новых цифровых методов и интеллектуальных систем, позволяющих совершенствовать процесс диагностирования, повышать достоверность определения функциональных характеристик сельскохозяйственных тракторов в онлайн-режиме, являются важной и актуальной составляющей технологий и средств обслуживания сельскохозяйственной техники. В работе приведены результаты по обоснованию и разработке интеллектуальной системы диагностирования машин, базирующейся на взаимодействии нейронной сети. Преимуществом данной системы диагностирования является возможность поддержания работоспособного состояния сельскохозяйственной техники при условии автоматизации процессов диагностирования и анализа полученных данных. Применение интеллектуальной системы диагностирования тракторов позволяет не только определить причину отказа по контролируемым параметрам, но и оценить эффективность работы машины в целом. Установлено, что одним из путей повышения эффективности использования сельскохозяйственной техники является бесконтактное определение параметров технического состояния техники через модернизацию технологии контроля технического состояния машин и мониторинга качества выполнения работ на основе внедрения современных интеллектуальных и телеметрических систем.

Ключевые слова: интеллектуальная система, трактор, техническое состояние, диагностирование, нейронная сеть, онлайн-мониторинг.

Формат цитирования: Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники // Агроинженерия. 2021. № 2 (102). С. 45-50. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-2-45-50.

© Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. 2021



ORIGINAL PAPER

INTELLIGENT SYSTEM FOR DIAGNOSING THE PARAMETERS OF THE TECHNICAL CONDITION OF TRACTORS

MIKHAIL N. EROKHIN, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor¹

n.erohin@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

ALEKSEI S. DOROKHOV, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Scientific and Organizational Work²

dorokhov.vim@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

YURIY V. KATAEV, Key Research Engineer, Head of the Laboratory, PhD (Eng), Associate Professor²

ykataev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutsky Proezd Str., Bld 5

Abstract. Research aimed at the development and implementation of new digital methods and intelligent systems that allow improving the diagnostic process, increasing the reliability of determining the functional characteristics of agricultural tractors in an online mode is an important and relevant component of technologies and tools for servicing agricultural machinery. The paper presents the results on the justification and development of an intelligent system for diagnosing machines based on the interaction of a neural network. The advantage of this diagnostic system is the ability to maintain the working condition of agricultural machinery, in case the processes of diagnosis and analysis of the obtained data are automated. The use of an intelligent tractor diagnostic system provides for the determination of not only the cause of failure by the controlled parameters, but also the efficiency evaluation of the machine as a whole. It is established that one of the ways to increase the efficiency of using agricultural machinery is the non-contact determination of the parameters of the technical condition of equipment through the modernization of the technology for monitoring the technical condition of machines and the quality of work on the basis of the introduction of modern intelligent and telemetric systems.

Key words: intelligent system, tractor, technical condition, diagnostics, neural network, online monitoring.

For citation: Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Intelligent system for diagnosing the parameters of the technical condition of tractors. *Agricultural Engineering*, 2021; 2 (102): 45-50. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-2-45-50.

Введение. В Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утв. Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642) в числе приоритетных и перспективных направлений научно-технологического развития Российской Федерации на ближайшие 10-15 лет определены разработка современных цифровых, интеллектуальных, производственных технологий, роботизированных систем, применение новых материалов и способов конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта¹.

По статистическим данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, наша страна находится на 15 месте в мире по уровню цифровизации: цифровые технологии используются в обработке всего 10% пашни. В этой связи необходимо отметить, что существует утвержденный проект «Цифровое сельское хозяйство», главной задачей которого является способствование внедрению цифровых решений в производственные процессы АПК. В техническом сервисе сельскохозяйственной техники уже используют такие цифровые решения, как умный склад запасных частей, умный нефтесклад, телеметрические системы мониторинга за техническим состоянием техники и др. [1-3].

Одним из основных направлений развития цифровизации при совершенствовании эксплуатации сельскохозяйственной техники и поддержании ее в работоспособном состоянии является их оборудование электронными встроенными средствами контроля и диагностирования. Применение цифровых технологий при техническом сервисе позволит сократить эксплуатационные и экономические издержки при эксплуатации техники, повысить её коэффициент технической готовности.

Цель исследования: оценить возможности интеллектуальной системы диагностирования параметров

технического состояния сельскохозяйственной техники с применением нейронных сетей.

Материал и методы. Анализ технического состояния сельскохозяйственной техники осуществлялся на основе данных дилеров ведущих мировых производителей техники, официальных онлайн-платформ, ремонтно-обслуживающих баз за период 2016-2019 гг.

Непрерывный контроль технического состояния сельскохозяйственной техники возможен с применением цифровых и телеметрических систем с целью предупреждения аварийных ситуаций, онлайн-мониторинга условий и режимов работы, прогнозирования остаточного ресурса.

В зависимости от характера поставленных задач использовались монографический метод исследований, методы математического анализа с применением ПК, методы системного и статистического анализа с использованием пакетов Microsoft Office Excel 2010 и др.

Результаты исследования. Анализ информации мониторинга сельскохозяйственной техники на отказы в условиях реальной эксплуатации показал, что более 1/3 всех отказов приходится на двигатель (рис. 1). Гидросистема с трансмиссией также весьма часто выходят из строя (суммарно около 40% из всех отказов). Их техническое состояние необходимо контролировать в первую очередь.

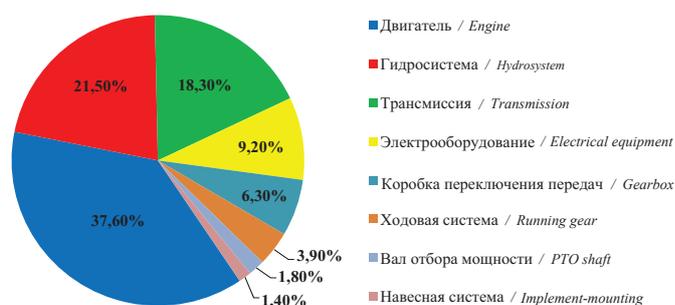


Рис. 1. Отказы тракторов в условиях реальной эксплуатации за период 2016-2019 гг.

Fig. 1. Failures of tractors in real operation for the period 2016-2019

¹ Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации: утв. Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71451998/> (дата обращения: 12.03.2021).

Применение цифровых технологий и информационных систем в классическом процессе диагностики позволяет сократить трудоёмкость практически всех операций с учётом автоматизации получения и обработки информации о техническом состоянии машин различных типов.

В настоящее время функционирует большое количество зарубежных систем автоматического сбора и анализа информации (TELEMATICS, DEERE & COMPANY JDLink, FarmSight, AFS, AGCOMMAND Advanced, Connected Farm Fleet, Slingshot, SCANIA FLEX и др.). Отечественная система AGROTRONIC базируется на технологиях передачи данных, обеспечивающих точное проведение всех сельскохозяйственных мероприятий,

улучшающих показатели эффективности работы и экономичности техники, уменьшающих издержки за счёт мониторинга важных этапов работы в режиме реального времени [4, 5].

Все вышеперечисленные системы имеют широкий спектр возможностей, позволяющих осуществить онлайн-диагностику техники, но главный недостаток заключается в том, что эти системы совместимы только с машинами, производимыми данными концернами.

Авторами предлагается проект интеллектуальной системы диагностирования параметров технического состояния разномарочных тракторов, структурированная модель которой представлена на рисунке 2.

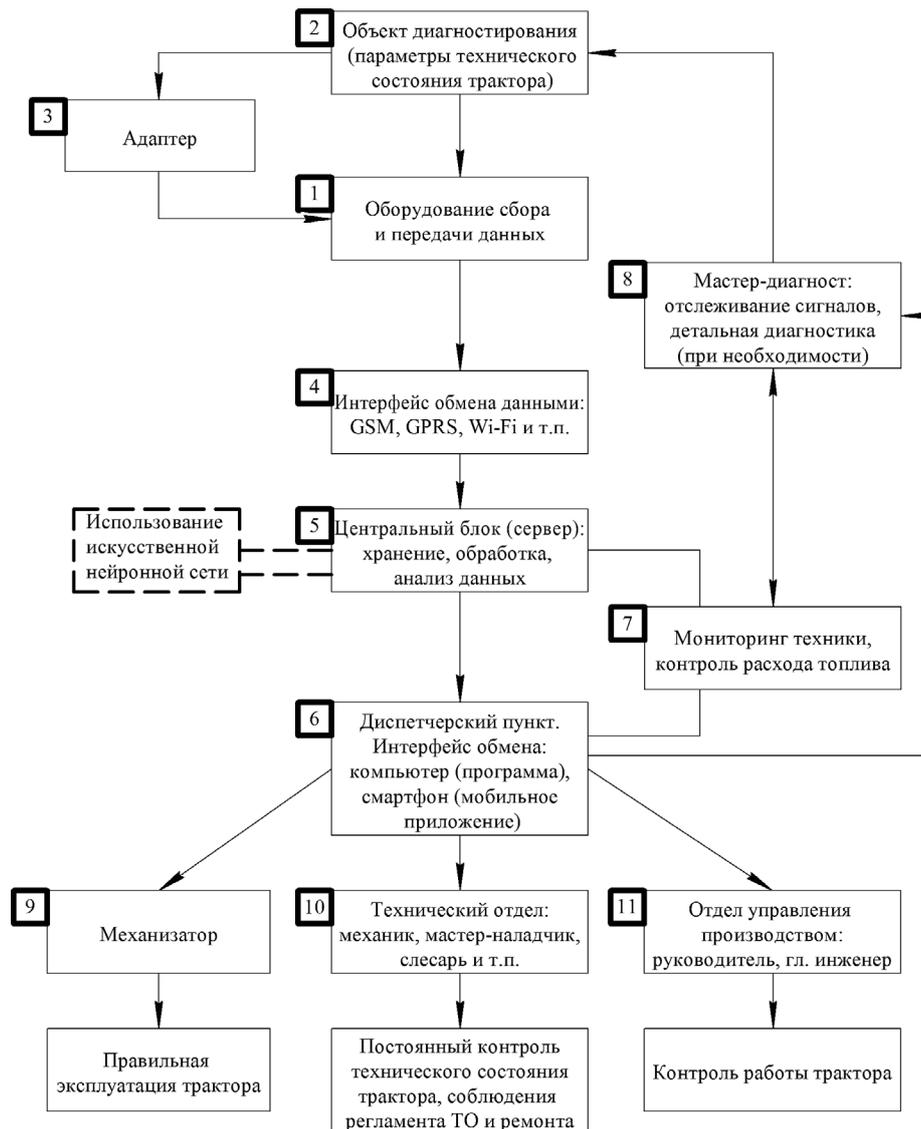


Рис. 2. Структурированная модель интеллектуальной системы диагностирования

Fig. 2. Structured model of an intelligent diagnostic system

Принцип действия интеллектуальной системы заключается в следующем: оборудование сбора и передачи данных 1 считывает технические параметры работы объекта диагностирования 2 с помощью адаптера 3 через заданную периодичность либо при запрограммированном событии. Накопленные данные передаются с помощью интерфейса обмена данными 4 на специальный сервер

5, где обрабатывается и анализируется массив данных при помощи искусственной нейронной сети. Расшифрованная информация по запросу передается в диспетчерский пункт 6. Эти данные можно получать в онлайн-режиме через сеть Интернет при помощи специальной программы или мобильного приложения. Пост 8, получая данные из диспетчерского пункта 6, отслеживает и контролирует

техническое состояние машин, при необходимости проводит дополнительную детальную онлайн-диагностику. По запросу поста 8 или с заданной периодичностью пост диспетчера 7 соединяется с сервером 5 и получает недостающие на текущий момент данные по технике по расходу топлива. При необходимости из схемы работы интеллектуальной системы диагностирования посты 7 и 8 можно исключить. Механизатор 9, технический отдел 10, отдел управления производством 11 на основании полученных данных не только получают сгенерированные отчеты и графики различных видов по оценке технического состояния параметров тракторов, но и могут наблюдать местоположение сельскохозяйственной техники на карте и просматривать различные параметры и события.

Определение технического состояния машины безразборным способом является одной из актуальных задач при проведении технического обслуживания. Проект предлагаемой интеллектуальной системы контроля технического состояния разномарочной техники позволяет заранее определять ее возможные отказы, что снижает незапланированные простои, способствует своевременному проведению технического обслуживания и ремонта машин [6, 7].

Внедрение информационных систем и цифровых технологий в процесс диагностирования сельскохозяйственной техники с учётом автоматизации получения и обработки информации о её техническом состоянии позволит до 1,5 раза снизить трудоёмкость практически всех проводимых операций.

Функционирование предлагаемой интеллектуальной системы диагностирования параметров технического состояния тракторов предлагается базировать на принципах работы искусственной нейронной сети, которая способна выполнять анализ, обработку и передачу полученных данных в процессе диагностирования на платформу специальной программы или мобильного приложения.

Для получения информации о техническом состоянии техники могут использоваться разного рода датчики (импульсно-силовые, аналоговые и цифровые), устанавливаемые на диагностируемом объекте. При необходимости датчики оборудуются аналого-цифровым преобразователем, позволяющим перевести информацию в цифровой вид.

Использование искусственной нейронной сети в интеллектуальной системе предусматривает возможность ее дальнейшего обучения посредством информационной базы (датасет), содержащей внутри себя примеры с истинными значениями, которые позволят не только обучить нейронную сеть, но и понять успешность работы системы.

Базовым элементом искусственной нейронной сети является нейрон. При получении сигнала он обрабатывает его и в зависимости от выставленных ранее факторов либо остается отрицательным (0) и ничего не делает, либо генерирует потенциал действия, который посредством связей между нейронами (синапсов) передает сигнал соседним нейронам. Математическая модель используемой нейронной сети представлена на рисунке 3.

Взаимосвязи между нейронами позволяют информации внутри нейронной сети передвигаться в строго определенном направлении. У каждой нейронной связи есть

свой вес, позволяющий указывать доминанцию определенных нейронов: чем выше вес нейронной связи, тем выше его доминанция [8].

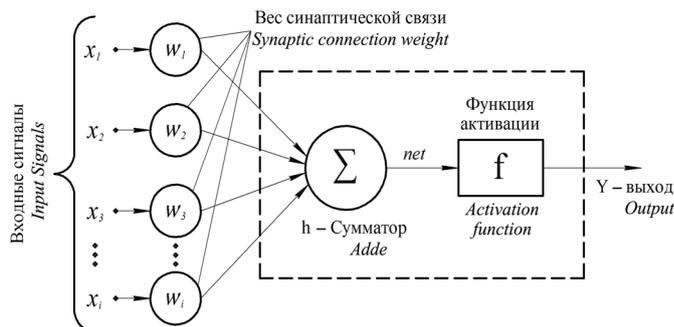


Рис. 3. Математическая модель искусственной нейронной сети

Fig. 3. Mathematical model of an artificial neural network

Выходные сигналы определяются функцией активации:

$$Y = f(h), \tag{1}$$

где h – сумматор, определяющий взвешенную сумму входных сигналов по синаптическим связям:

$$h = \sum_i x_i \cdot w_i, \tag{2}$$

где x_i – входной сигнал; w_i – вес синаптической связи.

Видом функции активации в данном случае будет являться сигмоида – монотонно возрастающая нелинейная функция (рис. 4) с диапазоном значений (0; 1), описываемая зависимостью²:

$$f(h) = \frac{1}{1 + e^{-a \cdot h}}, \tag{3}$$

где a – степень крутизны функции.

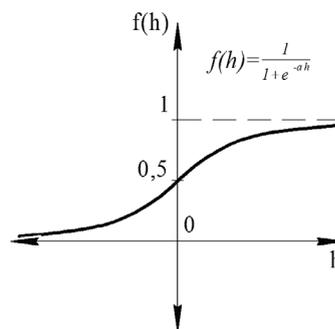


Рис. 4. Сигмоидальная логистическая функция

Fig. 4. Sigmoidal logistic function

Структура нейронной сети разделяется на 3 слоя работы с данными. Первая группа является входными

² Функции активации в нейронных сетях. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/activation-function.html> (дата обращения: 12.03.2021).

сигналами (входным слоем) – цифровая информация, получаемая из определенного источника (данные от датчика, выбранный оператором симптом поломки и т.д.). Вторая группа – это скрытый слой нейронов, являющийся структурой (сумматор с функцией активации), запоминающей примеры нахождения зависимостей и необходимого значения. В конце информация передается на выходной слой, где система выдает необходимый параметр, с помощью которого можно сделать вывод о техническом состоянии диагностируемого объекта.

Первоочередной задачей интеллектуальной системы является анализ эффективности работы двигателя. Для решения данной задачи внутри сети выделяется подсистема, которая занимается анализом входных данных: величина крутящего момента двигателя, частота вращения двигателя, часовой расход топлива. Обработка входных данных происходит путем активации определенной категории. Каждый входной блок определяет, становится он активным либо неактивным. Первое прописанное значение для активации блока регулируется оператором, в последующем – самой системой. Учитывается также, что некоторые показатели эффективности являются доминирующими (крутящий момент), поэтому вес данных взаимосвязей будет больше.

Далее в скрытом слое происходит анализ полученных данных путем сравнения их значений с другими показателями, в результате чего вес взаимосвязей складывается, и на выходе получается первый тип информации – категориальные данные. Например, после получения определенных значений крутящего момента и показателей экономической работы двигателя их значения анализируются. При отклонении от нормативных значений выходной блок указывает на нарушения режима работы двигателя.

Вторым типом выходных данных являются категории. Данный вид выводимой информации позволит нам оценивать эффективность работы двигателя с учетом различных категорий эффективности – таких, как мощность двигателя, показатель крутящего момента, часовой расход топлива и т.д. Данный блок информации позволяет более точно проводить анализ полученных значений, а также в будущем отрегулировать систему таким образом, чтобы после получения одного блока выводимых данных система могла спрогнозировать изменение других блоков.

Библиографический список

1. Ерохин М.Н., Леонов О.А. Ремонт сельскохозяйственной техники с позиции обеспечения качества // Сборник материалов 4-й научно-практической конференции «Экология и сельскохозяйственная техника». 2005. С. 234-238.
2. Федоренко В.Ф. Информационные технологии в сельскохозяйственном производстве: Научный аналитический обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. 224 с.
3. Голубев И.Г., Мишулов Н.П., Федоренко В.Ф. и др. Цифровые решения при техническом сервисе сельскохозяйственной техники: Аналитический обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 76 с.
4. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К., Лужнова Е.С. Управление сельскохозяйственными мобильными агрегатами с использованием навигационной системы

Необходимо отметить, что скрытые слои можно комбинировать в необходимый для оператора образ.

Основные показатели эффективности работы двигателя, с которыми может работать интеллектуальная система, – это:

- крутящий момент, Нм, использующийся в качестве основного диагностического параметра двигателя;
- мощность, кВт, использующаяся в качестве показателя эффективности работы двигателя;
- часовой расход топлива, кг/ч, принимаемый на основании измерений штатных или дополнительных систем.

Следует отметить, что предложенная система диагностирования проводит самообучение, основываясь на вероятностном методе выявления отказов. Данный процесс может быть значительно упрощен путем внесения входных данных в виде симптомов. Особенностью этого вида обучения является то, что вносимые данные могут иметь непостоянный характер в зависимости от условий эксплуатации, но система все равно с высокой вероятностью сможет предсказывать отказ.

Выводы

1. Анализ систем удаленной диагностики параметров технического состояния сельскохозяйственной техники показывает, что одновременный сбор данных о техническом состоянии ресурсных параметров всех механизмов техники с помощью онлайн-мониторинга (а не отдельно взятого узла) повышает эффективность использования машины и обеспечивает сохранность её эксплуатационных свойств на заданном уровне.

2. Применение предлагаемой интеллектуальной системы при диагностировании и оценке параметров технического состояния тракторов с принципом работы самообучаемой искусственной нейронной сети позволит заранее определять их возможные отказы, что снижает незапланированные простои по техническим неисправностям, способствует своевременному проведению технического обслуживания и ремонта машин.

3. Данные, предоставленные дилерами и станциями технического обслуживания, позволяют сказать, что при использовании цифровых технологий и интеллектуальных систем при диагностике тракторов в 1,2...1,5 раза снижается трудоёмкость всех проводимых операций.

References

1. Erokhin M.N., Leonov O.A. Remont sel'skokhozyaystvennoy tekhniki s pozitsii obespecheniya kachestv [Repair of agricultural machinery in terms of of quality assurance]. *Sbornik materialov 4-y nauchno-prakticheskoy konferentsii "Ekologiya i sel'skokhozyaystvennaya tekhnika"*. 2005: 234-238. (In Rus.)
2. Fedorenko V.F. Informatsionnye tekhnologii v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: Nauchnyy analiticheskiy obzor [Information technology in agricultural production: Scientific analytical review]. Moscow, FGBNU "Rosinformagrotech", 2014: 224. (In Rus.)
3. Golubev I.G., Mishurov N.P., Fedorenko V.F. et al. Tsifrovye resheniya pri tekhnicheskome servise sel'skokhozyaystvennoy tekhniki: Analiticheskiy obzor [Digital solutions for the technical service of agricultural machinery: Analytical

ГЛОНАСС/GPS // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 3. С. 15-20.

5. Голтыяпин В.Я. Анализ систем телеметрии и мониторинга сельскохозяйственной техники // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции «ИнформАгро-2017», 2017. С. 348-352.

6. Дидманидзе О.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Тенденции развития цифровых технологий диагностирования технического состояния тракторов // Техника и оборудование для села. 2020. № 11 (281). С. 39-43. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-11-39-41.

7. Дорохов А.С., Костомахин М.Н., Воронов А.Н. Сбор информации о надежности сельскохозяйственных машин с использованием систем мониторинга с помощью контроля параметров технического состояния // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2018. № 8. С. 53-61.

8. Кадури А. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей / А. Кадури, С. Николенко, Е. Архангельская. СПб.: Питер, 2018. 480 с.

review]. Moscow, FGBNU “Rosinformagrotech”, 2020: 76. (In Rus.)

4. Izmailov A. Yu., Khoroshenkov V.K., Luzhnova E.S. Upravlenie sel'skokhozyaystvennymi mobil'nymi agregatami s ispol'zovaniem navigatsionnoy sistemy GLONASS/GPS [Controlling agricultural mobile units using the GLONASS/GPS navigation system]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*, 2015; 3: 15-20. (In Rus.)

5. Goltyapin V.Ya. Analiz sistem telemetrii i monitoringa sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Analysis of telemetry and monitoring systems for agricultural machinery]. *Nauchno-informatsionnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya APK: Sbornik materialov IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "InformAgro-2017"*, 2017: 348-352. (In Rus.)

6. Didmanidze O.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Tendentsii razvitiya tsifrovyykh tekhnologiy diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya traktorov [Trends in the development of digital technologies for diagnosing the technical condition of tractors]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2020; 11 (281): 39-43. DOI: 10.33267 / 2072-9642-2020-11-39-41. (In Rus.)

7. Dorokhov A.S., Kostomakhin M.N., Voronov A.N. Sbor informatsii o nadezhnosti sel'skokhozyaystvennykh mashin s ispol'zovaniem sistem monitoringa s pomoshch'yu kontrolya parametrov tekhnicheskogo sostoyaniya [Collecting information about the reliability of agricultural machines using monitoring systems by controlling the parameters of the technical condition]. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*, 2018; 8: 53-61. (In Rus.)

8. Kadurin A., Nikolenko S., Arkhangelskaya E. Glubokoe obuchenie. Pogruzhenie v mir neyronnykh setey [Deep learning. Immersion in the world of neural networks]. SPb, Peter, 2018: 480. (In Rus.)

Критерии авторства

Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 26.03.2021 г.

Одобрена после рецензирования 30.03.2021 г.

Принята к публикации 01.04.2021 г.

Contribution

M.N. Erokhin, A.S. Dorokhov, Yu.V. Kataev performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. M.N. Erokhin, A.S. Dorokhov, Yu.V. Kataev have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 26.03.2021

Approved after reviewing 30.03.2021

Accepted for publication 01.04.2021