

## Программный комплекс для дистанционного контроля узлов и агрегатов

**Михаил Николаевич Костомахин,**

кандидат технических наук,

заведующий лабораторией, e-mail: redizdat@mail.ru;

**Ефим Вадимович Пестряков,**

младший научный сотрудник,

e-mail: unlimeted-007@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Показали, что искусственный интеллект все шире применяют в сельском хозяйстве, в том числе при диагностировании состояния сельскохозяйственной техники. Отметили, что параллельно с программами разрабатываются новые вычислительные устройства, позволяющие хранить и обрабатывать большие объемы данных. (*Цель исследования*) Создать программный комплекс на базе нейронной сети для дистанционного контроля предельного состояния отдельных узлов и агрегатов с помощью диагностических устройств. (*Материалы и методы*) Проанализировали зарубежные исследования схожей тематики. Выявили, что для сбора данных для искусственного интеллекта имеются устройства на базе популярных микроконтроллеров *STM32* и *Arduino*, используется программно-аппаратная платформа *Nvidia CUDA* (*Compute Unified Device Architecture*). Для разработки применили язык программирования *C/C++*, в качестве хранилища – базу *MS SQL Server*. Подчеркнули, что общее программное обеспечение может работать на всех основных операционных системах, таких как *Windows*, *Mac OS*, *Linux*. Отметили важную роль нейросети, которая объединяет все программные блоки и выдает свой анализ. (*Результаты и обсуждение*) Информация с диагностических устройств аккумулируется в базе данных. Созданная на основе этой базы нейросеть постоянно обучается и одновременно анализирует поступающие данные в режиме реального времени, автоматически выдавая свои рекомендации. Установили, что нейросеть, созданная сотрудниками Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, имеет больше возможностей, например, способна работать напрямую с устройствами и проводить более детальный технический анализ. (*Выводы*) Создали нейронную сеть для анализа состояния техники, что повышает оперативность принятия решений в отношении ремонта, прогнозируемость. Предложили критерии эксплуатации техники.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, *CUDA*, автоматизация, микроконтроллеры, обработка сигналов, база данных.

**■ Для цитирования:** Костомахин М.Н., Пестряков Е.В. Программный комплекс для дистанционного контроля узлов и агрегатов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N4. С. 19-25. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-19-25. EDN OMXDIQ.

## Software Package for Remote Diagnostics of Agricultural Machinery Condition

**Mikhail N. Kostomakhin,**

Ph.D.(Eng.), head of laboratory,

e-mail: redizdat@mail.ru;

**Efim V. Pestryakov,**

junior assistant,

e-mail: unlimeted-007@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** Artificial intelligence is stated to be more and more widely used in agriculture, as well as for the diagnostics of the agricultural machinery condition. It was noted that in besides software, new computing devices are developed that enable processing and storing large amounts of data. (*Research purpose*) To create a neural network-based software package for remote diagnostics of the limit state of machinery individual components and assemblies. (*Materials and methods*) Foreign studies within the problem area were analysed. It was found out that for data collection for artificial intelligence there exist *STM32* and *Arduino* microcontroller-based devices, and the *Nvidia CUDA* (*Compute Unified Device Architecture*) hardware and software platform is used. For the software was developed in the *C / C++* programming language, and the *MS SQL Server* database were used as a repository. The general software is emphasized to be able to run on all major operating systems such as *Windows*, *Mac OS*, *Linux*. The role of neural network is argued to be important since it integrated all program blocks and provides its own analysis. (*Results*

*and discussion*) The information from the diagnostics devices is accumulated in a database. The neural network created on the basis of this database is constantly learning and simultaneously analyzing incoming data in real time, automatically issuing its recommendations. It was found that the neural network created by the employees of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM has more functional options, for example, it is able to work directly with devices and conduct a more detailed technical analysis. (*Conclusions*) A neural network for equipment condition diagnostics was created, which increases the efficiency of decision-making in case of repair, and improves forecast and predictability. The criteria for equipment operation were proposed

**Keywords:** artificial intelligence, CUDA (Compute Unified Device Architecture), automation, microcontrollers, signal processing, database.

**For citation:** Kostomakhin M.N., Pestryakov E.V. Programmnyy kompleks dlya distantsionnogo kontrolya uzlov i agregatov [Software package for remote diagnostics of agricultural machinery condition]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N4. 19-25 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-19-25. EDN OMXDIQ.

**П**рограммные комплексы используют в сельском хозяйстве как для управления технологическими процессами, так и для диагностирования текущего состояния. При этом важен правильный и бесперебойный сбор данных с технического средства. Огромный массив данных требует качественного и быстрого анализа. Для этих целей существуют технологии, такие как *BigData* и алгоритмы искусственного интеллекта.

Технические средства, в частности тракторы, становятся все более сложными, возрастает уровень автоматизации производственных процессов. Однако любая нештатная ситуация может привести к сбою всего технологического процесса. Зачастую экономически выгоднее проводить плановое техническое обслуживание, чем срочный ремонт. Диагностика и предсказуемость – ключевые факторы «бережливого производства», цифровизации и автоматизации отрасли.

В этом направлении было проведено очень мало исследований и разработок, что позволяет говорить о новизне идеи и актуальности разработки специализированных технических средств для диагностирования, программного комплекса, обрабатывающего данные в реальном времени, и алгоритмов искусственного интеллекта, в частности нейронных сетей. В данной статье представлена работа в этом направлении на примере трактора.

**Цель исследования** – создание программного комплекса на базе нейронной сети для дистанционного контроля предельного состояния отдельных узлов и агрегатов.

**Материалы и методы.** Состояние машины считается предельным, когда ее дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо невозможно или нецелесообразно восстановление ее исправного или работоспособного состояния. С учетом современных тенденций в диагностировании и значительной удаленности объектов контроля наиболее рациональным и экономически оправданным считается использование удаленного *on-line* мониторинга техники, позволяющего не допускать экс-

плуатацию в предельных или аварийных значениях параметров [1-4].

Для получения данных о текущем состоянии трактора ученые ФНАЦ ВИМ разработали цифровые устройства, где использованы отладочные платы на базе микроконтроллеров: *STM32*, *ESP32*, *Arduino* и т.д. Различные интерфейсы связи взаимодействуют с датчиками, получают и анализируют данные. Основная работа ведется с помощью интерфейсов связи: *GPIO (General-purpose input/output)*, *UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)*, *CAN (Controller Area Network)*, *RS-485 (Recommended Standard-485)*. В ряде случаев используют модули АЦП/ЦАП (аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователь). На языке программирования *C* разработан ряд программного обеспечения, встроенного в микроконтроллеры. Они оцифровывают данные в режиме реального времени. Все данные с микроконтроллера попадают в нейронную сеть для контроля диагностических показателей.

Рассмотрим разработанные учеными ФНАЦ ВИМ прототипы устройств, для которых предназначен наш программный комплекс.

Прототип индикатора уровня пульсаций давления (далее – ИПД) позволяет оперативно получать цифровые данные о температуре, среднем давлении, амплитуде и частоте импульсов давления на выходе из гидронасоса. По их величине возможно провести оценку технического состояния при эксплуатации, техническом обслуживании, при проведении обкатки, что позволяет получать исходные данные для прогнозирования ресурса гидронасоса (*рис. 1*).

На графике красная линия отображает показания эпсилона, зеленая – расход жидкости, синяя – давление. На нем можно наблюдать зависимость расхода от давления.

Для диагностики и контроля работоспособности гидронасоса используется метод амплитудно-фазовых характеристик, основанный на анализе волновых процессов в напорной или сливной магистралях на рабочих режимах при загрузке гидросистемы со стороны исполнительного органа или дросселирования

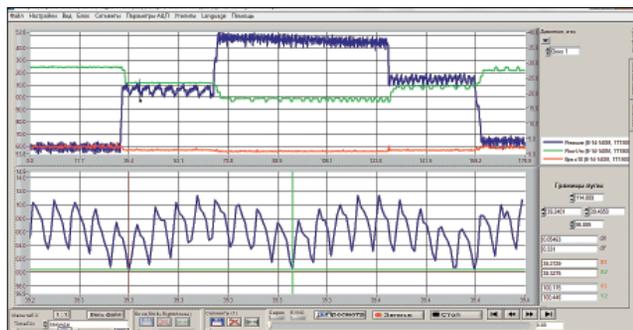


Рис. 1. График работы индикатора уровня пульсаций  
Fig 1. Graph of the ripple level indicator operation

жидкости в сливной магистрали. Метод применим для оценки и общего технического состояния, а также локализации неисправностей. Наиболее эффективен этот метод в гидросистемах, работа которых сопровождается значительными колебаниями давления [1].

Износ плунжерных пар оценивают по коэффициенту пульсации давления:

$$\epsilon = 2 (P_{\max} - P_{\min}) / (P_{\max} + P_{\min}), \quad (1)$$

где  $P_{\max}$  и  $P_{\min}$  – экстремальные значения пульсирующего давления.

Все эти параметры, включая и данный коэффициент, рассчитываются и передаются на центральный сервер программного комплекса.

Износ плунжерных пар  $\epsilon$  зависит от технического состояния устройства (рис. 2-4).

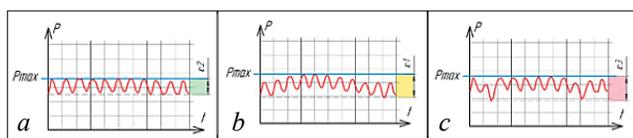


Рис. 2. Пульсация давления на выходе из шестеренного насоса: а – нормальная работа насоса (равномерная пульсация за оборот); б – циклическая пульсация из-за эксцентриситета зубчатых колес насоса; с – характерное падение давления в результате износа отдельных зубьев шестерен насоса

Fig. 2. Pressure ripple at the gear pump outlet: a – normal operation of the pump (uniform ripple per revolution); b – cyclic ripple due to the pump gear eccentricity; c – typical pressure drop due to wear of individual pump gear teeth

Допустимые пределы диагностического параметра  $\epsilon$  для разных типов насосов рассчитываются индивидуально.

Рассмотрим устройство, которое непрерывно отслеживает развиваемое шестеренным насосом давление, по частоте пульсации рассчитывает коэффициент пульсации давления и скорость вращения насоса (рис. 5). Прототип устройства предлагается оснастить тремя световыми индикаторами, соответствующими трем условным зонам работы насоса (рис. 3). Для подключения быстродействующего точного измеритель-

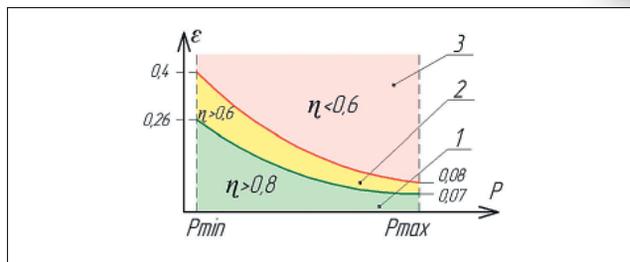


Рис. 3. Условные зоны «работоспособности» шестеренного насоса НШ-32, определяемые при помощи расчета коэффициента пульсации давления ( $\epsilon$ ): 1 – насос полностью работоспособен, расчетный КПД ( $\eta$ ) насоса выше 80%; 2 – насос работает неэффективно, расчетный КПД насоса не превышает 80%; 3 – насос требует замены, так как КПД насоса на текущих режимах работы ниже 60%;  $P_{\min}$  -  $P_{\max}$  – диапазон давления

Fig. 3. Nominal standard "operability" zones of NSh-32 gear pump, determined by calculating the pressure ripple ratio ( $\epsilon$ ): 1 – the pump is fully operational, the calculated performance index ( $\eta$ ) of the pump is above 80%; 2 – the pump is inefficient, the calculated performance index of the pump does not exceed 80%; 3 – the pump needs to be replaced, since the performance index of the pump at current operating modes is less than 60%;  $P_{\min}$  -  $P_{\max}$  – pressure range



Рис. 4. Прототип устройства во время стендовых испытаний изношенного шестеренного насоса  
Fig. 4. A device prototype used during the bench tests of a worn gear pump

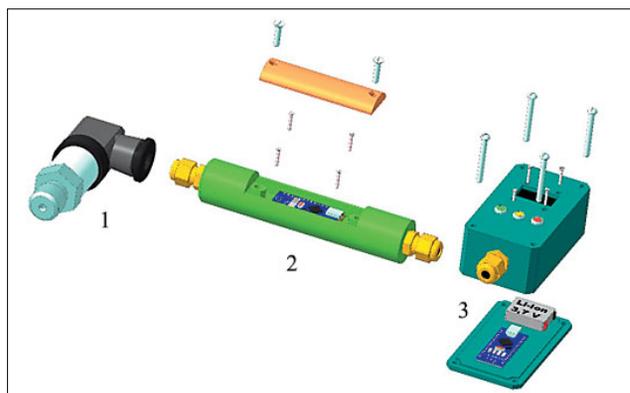


Рис. 5. Прототип устройства для контроля состояния шестеренного насоса по коэффициенту пульсации  $\epsilon$ : 1 – датчик давления РТМ-М3-100-0,25%-С1-ГК1; 2 – микропроцессорное устройство на базе AVR; 3 – блок питания  
Fig. 5. A device prototype for monitoring the gear pumps condition by the ripple ratio  $\epsilon$ : 1 – RTM-M3-100-0.25%-C1-GK1 pressure sensor; 2 – AVR-based microprocessor device; 3 – power supply

ного оборудования предусмотрен диагностический разъем [5, 6]. В случае, если устройство длительное время сигнализирует о критически низком КПД насоса, проводится диагностика насоса при подключении в диагностический разъем (например, осциллографа) и изучении формы сигнала пульсации давления на экране [7].

Следующая разработка – это устройство по работе с CAN (интерфейсом трактора). Оно представляет собой микроконтроллер, к которому по интерфейсу SPI подключен трансивер CAN. К трансиверу подсоединены High- и Low-линии CAN-шины, расположенной на технике (рис. 6). Микроконтроллер передает данные на персональный компьютер по протоколу UART.

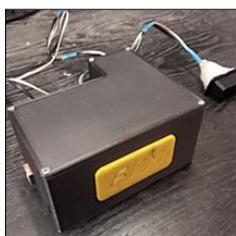


Рис. 6. CAN-устройство

Fig. 6. CAN device

CAN-устройство подключается к CAN-интерфейсу трактора и считывает значение в 16-ричном стандарте (рис. 7).



Рис. 7. Данные с шины CAN

Fig. 7. CAN bus data

Строка сообщения CAN состоит из 3 блоков:

1 – расширенный (или стандартный) идентификатор устройств внутри машины, с которых получены данные. Размер расширенного стандарта современной версии – 29 бит;

2 – поле DLC показывает, сколько байт поступило. Согласно стандарту CAN, это 8 байт, но пакет также может быть неполным;

3 – «данные» – это поле самих данных, стандартный размер – 8 байт. Они представлены в числовой форме 16-ричной системы исчисления. Каждый байт

может отображать как отдельный индикатор, так и его часть.

Шина CAN работает по собственному протоколу. Он может измениться в зависимости от машины [8]. Протоколы J1939/ J1979 наиболее часто используются на подобной технике. В программу заложено автоматическое определение протокола. Но получить данные в соответствии с протоколом – это еще не все, некоторые данные приходят разбитыми на несколько байт в сообщении. В программном комплексе запрограммированы следующие формулы приведения:

1. Сначала необходимо перевести данные из 16-ричной системы исчисления в двоичную (бинарную). Потом с помощью операции конкатенации (присоединения) соединяем полученные байты в двухбайтовые значения. Далее переводим в десятичную систему исчисления, для получения конечного результата. К тому же в документации нужно будет учесть поправочный коэффициент для каждого конкретного параметра.

2. Переводим значение в десятичную систему исчисления по формуле перевода системы исчисления:

$$x_q = \sum_{i=1}^{n+m} a_i q^{i-1}, \quad (2)$$

где  $X$  – само число;

$q$  – основание системы;

$a_i$  – цифра, принадлежащая к алфавиту данной системы;

$n$  – число целых разрядов числа;

$m$  – число дробных разрядов числа.

Все данные обрабатываются специальным программным обеспечением в интегрированной среде разработки Visual Studio 2022. В будущем планируется переносимость на другие операционные системы, в основном на дистрибутивы Linux. На завершающем этапе работы нейронная сеть выдает свой анализ на основе получаемой информации.

**Результаты и обсуждение.** Само программное обеспечение представляет собой многопроцессорное и многопоточное приложение, которое работает вместе с базой данных для их накопления. При разработке хранилища используется система управления базами данных (СУБД) MS SQL Server.

Вся работа алгоритма программного обеспечения для сбора и накопления данных координируется центральным процессом (рис. 8). Он управляет всеми другими программными процессами: сбором данных с микроконтроллеров, нейронной сетью, сервером базы данных. Нейронная сеть обучается на основе сервера базы данных, которая в свою очередь накапливается с помощью данных, поступающих с микроконтроллеров и центрального процесса.

После того как мы наладили сбор и структурирование данных в базе, возникает вопрос о ее дальнейшем анализе. Поскольку информация накапливается

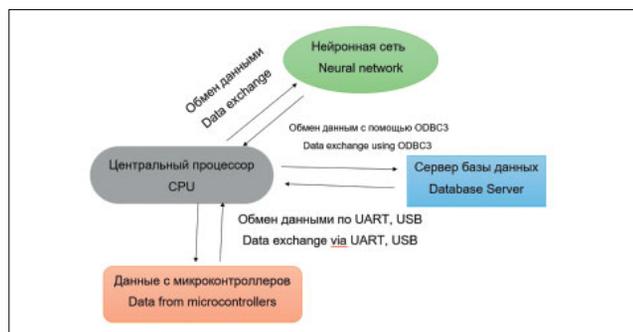


Рис. 8. Алгоритм работы программы  
Fig. 8. Program operation algorithm

в режиме реального времени, формируя большие банки данных (*Big Data*) с течением времени, сотрудники ФНАЦ ВИМ разработали и продолжают улучшать нейронную сеть глубокого обучения для качественного анализа. Найти решение проблемы в реальном времени сложно, так как это может зависеть от ее типа, чувствительности и от ожидаемого результата.

Подход мягких вычислений помогает найти решение в непредсказуемой ситуации. Нейронная сеть – одна из мягких техник. Она требует, чтобы веса (коэффициенты приоритетов) нейронной сети были распределены между нейронами для вычисления результата [9, 10]. Одним из наиболее значимых направлений развития современных технических систем контроля и диагностики объектов различного назначения стало совершенствование математического аппарата, используемого для оценки контролируемых параметров [11, 12].

Для наблюдения за системой с целью определения ее особенностей требуется модель системы гибкой структуры с использованием схем идентификации системы. Параметры этой модели следует корректировать до тех пор, пока фактические выходные данные не будут соответствовать измеренным. Модель системы крайне важна для анализа, моделирования, прогнозирования [13, 14].

Для этого используются специальные разработанные функции:

- *Feed Forward* – функция прямого распределения;
- *Back Propagate* – обратное распределение;
- *Update Weights* – обновление весовых коэффициентов.

Функция *Feed Forward* отвечает за стартовую инициализацию нейронной сети, где будут заданы входные, стартовые весовые коэффициенты, а также функция активации. Для активации нейрона используется сигмоидальная функция [15, 16]:

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-x}). \tag{3}$$

У нас в программе она задана в виде:

$$1 / (1 + \exp(-x)),$$

где *exp* – функция стандартной библиотеки языка Си, обозначающий экспоненту.

Функция *Feed Forward* математически представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} I_n &= u_n \cdot w_n; \\ O_n &= f(I_n), \end{aligned} \tag{4}$$

где  $u_n$  – входной слой нейронной сети;

$I_n$  – скрытый слой;

$O_n$  – выходной слой;

$w_n$  – весовые коэффициенты между слоями.

Функция *Back Propagate* после вычисления ошибки результата нейронной сети в обратном порядке изменяет весовые коэффициенты начиная с выходного слоя. Схематично ее можно представить так:

$$\delta_{k-1} = w_{nk} \cdot \delta_k + w_{nk+1} \cdot \delta_{k+1}, \tag{5}$$

где  $\delta$  – дельта слоя.

*Update Weights* обновляет весовые коэффициенты нейронной сети:

$$W_{t+1} = W_{t-n} \cdot \delta \cdot X, \tag{6}$$

где  $X$  – входное значение слоя.

В итоге мы получили программный комплекс на базе нейронной сети, способный собирать и обрабатывать данные, поступающие с датчиков трактора в режиме реального времени, а также проводить интеллектуальный анализ полученных результатов, прогнозировать и оценивать риски. Устройство системы также закладывает возможность непрерывного развития, а значит и постоянной актуальности ее работы и выходных данных [17, 18].

В научной литературе уже описан схожий метод, анализирующий отдельные вращающиеся механизмы с помощью нейронной сети [19]. Отличие нашей нейронной сети в том, что она получает и обрабатывает информацию о полном состоянии техники. Дело в том, что анализ отдельных узлов и агрегатов не дает полной оценки о текущем состоянии машины. Вследствие чего плановое техническое обслуживание будет проведено недостаточно правильно. Кроме того, разработанные специалистами ФНАЦ ВИМ программный комплекс и технические устройства могут быть установлены на сельскохозяйственную или другую технику для контроля диагностических показателей [20, 21].

**Выводы.** Результатом проделанной работы стал созданный программный комплекс, который позволит увеличить точность диагностирования и прогнозирования неисправностей сельскохозяйственной техники, в частности трактора. Главное преимущество этого комплекса – это нейросеть, способная обрабатывать колоссальный объем информации.

По мере работы программного комплекса и накопления информации нейросеть будет совершенствоваться, улучшится точность. С помощью ее рекомендаций можно корректировать использование техники, повышая ее надежность.

С применением новых диагностических разрабо-

ток (устройство по работе с *CAN* и прототип индикатора пульсации давления насоса) нейросеть будет обучаться быстрее.

Внедрение программного комплекса на базе ней-

ронной сети для контроля диагностических показателей техники обеспечит создание полноценного рабочего диагностического стенда, где можно моделировать работу основных узлов и агрегатов машин.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорохов А.С. Совершенствование входного контроля качества сельскохозяйственной техники на дилерских предприятиях // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина*. 2009. N2. С. 73-75.
2. Петрищев Н.А., Костомахин М.Н., Саяпин А.С., Ивлева И.Б. Совершенствование мониторинга системы «Человек–машина–среда» и правил эксплуатации для повышения эксплуатационной надежности тракторов // *Технический сервис машин*. 2020. N3(140). С. 12-20.
3. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники // *Агроинженерия*. 2021. N2(102). С. 45-50.
4. Дидманидзе О.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Тенденции развития цифровых технологий диагностирования технического состояния тракторов // *Техника и оборудование для села*. 2020. N11(281). С. 39-43.
5. Саяпин А.С. Экспериментальный счетчик-индикатор для оценки технического состояния насоса гидропривода по амплитудно-фазовому методу // *Технический сервис машин*. 2021. N4(145). С. 76-85.
6. Измайлов А.Ю. Синтез автоматизированных информационных технологий и микропроцессорных систем // *Вестник российской академии сельскохозяйственных наук*. 2007. N5. С. 91-92.
7. Катаев Ю.В., Костомахин М.Н., Петрищев Н.А., Саяпин А.С., Молибоженко К.К. Повышение уровня технического обслуживания техники // *Техника и оборудование для села*. 2022. N4(298). С. 27-31.
8. Pestryakov E.V., Sayapin A.S., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A. Analysis of the Technical Condition of Agricultural Machinery Using Neural Networks. *Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics*. 2022. III. 92-101.
9. Петрищев Н.А., Костомахин М.Н., Саяпин А.С., Макаркин И.М., Пестряков Е.В., Молибоженко К.К. Оперативная оценка предельного состояния узлов и агрегатов тракторов с применением счетчиков индикаторов // *Технический сервис машин*. 2021. Т. 59. N3(144). С. 12-21
10. Курбанов Р.К., Захарова Н.И. Обоснование параметров полетного задания беспилотного воздушного судна для мультиспектральной аэрофотосъемки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. N3. С. 33-39.
11. Макаров Р.А., Соколов А.В. Диагностика строительных машин. М.: Стройиздат. 1984. 335 с.
12. Макаркин И.М., Дунаев А.В., Галимов Т.М. Приемы диагностирования редукторов ведущих мостов перспективных автомобилей КАМАЗ // *Автомобильная промышленность*. 2016. N6. С. 27-30.
13. Гриффитс Д., Гриффитс Д. Изучаем программирование на С. М.: Эксмо. 2019. 624 с.
14. Karande A.M., Kalbande D.R. Weight Assignment Algorithms for Designing Fully Connected Neural Network. *IJISA*. 2018. N6. 68-76.
15. Dharmajee Rao D.T.V., Ramana K.V. Winograd's Inequality: Effectiveness for Efficient Training of Deep Neural Networks. *IJISA*. 2018. N6. 49-58.
16. Сандерс Д., Кэндрот Э. Технология CUDA в примерах. Введение в программирование графических процессоров: пер. с англ. М.: ДМК Пресс. 2013. 232 с.
17. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. М.: ДМК Пресс, 2019. 232 с.
18. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Г93 Глубокое обучение: пер. с англ. М.: ДМК Пресс. 2018. 652 с.
19. Wanlu Jiang, Chenyang Wang, Jiayun Zou, Shuqing Zhang. Application of Deep Learning in Fault Diagnosis of Rotating Machinery. *Processes*. 2021. N9. 919.
20. Нгуен М.Т. Диагностика автомобильного двигателя на основе нейронной сети // *Молодой ученый*. 2019. N26(264). С. 76-81.
21. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N3(36). С. 40-45.

### REFERENCES

1. Dorokhov A.S. Sovershenstvovanie vkhodnogo kontrolya kachestva sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na dilerskikh predpriyatiyakh [Perfection of entrance quality assurance of agricultural machinery at the dealer enterprises]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet im. V.P. Goryachkina*. 2009. N2. 73-75. (In Russian).
2. Petrishchev N.A., Kostomakhin M.N., Sayapin A.S., Ivleva I.B. Sovershenstvovanie monitoringa sistemy «Chelovek-mashina-sreda» i pravil ekspluatatsii dlya povysheniya ekspluatatsionnoy nadezhnosti traktorov [Improving the human-machine-environment monitoring system and operation rules for increasing operational tractor reliability]. *Tekhnicheskii servis mashin*. 2020. N3(140). 12-20 (In Russian).
3. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Intel'kтуал'naya sistema diagnostirovaniya parametrov tekhnicheskogo sostoyaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Intelligent system for diagnosing the parameters of the technical condition of tractors]. *Agroinzheneriya*. 2021. N2(102). 45-50 (In Russian).



4. 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. N11(281). 39-43 (In Russian).
5. Sayapin A.S. Eksperimental'nyy schetchik-indikator dlya otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya nasosa gidroprivoda po amplitudno-fazovomu metodu [Experimental indicator counter for estimating the technical state of a hydraulic drive pump by amplitude-phase method]. *Tekhnicheskyy servis mashin*. 2021. N4(145). 76-85 (In Russian).
6. Izmaylov A.Yu. Sintez avtomatizirovannykh informatsionnykh tekhnologiy i mikroprotssornyykh sistem [Synthesis of automated information technologies and microprocessor systems for production processes]. *Vestnik rossiysskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2007. N5. 91-92 (In Russian).
7. Kataev Yu.V., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A., Sayapin A.S., Molibozhenko K.K. Povyshenie urovnya tekhnicheskogo obsluzhivaniya tekhniki [Increasing the level of maintenance of energy-saturated equipment]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2022. N4(298). 27-31 (In Russian).
8. Pestryakov E.V., Sayapin A.S., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A. Analysis of the Technical Condition of Agricultural Machinery Using Neural Networks. *Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics*. 2022. III. 92-101 (In English).
9. Petrishchev N.A., Kostomakhin M.N., Sayapin A.S., Makarkin I.M., Pestryakov E.V., Molibozhenko K.K. Operativnaya otsenka predel'nogo sostoyaniya uzlov i agregatov traktorov s primeneniem schetchikov indikatorov [Operational assessment of the limit state of tractor units with the use of indicator counters]. *Tekhnicheskyy servis mashin*. 2021. Vol. 59. N3(144). 12-21 (In Russian).
10. Kurbanov R.K., Zakharova N.I. Obosnovanie parametrov poletnogo zadaniya bespilotnogo vozdušnogo sudna dlya mul'tispektral'noy aerofotosemki [Justifying the parameters for an unmanned aircraft flight missions of multispectral aerial photography]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. N3. 33-39 (In Russian).
11. Makarov R.A., Sokolov A.V. Diagnostika stroitel'nykh mashin [Diagnostics of construction machines]. Moscow: Stroyizdat. 1984. 335 (In Russian).
12. Makarkin I.M., Dunaev A.V., Galimov T.M. Priemy diagnostirovaniya reduktorov vedushchikh mostov perspektivnykh avtomobiley KAMAZ [Some methods of diagnostics of gearboxes axles perspective of KAMAZ vehicles]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2016. N6. 27-30 (In Russian).
13. Griffiths D., Griffiths D. Izuchaem programmirovaniye na C [Studying programming in SM]. Moscow: Eksmo. 2019. 624 (In Russian).
14. Karande A.M., Kalbande D.R. Weight Assignment Algorithms for Designing Fully Connected Neural Network. *IJISA*. 2018. N6. 68-76 (In English).
15. Dharmajee Rao D.T.V., Ramana K.V. Winograd's Inequality: Effectiveness for Efficient Training of Deep Neural Networks. *IJISA*. 2018. N6. 49-58 (In English).
16. Sanders D., Kendrot E. Tekhnologiya CUDA v primerakh. Vvedenie v programmirovaniye graficheskikh protssorov: per. s ang. [CUDA technology in the examples: An Introduction to GPU]. Moscow: DMK Press. 2013. 232 (In Russian).
17. Borekov A.V., Kharlamov A.A. Osnovy raboty s tekhnologiyey CUDA [Fundamentals of working with CUDA technology]. Moscow: DMK Press, 2019. 232 (In Russian).
18. Gudfellou YA., Bendzhio I., Kurvill' A. G93 Glubokoe obuchenie: per. s ang. [Deep Learning"]. Moscow: DMK Press. 2018. 652 (In Russian).
19. Wanlu Jiang, Chenyang Wang, Jiayun Zou, Shuqing Zhang. Application of Deep Learning in Fault Diagnosis of Rotating Machinery. *Processes*. 2021. N9. 919 (In English).
20. Nguen M.T. Diagnostika avtomobil'nogo dvigatelya na osnove neyronnoy seti [Automotive engine diagnostics based on a neural network]. *Molodoy uchenyy*. 2019. N26(264). 76-81 (In Russian).
21. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistemy tekhnologiy i mashin [Aspects of digitalization of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Заявленный вклад соавторов:**

Костомакхин М.Н. – постановка задачи, разработка концепции проекта, общее описание принципов работы и дальнейших перспектив развития;  
 Пестряков Е.В. – разработка программного обеспечения, описание работы программы и нейронной сети, а также структуры базы данных.

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

**Статья поступила в редакцию**  
**Статья принята к публикации**

**The paper was submitted to the Editorial Office on**  
**The paper was accepted for publication on**

**13.09.2022**  
**11.11.2022**

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

**Coauthors' contribution:**

Kostomakhin M.N. – problem statement, developing the project concepts, general description of the project principles and further development prospects;  
 Pestryakov E.V. – software development, description of the program and neural network operation, as well as the database structure.

*The authors read and approved the final manuscript.*