

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-546006>

Оригинальное исследование



Механизм совершенствования управления процессом технического обслуживания и ремонта с применением нейросетевой технологии

А.В. Шимохин, О.М. Кирасиров

Омский государственный аграрный университет, Омск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Все еще остается значимой степень износа на сухопутном транспорте транспортной отрасли и в сельскохозяйственной технике, что подтверждает актуальность дальнейшего совершенствования организации технического сервиса. С этим связана техническая задача разработки механизма совершенствования процесса технического сервиса с использованием современных цифровых технологий.

Цель работы — определение параметров для разработки механизма принятия качественных управленческих решений в процессе технического обслуживания и ремонта изделий в условиях планово-предупредительной системы ремонта с применением технологии нейронных сетей.

Материалы и методы. Моделирование исследуемого процесса с помощью предлагаемой нейронной сети выполнено в программе Deductor. Построенная модель нейронной сети содержит один скрытый слой с 10 нейронами. В качестве функции активации в нейронах модели нейронной сети использовалась сигмоидная функция. Для решения поставленных задач применялись методы и понятия математической статистики и теории алгоритмов.

Результаты. Для выявления необходимости управленческого воздействия на процессы технического обслуживания и ремонта изделия предложен коэффициент вариации цикла. Предлагаются значения коэффициента, которые характеризуют стабильность процесса ремонта и технического обслуживания изделия. На основе этих значений представлена блок-схема механизма совершенствования процесса технического сервиса. Рассмотрен инструмент индустрии 4.0 — нейронные сети. Проведённое на примере вибродиагностики подшипникового узла моделирование показало, что нейронные сети могут распознавать дефекты по амплитудно-частотной характеристике вибросигнала, то есть интерпретировать диагностическую информацию, что может быть критично в условиях отсутствия эксперта. Научная новизна исследования заключается в представлении значений коэффициента вариации цикла для принятия управленческих решений в процессах технического обслуживания и ремонта, а также в получении результатов моделирования работы нейронной сети, которые подтвердили возможность их использования для интерпретации диагностической информации, предоставляющейся в виде различных спектрограмм.

Заключение. Практическая ценность исследования заключается в возможности использования предложенной нейронной сети для разработки системы анализа диагностической информации в условиях отсутствия экспертов и применении предлагаемых значений коэффициента вариации цикла для принятия решений в управлении техническим сервисом и ремонтом.

Ключевые слова: технический сервис; система планово-предупредительного ремонта; нейронные сети.

Как цитировать:

Шимохин А.В., Кирасиров О.М. Механизм совершенствования управления процессом технического обслуживания и ремонта с применением нейросетевой технологии // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90, № 6. С. 561–573. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-546006>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-546006>

Original Study Article

The procedure for improving the management of the maintenance and repair process using the neural network technology

Anton V. Shimokhin, Oleg M. Kirasirov

Omsk State Agrarian University, Omsk, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Stable significant degree of wear of on-ground vehicles of transport industry and of agricultural machinery keeps improvement of maintenance management relevant. Development of the procedure for improving the maintenance process using state-of-the-art digital technologies is a relevant technical problem.

AIM: Determination of parameters for development of the procedure of making good managing decisions in the process of maintenance and repair of products in conditions of planned and preventive repair system using the neural network technology.

METHODS: Simulation of operation of the proposed neural network was performed in the Deductor software. The built model of the neural network contains one hidden layer with 10 neurons. A sigmoidal function was used as an activation function in neurons of the neural network model. Tools and definitions of mathematical statistics and algorithms theory were used for solving the given problems.

RESULTS: The cycle variation coefficient is proposed for revealing the necessity of managing impact on the processes of maintenance and repair of products. The proposed values of the coefficient describe stability of product maintenance and repair process. Using these values, the block diagram of the procedure of improving the maintenance process was developed. The tool of the industry 4.0 neural networks was considered. The performed simulation based on the example of vibrational diagnostics of a bearing unit showed that neural networks are capable of defining defects using amplitude-frequency response of a vibration signal that means to interpret the diagnostic information that can be crucial in conditions of expert absence.

The scientific novelty of the study lies in presenting the values of the cycle variation coefficient for making managing decisions in maintenance and repair processes, as well as in obtaining the results of simulation of the neural network operation that confirms potential for their use for interpretation of diagnostic information which is presented in a form of various spectrographs.

CONCLUSIONS: The practical value of the study lies in the potential of using the proposed neural network for development of the system of diagnostic information analysis in condition of expert absence and using the proposed values of the cycle variation coefficient for decision-making in management of maintenance and repair.

Keywords: maintenance; planned and preventive repair system; neural networks.

To cite this article:

Shimokhin AV, Kirasirov OM. The procedure for improving the management of the maintenance and repair process using the neural network technology. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(6):561–573. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-546006>

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение работоспособности машин может быть достигнуто за счет улучшения физико-механических свойств материалов и конструкции деталей, своевременного и качественного технического сервиса и, что не менее важно, за счет высококвалифицированного осуществления ремонта.

В условиях высокого износа техники возникает необходимость совершенствования системы технического обслуживания и ремонта. Одним из вариантов обеспечения качества технического обслуживания и ремонта является совершенствование системы управления техническим сервисом организации. Применение современных систем диагностирования также может обеспечить своевременное выявление дефектов узлов и механизмов. Для применения этих систем не у всех предприятий могут быть квалифицированные специалисты, которые могут правильно проанализировать диагностическую информацию. Одним из вариантов решения указанной проблемы отсутствия таких специалистов может стать применение современных, цифровых технологий способных правильно интерпретировать диагностическую информацию.

Следует отметить, что в России существуют два вида систем технического обслуживания и ремонта: традиционная система планово-предупредительного ремонта [1–4] и система технического обслуживания по техническому состоянию [5–8].

Целью настоящего исследования является определение параметров для разработки механизма принятия качественных управленческих решений в процессе технического обслуживания и ремонта изделий в условиях планово-предупредительной системы ремонта с применением технологии нейронных сетей.

Исследование направлено на решение следующих задач:

- определение общих аспектов или принципов реализации системы ремонта для технических объектов различного назначения;

- выявление параметра для оценки влияния управленческих воздействий на процесс технического обслуживания и ремонта;
- проведение анализа применения технологии нейронных сетей в технической диагностике;
- разработка механизма совершенствования процесса технического сервиса.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

Известно, что система планово-предупредительного ремонта предполагает осуществление технического обслуживания или ремонта транспортно-технологического и промышленного оборудования через определенные промежутки календарного времени или времени наработки.

Согласно национальному стандарту ГОСТ Р 20793–2009 «Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание» чередование и периодичность технических обслуживаний и ремонтов представлены на рис. 1.

Виды технического обслуживания автомобилей и тракторов практически одинаковы, но при этом срок проведения текущего ремонта тракторов не определяется периодичностью пробега, проводится при необходимости и совмещается с ближайшим техническим обслуживанием.

Так, например, в техническом обслуживании сельскохозяйственной техники предусмотрены текущий и капитальный ремонты, а также техническое обслуживание ежедневное (ТОЕ), техническое обслуживание № 1 (ТО-1), техническое обслуживание № 2 (ТО-2), техническое обслуживание № 3 (ТО-3).

К особенностям технического обслуживания сельскохозяйственных машин можно отнести то, что из-за небольшого срока использования определенных машин некоторые виды ТО не осуществляются. Например, самоходные сельскохозяйственные машины ограничиваются ТО-2, сложные машины, агрегируемые с трактором — ТО-1, простые машины (плуги, зубовые бороны, культиваторы для сплошной обработки почвы) подвергаются только

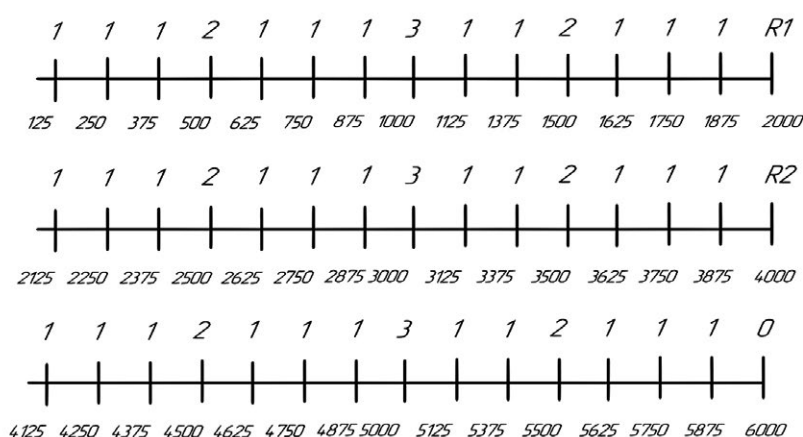


Рис. 1. Шкала периодичности и чередования технического обслуживания и ремонтов тракторов: 1 — ТО-1; 2 — ТО-2; 3 — ТО-3.
Fig. 1. Scale of frequency and sequence of maintenance and repairs of tractors: 1 — TM-1; 2 — TM-2; 3 — TM-3.

ежемесячному обслуживанию. При этом все остальные виды ТО и ремонта производятся в период хранения.

Периодичность технического обслуживания автомобилей устанавливается по пробегу и изменяется в зависимости от условий эксплуатации.

Из национального стандарта ГОСТ Р 21624–81 «Система технического обслуживания и ремонта автомобильной техники. Требования к эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности изделий» для центральной зоны России и периодичность технического обслуживания представлена в таблице 1.

Планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования также предполагает осуществление технического обслуживания или текущего ремонта через определенные промежутки времени. Так, например, для станка 1А616 характерна следующая очередность и периодичность ремонта и ТО (рис. 2).

Таким образом, для системы планово-предупредительного ремонта характерно назначать равные промежутки между техническим обслуживанием (ремонтом), которые могут меняться для различных объектов в зависимости от интенсивности и условий эксплуатации.

В официальном издании «Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень» за 2021–2022 гг. Федеральная служба государственной статистики отмечает износ на сухопутном транспорте транспортной отрасли Российской Федерации в среднем 41,9%. В издании «Промышленное производство в России» указано значение износа за 2021 г. основных фондов обрабатывающего производства около 51%. Данные значения износа являются существенными, поэтому в настоящее время остается актуальным совершенствование организации технического сервиса. Кроме того, отмечается ряд факторов, влияющих на техническое состояние: износ машин и оборудования [9], нехватка квалифицированных сотрудников

Таблица 1. Периодичность видов технического обслуживания

Table 1. Frequency of maintenance types

Тип изделия	Периодичность видов технического обслуживания			
	ЕО	ТО-1	ТО-2	ТО по сервисным книжкам
		км, не менее		
Автомобили легковые	Один раз в рабочие сутки независимо от числа рабочих смен	5000	20000	10000
Автобусы		5000	20000	
Автомобили грузовые, автобусы на базе грузовых автомобилей или с использованием их основных агрегатов		4000	16000	
Прицепы и полуприцепы		4000	16000	
Автомобили полноприводные		4000	16000	

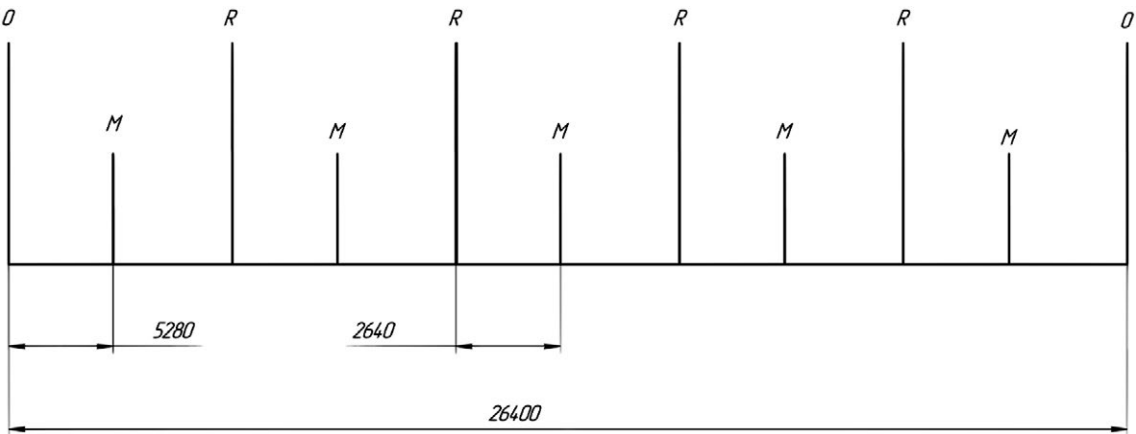


Рис. 2. Диаграмма ремонтного цикла станка 1А616: R — ремонт; O — капитальный ремонт; M — техническое обслуживание.
Fig. 2. Diagram of the repair cycle of the 1A616 machine: R — repair; O — overhaul; M — maintenance.

в области ремонта в организациях различных отраслей [10, 11].

Отметим также, что обеспечение бесперебойного выполнения изделиями своих функций особенно актуально для таких отраслей, как транспорт и сельскохозяйственная техника. Основные задачи транспорта заключаются в качественном удовлетворении потребности народного хозяйства и населения в перевозках, а сельскохозяйственная техника должна обеспечивать своевременное проведение определенных работ. Например, для сельскохозяйственных организаций существует риск потери урожая, для его предотвращения урожай должен быть собран в строго определенное время.

Таким образом, можно выделить общие принципы функционирования системы планово-предупредительного ремонта для таких видов техники, как промышленное оборудование, транспорт и сельскохозяйственные машины, — это назначение через равные промежутки наработки или времени сроки проведения технического обслуживания и ремонта. Стоит отметить, что совершенствование технического сервиса возможно за счет обеспечения качества управления данным процессом.

РЕШЕНИЕ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Проведенный обзор и анализ литературных источников показал, что в процессе технического обслуживания и ремонта могут быть приняты следующие управленческие решения: поиск поставщика услуг технического обслуживания и ремонта; определение сроков проведения технического обслуживания и ремонта; определение техники, которую необходимо отправить на ремонт.

В национальном стандарте ГОСТ Р 18322–2016 «Система технического обслуживания и ремонта техники» принято понятие «цикл технического обслуживания (ремонта)» — наименьший повторяющийся интервал времени или наработки объекта, в течение которых выполняются в определенной последовательности в соответствии с требованиями документации все установленные виды периодического технического обслуживания (ремонта), а также понятие «периодичность технического обслуживания (ремонта)» — интервал времени, или наработка между данным видом технического обслуживания (ремонта) и последующим таким же видом или другим большей сложности.

Тогда, принимается значение цикла технического обслуживания для тракторов 125 моточасов и периодичность ТО-2 — 500 моточасов; для автомобилей — 5000 км и периодичность ТО-2 — 20000 км; для оборудования (на примере станка 1А616) цикл технического обслуживания (ремонта) 2640 ч работы (см. рис. 1, 2).

Для оценки влияния управленческих воздействий на процесс технического обслуживания и ремонта автомобилями в работе [12] предлагается введение коэффициента вариации цикла технического обслуживания (ремонта)

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu}, \quad (1)$$

где σ — среднеквадратичное (стандартное) отклонение фактических значений интервала времени (наработки) между остановками на техническое обслуживание (ремонт, в том числе внеплановый); μ — среднее значение интервала времени (наработки) между остановками изделия на техническое обслуживание (ремонт, в том числе внеплановый).

В математической статистике и теории управления процессами [13, 14] приняты следующие выводы о значениях коэффициента вариации: если его значение менее 10% то степень рассеивания данных незначительна и исследуемый процесс можно считать устойчивым, управляемым; при значениях от 10% до 25% степень рассеивания данных средняя, процесс имеет некоторые отклонения по параметру ($-\sigma$); при значениях более 25% степень рассеивания большая, процесс имеет значительный разброс в параметрах, является неустойчивым, неуправляемым. В соответствии с этими суждениями предлагаются следующие интервалы значений рассматриваемого параметра (рис. 3):

- $0 < C_v < 10$ — группа изделий, %, которая характеризуется хорошим техническим состоянием, практически все ремонты выполняются по графику, небольшие колебания коэффициента могут быть связаны с различными производственными задачами и условиями эксплуатации;
- $10 < C_v < 25$ — группа изделий, %, которая характеризуется случайными отказами, если они приводят к существенным потерям в производстве, выполнении основных функции изделия, то следует проводить анализ этих причин, с последующим возможным поиском других поставщиков услуг по техническому сервису;
- $C_v > 25$ — группа изделий, %, которая характеризуется плохим техническим состоянием, что приводит к существенным потерям и необходимости анализа причин этих отказов.

Таким образом, рассматриваемый параметр в условиях системы планово-предупредительного ремонта позволяет выявить области процесса технического обслуживания и ремонта, для которых необходимо применять управленческие воздействия. В случае превышения значений 10 % при существенных потерях на ремонт или при превышении значений 25 % предлагается выполнять поиск причин отказов и на его основе осуществлять выбор поставщика услуг технического сервиса, повышение компетенции своих сотрудников и др.

Следует обратить внимание, что в связи с производственной необходимостью значение данного коэффициента может несколько меняться, но существенные сдвиги, следовательно, большое значение коэффициента вариации будет при внеплановых остановках, связанных с восстановлением после непредвиденного отказа изделия.

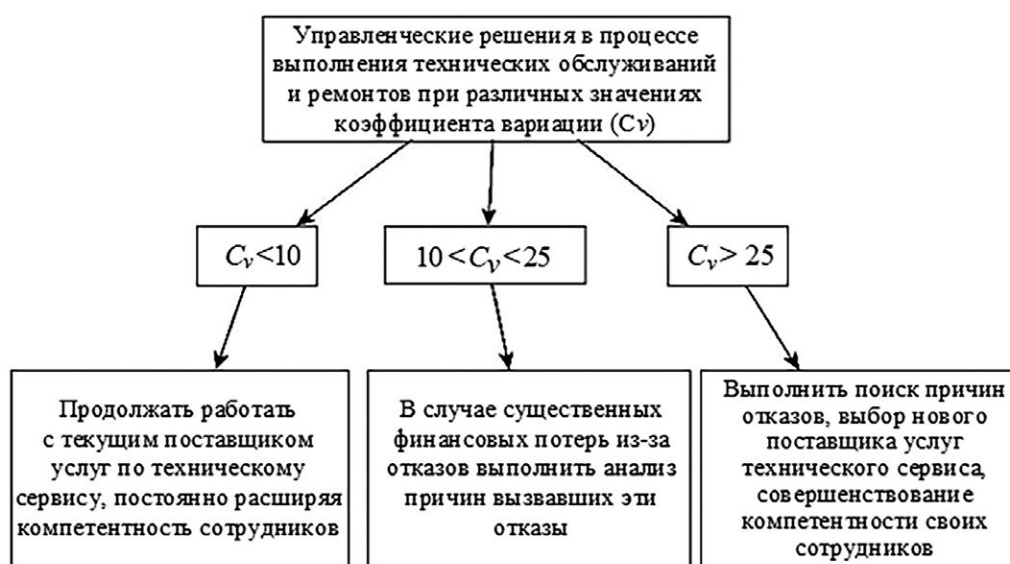


Рис. 3. Блок-схема применения коэффициента вариации цикла технического обслуживания (ремонта) в управлении процессом.
Fig. 3. Block diagram of the application of the maintenance (repair) cycle variation coefficient in process management.

МЕХАНИЗМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Рассмотрим технологию индустрии 4.0 — нейронные сети, которые обладают способностью обучаться на основе предоставляемых данных и обобщать их. Программные продукты, построенные на их основе, могут стать заменой экспертов и специалистов при их отсутствии в различных областях управления и осуществлять поддержку принятия решений.

При определенных значениях предлагаемого в данной статье параметра V_c в управлении техническим сервисом может быть принято решение — «поиск поставщика технического сервиса».

В работах [15, 16] представлены исследования о возможности применения алгоритмов, построенных на основе нейронных сетей, для оценки уровня надежности поставщиков технического сервиса и их оценка по отзывам в сети Интернет [16]. Данные алгоритмы могут применяться как дополнительный инструмент в принятии решения о выборе поставщика. В результате показано, что нейронные сети могут квалифицировать поставщиков по различным показателям: время существования на рынке, соотношение положительных и отрицательных отзывов и др. Для проверки возможности анализа нейронными сетями положительных и отрицательных отзывов в сети Интернете было проведено отдельное исследование с нейронной сетью, созданной на языке программирования Python. Для ее обучения использовались выражения, расширенные отзывами об организациях — поставщиках автосервисных услуг. Данная нейронная сеть показала

качественную работу с большим массивом данных об отзывах компаний, предоставляющих услуги автосервиса, что в настоящее время является одним из способов получения характеристики поставщика услуг.

В [18–23] анализируется работа нейронных сетей с графической информацией с целью применения в технической диагностике. Так, например, при диагностировании двигателя с применением мотор-тестера получают осциллограммы [20], по которым нейронная сеть может определять дефекты [20, 22].

Например, приведены опыты автора Каракулова И.В. [18] в работе которого были получены результаты вибродиагностики насосного оборудования, в виде спектрограмм виброскорости. Информация о которых хранилась в графических файлах. Автор разработал и подготовил по этим данным нейронные сети. И получил в результате хорошую точность распознавания технического состояния с помощью нейронной сети по классификации: удовлетворительное, допустимое и недопустимое. Нейронная сеть в данном моделировании анализировала графическую информацию (спектрограммы виброскорости). В работе Яблокова А.Е. [22] также проводился опыт по изучению способности нейронных сетей работать с графической информацией несущей информацию о техническом состоянии объекта. В данном исследовании были получены результаты вибродиагностики для различных состояний зубчатых передач. Моделирование проводилось в среде Matlab, в результате было получено, что нейронная сеть распознавала состояния зубчатых передач по изображениям сохраненным в файлы размером 781×781 pix с точностью до 95%.

Авторами работы [23] получены результаты вибродиагностики подшипников с различными техническими состояниями. Ими также был разработан алгоритм

на основе нейронной сети для анализа спектрограмм, который показал способность правильно определять техническое состояние подшипников по графической информации с тонкостью 75–80%.

Данные исследований и многие другие подобные опыты дают возможность сделать заключение о возможности применения технологии нейронной сети как инструмента для применения сложной диагностической аппаратуры, в том числе, в условиях отсутствия эксперта.

Таким образом, становится возможным применять дорогостоящую сложную аппаратуру при отсутствии экспертов.

Для моделирования процесса распознавания дефектов рассмотрим пример вибродиагностики подшипников качения. Дефекты подшипников могут заключаться в износе поверхности наружного, внутреннего колец, тел качения. Могут быть дефекты монтажа подшипников качения и дефекты смазки. Все они диагностируются методами вибродиагностики в котором в зависимости от дефекта он проявляется в виде повышенной амплитуды на определенной частоте.

Рассмотрим подшипник 6226-2RS TIMKEN, который применяется в различных механизмах и промышленном оборудовании. По известным зависимостям [24] построим частотную карту возникновения дефектов.

В таблице 2 приведены следующие обозначения: $F_{\text{днк}}(F1)$ — частота, на которой повышенной амплитудой вибрации проявляются дефекты наружного кольца подшипника; $F_{\text{двк}}(F2)$ — частота, на которой повышенной амплитудой вибрации проявляются дефекты внутреннего кольца подшипника; $F_c(F3)$ — частота на которой повышенной амплитудой вибрации проявляются дефекты сепаратора подшипника; $F_m(F5)$ — частота, на которой повышенной амплитудой вибрации проявляется дефект монтажа. Неоднородный радиальный натяг. f_p — частота вращения вала или внутреннего кольца подшипника. z — количество тел качения, d — внутренний диаметр подшипника, D — наружный диаметр подшипника.

Для создания набора данных для подготовки нейронной сети будем считать, что частота вращения f_n — 1200 об/мин. или 20 Гц. Тогда дефекты из таблицы 2 будут создавать повышенную амплитуду на следующих частотах для данного подшипника (таблица 3).

В соответствии с приведенными в таблице 2 зависимостями создадим набор данных для подготовки нейронной сети. В данном наборе наибольшие значения амплитуды будут на частотах, которые соответствуют определенным дефектам при их наличии (таблица 2). На остальных частотах будет моделировать амплитуды с значением около 30% от пиковых значений.

Таблица 2. Частотная карта дефектов подшипников типа 6226-2RS TIMKEN

Table 2. Frequency map of defects of the type 6226-2RS TIMKEN bearing

Вид дефекта	Формула частот (признак дефекта)	Значение, Гц
<i>Дефекты износа</i>		
Дефект наружного кольца	$F_{\text{днк}} = \frac{f_p z}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \right)$	$F1 = 2.64f_p$
Дефект внутреннего кольца	$F_{\text{двк}} = \frac{f_p z}{2} \left(1 + \frac{d}{D} \right)$	$F2 = 9.36f_p$
Дефект сепаратора	$F_c = \frac{f_p}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \right)$	$F3 = 0,22f_p$
<i>Дефекты монтажа</i>		
Неоднородный радиальный натяг	$F_m = 1,5f_p$	$F_5 = 1,5 * f_p$

Таблица 3. Частоты проявления дефектов при $f_p = 20$ Гц для подшипника 6226-2RS TIMKEN

Table 3. Frequency of appearing of defects at $f_p = 20$ Hz for the 6226-2RS TIMKEN bearing

Вид дефекта	Частота проявления дефекта при вибродиагностики Гц ($f_p = 20$ Гц)
<i>Дефекты износа</i>	
Дефект наружного кольца	50
Дефект внутреннего кольца	200
Дефект сепаратора	5
<i>Дефекты монтажа</i>	
Неоднородный радиальный натяг	30

Набор данных в данном случае представляет собой совокупность входных векторов, в соответствие с которыми поставлены выходные вектора. Каждый входной вектор X поочерёдно подается на вход нейронной сети и её выход сравнивается с заданным парным входному выходным вектором D , после чего параметры нейронной сети корректируются таким образом, чтобы сократить различие между фактическим и требуемым выходом сети.

Входной вектор будет формироваться из частот с наибольшими амплитудами. Выходным вектором в таком

случае будет вектор с четырьмя дефектами, в котором наибольшие амплитуды будут у соответствующих этим дефектам частотами из таблицы 2.

Фрагмент матрицы входных сигналов приведен в таблице 4.

Соответственно каждому набору (строке) амплитуд на определенных частот можно поставить в соответствие определенный дефект и получить матрицу выходных векторов (таблица 5).

На основе матрицы входных сигналов, содержащей 200 записей, была подготовлена нейронная сеть

Таблица 4. Фрагмент матрицы входных сигналов

Table 4. Fragment of the matrix of input signals

	5	30	50	70	90	100	125	150	200
1	10	3	4	2	3	3	4	4	3
2	4	3	11	5	3	4	4	5	3
3	5	15	4	3	5	4	3	4	5
4	5	4	6	5	6	3	5	6	20
5	12	4	5	4	5	3	5	4	3
6	15	5	4	3	3	4	4	5	5
7	4	15	4	4	4	3	5	5	5
8	5	16	5	4	4	3	4	5	3
9	5	4	12	3	5	5	4	4	5
10	4	5	15	3	5	4	5	3	5
11	5	5	3	4	5	4	3	5	15
12	3	3	3	4	2	2	4	3	10

Таблица 5. Матрица выходных векторов видов дефектов

Table 5. Matrix of output vectors of types of defects

	Дефект наружного кольца	Дефект внутреннего кольца	Дефект сепаратора	Неоднородный радиальный натяг
1	0	0	1	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	1
4	0	1	0	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	0
7	0	0	0	1
8	0	0	0	1
9	1	0	0	0
10	1	0	0	0
11	0	1	0	0
12	0	1	0	0

в программном комплексе Deductor. При этом при моделировании нейронной сети использовались следующие обозначения видов дефектов: Дефект наружного кольца — DNK; Дефект внутреннего кольца — DVK; Дефект сепаратора — DS. Неоднородный радиальный натяг-NRN. В итоге была разработана модель нейронной сети. Данная нейронная сеть содержит 2 скрытых слоя по 9 нейронов в первом слое, 10 нейронов во втором слое. Граф данной сети показан на рис. 4. В качестве функции активации использовался сигмоидная функция [12, 15].

Разработанная нейронная сеть правильно распознала вид дефекта по матрице входных сигналов, а также смогла распознать дефект по новым значениям входящих сигналов. Проведенное моделирование подтвердило возможность нейронных сетей классифицировать или распознавать дефект по амплитудно-частотной характеристики вибросигнала, получаемого засчет вибродиагностики.

Их способность распознавать дефекты расширяет возможность применений сложной диагностической аппаратуры в условиях отсутствия экспертов.. Представим механизм совершенствования процесса технического сервис на рис. 5.

В данном механизме обеспечение качества управленческих решений в процессе технического обслуживания и ремонта достигается за счет применения параметра вариации цикла технического обслуживания (ремонта) и программного продукта на основе нейронной сети, а также нейросетевой технологии в технической диагностике [25, 26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного анализа систем планово-предупредительного ремонта для различных типов сельскохозяйственной техники, автомобилей и промышленного оборудования, можно сделать следующие выводы:

- Для всех исследованных типов техники назначаются равные промежутки времени работы или наработки между одноименными видами технического обслуживания и ремонта. Для выявления необходимости управленческого воздействия на процессы технического обслуживания и ремонта изделия предложен коэффициент вариации цикла, который определяется значениями интервалов времени (наработки) между остановками техники на техническое обслуживание (ремонт, в том числе, — внеплановый). Предложены значения коэффициента, которые характеризуют стабильность процесса ремонта и технического обслуживания изделия. В случае нестабильности процесса технического обслуживания и ремонта предложено выполнять поиск причин отказов и на его основе осуществлять выбор нового поставщика услуг технического сервиса, повышение компетенции своих сотрудников и др.
- Показано, что способность нейронных сетей интерпретировать графическую информацию позволяет применять их в технической диагностике на этапе анализа диагностирующей информации, что, в свою очередь, приводит к применению сложной

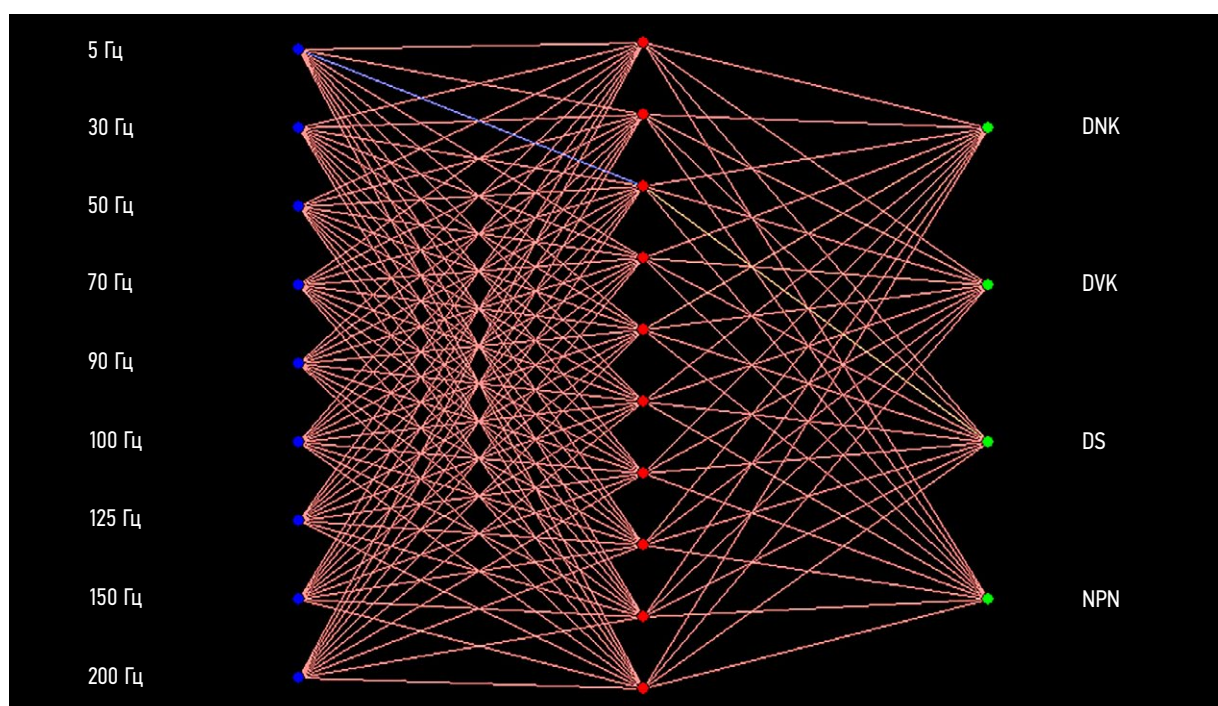


Рис. 4. Граф разработанной нейронной сети.

Fig. 4. Graph of the developed neural network.



Рис. 5. Блок-схема механизма совершенствования процесса технического сервиса.

Fig. 5. Block diagram of the procedure for improving the maintenance process.

диагностирующей аппаратуры при отсутствии экспертов.

- Разработаны матрицы входных сигналов для разработки модели нейронной сети на основе известных амплитудно-частотных характеристик вибрации подшипников при различных дефектах. Проведенное моделирование подтвердило способность нейронной сети классифицировать вид дефектов по амплитудно-частотной характеристике вибросигнала. На наш взгляд нейронные сети могут распознавать дефект по результатам и других методов диагностирования, которые предоставляют диагностическую информацию в виде различных спектрограмм. Построенная модель нейронной сети содержит один скрытый слой с 10 нейронами, первый слой имеет 9 входов и выходной — 4 выхода. В качестве функции активации в нейронах модели нейронной сети использовалась сигмоидная функция.
- На основании полученных выводов предложен механизм совершенствования процесса технического сервиса, который включает в себя оценку стабильности процесса технического обслуживания и ремонта. На основании данной оценки принимаются управленческие решения для процесса технического обслуживания и ремонта. Механизм также включает использование нейросетевой технологии для проведения

технической диагностики и поддержки принятия решения поиска поставщика, предоставляющего услуги по ремонту.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. А.В. Шимохин — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи, создание изображений; О.М. Кирасиров — редактирование текста рукописи, экспертная оценка, утверждение финальной версии. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. A.V. Shimokhin — search for publications on the topic of the article, writing the text

of the manuscript, creating images; O.M. Kirasirov — editing the text of the manuscript, expert opinion, approval of the final version. The authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria (all authors made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation

of the article, read and approved the final version before publication).

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Myalo O.V., Myalo V.V., Prokopov S.P. Theoretical substantiation of machine-tractor fleet technical maintenance system on the example of Omsk region agricultural enterprises // J. Phys.: Conf. Ser. 2018. Vol. 1059. P. 012005. doi: 10.1088/1742-6596/1059/1/012005
2. Myalo O.V., Prokopov S.P. Material and technical support of the enterprises of the agro-industrial complex of the Omsk region management and certification of the technical component of the production processes in crop production // J. Phys.: Conf. Ser. 2019. Vol. 582, N. 1. P. 012028. doi: 10.1088/1757-899X/582/1/012028
3. Иовлев Г.А., Побединский В.В., Голдина И.И. Экономическое обоснование оптимальных сроков использования и периодичности технического обслуживания и ремонта машин // Вестник НГИЭИ. 2021. № 4(119). С. 105–119. doi: 10.24412/2227-9407-2021-4-105-119
4. Тойгамбаев С.К., Дидманидзе О.Н. Особенности разработки технологического процесса технического обслуживания тракторов в машинно-тракторном парке хозяйства // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 1(37). С. 74–80. doi: 10.52463/22274227_2021_37_74
5. Куприянова Т.М., Растимешин В.Е. Система TPM: более четверти века в России. Японская теория. Российская практика. Опыт Консультационного сообщества «ТАИР». М.: Буки Веди, 2019.
6. Итикава А., Такаги И., Такэбэ Ю. и др. TPM в простом и доступном изложении. М.: Стандарты и качество, 2008.
7. Akhtulov A.L., Ivanova L.A., Charushina E.B. Measuring the effectiveness of the quality management system as a tool for improving the organization's activities // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2019. Vol. 537. P. 042059. doi: 10.1088/1757-899X/537/4/042059
8. Akhtulov A.L., Ivanova L.A., Charushina E.B. Analysis of the formation and evaluation of performance indicators and efficiency of the organization's management system processes // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. Vol. 1515. P. 052032. doi: 10.1088/1742-6596/1515/5/052032
9. Redreev G.V., Okunev G.A., Voinash S.A. Efficiency of Usage of Transport and Technological Machines // Radionov A., Kravchenko O., Guzeev V., et al. (eds) Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Cham: Springer, 2020. P. 625–631. doi: 10.1007/978-3-030-22063-1_6
10. Шаихов Р.Ф. Контроль производственного персонала на автотранспортном предприятии // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2019. № 3. С. 89–95. doi: 10.15593/24111678/2019.03.11
11. Мальцев Д.В., Репецкий Д.С. Контроль производственного персонала при выполнении работ технического обслуживания автомобилей // Мир транспорта. 2020. Т. 18, № 6(91). С. 238–247. doi: 10.30932/1992-3252-2020-18-6-238-247
12. Шимохин А.В. Механизм передачи бизнес-процесса промышленного предприятия на аутсорсинг // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2019. № 1. С. 45–51. doi: 10.17586/2310-1172-2019-12-1-45-51
13. Баранова Е.М., Баранов А.Н., Борзенкова С.Ю. и др. Исследование показателей эффективности информационных систем с помощью программы STATISTICA // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 10. С. 199–205. doi: 10.24412/2071-6168-2022-10-199-205
14. Каримова В.А., Мухитдинова М.Л. Моделирование процессов управления и прогнозирования запасов на предприятии // Наука и мир. 2019. № 5–2(69). С. 33–36.
15. Шимохин А.В. Семантический анализ отзывов о поставщиках на основе применения нейросетевой технологии // Фундаментальные исследования. 2021. № 5. С. 117–121. doi: 10.17513/fr.43048
16. Myalo O.V. Mathematical Modeling and Information Technologies in the Management of Tractor Maintenance Operations // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2019. Vol. 582. P. 012014. doi: 10.1088/1757-899X/582/1/012014
17. Рубцова Ю.В. Модель нейронной сети для преодоления деградации результатов классификации текстов по тональности // Проблемы информатики. 2018. № 2(39). С. 4–14.
18. Каракулов И.В. Классификация технического состояния водонасосного оборудования при помощи сверточных нейронных сетей // Прикладная математика и вопросы управления. 2022. № 2. С. 37–53. doi: 10.15593/2499-9873/2022.2.02
19. Кацуба Ю.Н., Григорьева Л.В. Применение искусственных нейронных сетей для прогнозирования технического состояния изделий // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 3–2(45). С. 19–21. doi: 10.18454/IJR.2016.45.008
20. Иванов А.И. Использование методики диагностирования двигателя при помощи мотор-тестера и скрипта CSS // E-Scio. 2020. № 5(44). С. 779–787.
21. Будко С.И., Козарез И.В., Козлов С.И. и др. Теоретические исследования по совершенствованию процесса диагностирования дизелей // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1(77). С. 50–55.
22. Яблоков А.Е., Жила Т.М. Применение СНС в вибродиагностике по спектрограммам и вейвлет-скалограммам сигнала // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 12. С. 452–456. doi: 10.24412/2071-6168-2021-12-452-457
23. Яблоков А.Е., Жила Т.М., Генералов А.С. Диагностика оборудования по спектрограммам вибросигнала методами машинного обучения // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. 2021. № 15. С. 288–297.

24. Буйносов А.П., Васильев В.А., Байтов А.С. и др. Стендовая отработка алгоритмов диагностирования подшипников качения бортовой системы диагностики и прогноза остаточного ресурса основных и вспомогательных узлов МПВС // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2021. № 3(51). С. 40–49. doi: 10.20291/2079-0392-2021-3-40-49
25. Иовлев Г.А., Голдина И.И., Зорков В.С. Технический сервис

в сельском хозяйстве и процесс цифровизации // Аграрное образование и наука. 2019. № 2. С. 7.

26. Тарасенко В.Е., Ролич О.Ч., Якубович О.А. и др. Алгоритмы обработки сигналов при комплексном диагностировании автотракторных двигателей многоканальной интегрированной системой // Труды НАМИ. 2021. № 1(284). С. 6–15. doi: 10.51187/0135-3152-2021-1-6-15

REFERENCES

1. Myalo OV, Myalo VV, Prokopov SP. Theoretical substantiation of machine-tractor fleet technical maintenance system on the example of Omsk region agricultural enterprises. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2018;1059:012005. doi: 10.1088/1742-6596/1059/1/012005
2. Myalo OV, Prokopov SP. Material and technical support of the enterprises of the agro-industrial complex of the Omsk region management and certification of the technical component of the production processes in crop production. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2019;582(1):012028. doi: 10.1088/1757-899X/582/1/012028
3. Iovlev GA, Pobedinsky VV, Goldina II. Economic justification for the optimal terms of use and frequency of maintenance and repair of machines. *Vestnik NGIEI*. 2021;4(119):105–119. (In Russ.) doi: 10.24412/2227-9407-2021-4-105-119
4. Toygambaev SK, Didmanidze ON. Features of the development of the technological process for maintaining tractors in the farm's machine and tractor fleet. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2021;1(37):74–80. (In Russ.) doi: 10.52463/22274227_2021_37_74
5. Kupriyanova TM, Rastimeshin VE. *TRM system: more than a quarter of a century in Russia. Japanese theory. Russian practice. Experience of the TAIR Consulting Community*. Moscow: Buki Vedi; 2019. (In Russ.)
6. Ichikawa A, Takagi I, Takebe Y, et al. *TPM in a simple and accessible presentation*. Moscow: Standarty i kachestvo; 2008. (In Russ.)
7. Akhtulov AL, Ivanova LA, Charushina EB. Measuring the effectiveness of the quality management system as a tool for improving the organization's activities. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2019;537:042059. doi: 10.1088/1757-899X/537/4/042059
8. Akhtulov AL, Ivanova LA, Charushina EB. Analysis of the formation and evaluation of performance indicators and efficiency of the organization's management system processes. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2020;1515:052032. doi: 10.1088/1742-6596/1515/5/052032
9. Redreev GV, Okunev GA, Voinash SA. Efficiency of Usage of Transport and Technological Machines. In: *Radionov A., Kravchenko O., Guzeev V., et al. (eds) Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Cham: Springer; 2020:625–631. doi: 10.1007/978-3-030-22063-1_6
10. Shaikhov RF. Control of production personnel at a motor transport enterprise. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. 2019;3:89–95. (In Russ.) doi: 10.15593/24111678/2019.03.11
11. Maltsev DV, Repetsky DS. Control of production personnel when performing vehicle maintenance work. *Mir transporta*. 2020;18(6(91)):238–247. (In Russ.) doi: 10.30932/1992-3252-2020-18-6-238-247
12. Shimokhin AV. Mechanism for transferring a business process of an industrial enterprise to outsourcing. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO*. *Seriya «Ekonomika i ekologicheskiy menedzhment»*. 2019;1:45–51. (In Russ.) doi: 10.17586/2310-1172-2019-12-1-45-51
13. Baranova EM, Baranov AN, Borzenkova SYu, et al. Study of information systems efficiency indicators using the STATISTICA program. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2022;10:199–205. (In Russ.) doi: 10.24412/2071-6168-2022-10-199-205
14. Karimova VA, Mukhitdinova ML. Modeling processes for managing and forecasting inventories at an enterprise. *Nauka i mir*. 2019;5–2(69):33–36. (In Russ.)
15. Shimokhin AV. Semantic analysis of reviews about suppliers based on the use of neural network technology. *Fundamentalnye issledovaniya*. 2021;5:117–121. (In Russ.) doi: 10.17513/fr.43048
16. Myalo OV. Mathematical Modeling and Information Technologies in the Management of Tractor Maintenance Operations. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2019;582:012014. doi: 10.1088/1757-899X/582/1/012014
17. Rubtsova YuV. A neural network model to overcome the degradation of text classification results by sentiment. *Problemy informatiki*. 2018;2(39):4–14. (In Russ.)
18. Karakulov IV. Classification of the technical condition of water pumping equipment using convolutional neural networks. *Prikladnaya matematika i voprosy upravleniya*. 2022;2:37–53. (In Russ.) doi: 10.15593/2499-9873/2022.2.02
19. Katsuba YuN, Grigorieva LV. Application of artificial neural networks to predict the technical condition of products. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2016;3–2(45):19–21. (In Russ.) doi: 10.18454/IRJ.2016.45.008
20. Ivanov AI. Using the engine diagnostic technique using a motor tester and a CSS script. *E-Scio*. 2020;5(44):779–787. (In Russ.)
21. Budko SI, Kozarez IV, Kozlov SI, et al. Theoretical research on improving the process of diagnosing diesel engines. *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2020;1(77):50–55. (In Russ.)
22. Yablokov AE, Zhila TM. Application of CNN in vibration diagnostics using spectrograms and wavelet scalograms of the signal. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2021;12:452–456. (In Russ.) doi: 10.24412/2071-6168-2021-12-452-457
23. Yablokov AE, Zhila TM, Generalov AS. Equipment diagnostics using vibration signal spectrograms using machine learning methods. *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva i khraneniya materialnykh tsennostey dlya gosudarstvennykh nuzhd*. 2021;15:288–297. (In Russ.)
24. Buynosov AP, Vasilyev VA, Baitov AS, et al. Bench testing of algorithms for diagnosing rolling bearings of an on-board diagnostic system and forecasting the residual life of the main and auxiliary units of the MPVS. *Vestnik Uralskogo gosudarstvennogo*

universiteta putey soobshcheniya. 2021;3(51):40–49. (In Russ.)
doi: 10.20291/2079-0392-2021-3-40-49

25. Iovlev GA, Goldina II, Zorkov VS. Technical service in agriculture and the digitalization process. *Agrarnoe obrazovanie i nauka*. 2019;2:7. (In Russ.)

26. Tarasenko VE, Rolich OCh, Yakubovich OA, et al. Signal processing algorithms for complex diagnostics of automobile and tractor engines using a multi-channel integrated system. *Trudy NAMI*. 2021;1(284):6–15. (In Russ.) doi: 10.51187/0135-3152-2021-1-6-15

ОБ АВТОРАХ

*** Шимохин Антон Владимирович,**

доцент, канд. экон. наук,
доцент кафедры технического сервиса, механики
и электротехники;
адрес: Российская Федерация, 644008, Омск,
Институтская площадь, д. 1;
ORCID: 0000-0002-2048-3180;
eLibrary SPIN: 2830-8008;
e-mail: schimokhin@yandex.ru

Кирасиров Олег Михайлович,

доцент, канд. техн. наук,
доцент кафедры технического сервиса, механики
и электротехники;
ORCID: 0009-0003-7901-2169;
eLibrary SPIN: 4794-1945;
e-mail: om.kirasirov@omgau.org

AUTHORS' INFO

*** Anton V. Shimokhin,**

Associate Professor, Cand. Sci. (Economics),
Associate Professor of the Maintenance, Mechanics and Electrical
Engineering Department;
address: 1 Institutskaya square, 644008 Omsk,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-2048-3180;
eLibrary SPIN: 2830-8008;
e-mail: schimokhin@yandex.ru

Oleg M. Kirasirov,

Associate Professor, Cand. Sci. (Engineering),
Associate Professor of the Maintenance, Mechanics
and Electrical Engineering Department;
ORCID: 0009-0003-7901-2169;
eLibrary SPIN: 4794-1945;
e-mail: om.kirasirov@omgau.org

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author