УДК 631.3
CC BY
DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-3-22-27

Система дистанционного контроля технического состояния на примере коробки перемены передач трактора «Кировец»

Михаил Николаевич Костомахин,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: redizdat@mail.ru;

Николай Алексеевич Петрищев,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: gosniti14@mail.ru;
Александр Сергеевич Саяпин,
младший научный сотрудник,
e-mail: comaconcrsas@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметили, что для повышения технической готовности энергонасыщенной техники, снижения затрат на ее эксплуатацию и полного использования ресурса необходимо оперативно оценивать текущее техническое состояние. Создали опытные образцы счетчиков-индикаторов для высокоточного контроля технического состояния коробки перемены передач. (*Цель исследования*) Разработать предложения для формирования системы дистанционного контроля технического состояния узлов коробки перемены передач тракторов семейства «Кировец». (*Материалы и методы*) Для повышения уровня контролепригодности и определения технического состояния предложили систему диагностических средств на основе разработанных счетчиков-индикаторов, которые учитывают конструктивные особенности при определении диагностических параметров. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что для оценки технического состояния коробки передач следует применять дополнительные системы контроля, получать информацию для расчета остаточного ресурса при проведении прямых измерений и возможности непрерывного наблюдения за фактическим изменением диагностических параметров узлов коробки перемены передач. Изучили варианты использования счетчиков-индикаторов для минимизации отказов II и III группы в процессе эксплуатации. (*Выводы*) Определили, что для повышения уровня эксплуатационной надежности коробки передач необходимо внедрить систему счетчиков-индикаторов. Выявили возможность контроля технического состояния отдельных узлов по соответствию с регламентированными показателями, а также в целях недопущения эксплуатации на аварийных (аномальных) режимах работы.
Ключевые слова: энергонасыщенная техника, контроль технического состояния, счетчики-индикаторы, коробка перемены передач, тракторы «Кировец».

Для цитирования: Костомахин Н.М., Петрищев Н.А., Саяпин А.С. Система дистанционного контроля технического состояния на примере коробки перемены передач трактора «Кировец» // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N3. С. 22-27. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-3-22-27.

A System for the Remote Monitoring of Vehicle Technical Condition: Kirovets Tractor Gearbox Case Study

Mikhail N. Kostomakhin,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: redizdat@mail.ru;

Nikolay A. Petrishchev,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: gosniti14@mail.ru;
Aleksandr S. Sayapin,
junior researcher, e-mail: comaconcrsas@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The authors noted that in order to increase the energy-saturated equipment technical readiness, reduce its operation costs and ensure full use of the resource, it is necessary to quickly assess the current technical condition. The authors have created a counter-indicator prototype for high-precision control of gearbox technical condition. (*Research purpose*) To formulate a proposal for developing a system for the remote monitoring of gearbox technical condition applicable to the Kirovets tractor family. (*Materials and methods*) To increase the precision level of traceability and technical condition detection, a system of diagnostic tools was proposed based on the developed counters-indicators, which take into account design features when determining

diagnostic parameters. (*Results and discussion*) It was shown that to assess the gearbox technical condition, it is necessary to use additional monitoring systems, obtain information for calculating the residual life, when using direct measurements and having a possibility of the ongoing monitoring over the actual change in the gearbox units diagnostic parameters. The authors studied the options for using meter-indicators to minimize group II and III failures during operation.(*Conclusions*) It was identified that in order to increase the level of gearbox operational reliability, it is necessary to introduce a system of counters-indicators. The authors revealed the possibility of monitoring the individual unit technical condition in accordance with the specified indicators, as well as in order to prevent operation in emergency (abnormal) modes.
Keywords: energy-saturated equipment, technical condition monitoring, meters-indicators, gearbox, Kirovets tractors.

For citation: Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A., Sayapin A.S. Sistema distantsionnogo kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya na primere korobki peremeny peredach traktora “Kirovets” [A system for the remote monitoring of vehicle technical condition: Kirovets tractor gearbox case study]. *Sel’skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N3. 22-27 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-3-22-27.

Для повышения технической готовности энергонасыщенной техники, снижения затрат на ее эксплуатацию и полного использования ресурса необходимо оперативно оценивать текущее техническое состояние. Важно также минимизировать риски и издержки, связанные с ошибками эксплуатации, в том числе под влиянием человеческого фактора, участвующего в системе «человек – машина – среда» [1-4].

Энергонасыщенная техника конструктивно сложна и дорого стоит. Для поддержания ее в работоспособном состоянии требуется оперативная информационная поддержка (особенно в период полевых работ), предназначенная минимизировать затраты и издержки вследствие уменьшения простоев при возникших отказах. Среди причин отказов и неисправностей узлов ведущего вала коробок перемены передач наиболее распространены нарушение правил эксплуатации, низкая приспособленность к диагностированию, слабая контролепригодность узлов трансмиссии для оценки технической готовности. Это повышает риски появления отказов II и III групп в гарантийный и постгарантийный периоды эксплуатации, увеличивает издержки при проведении регламентных сервисных работ, в том числе техники, находящейся в лизинге.

Цель исследования – разработать предложения для создания системы дистанционного контроля технического состояния узлов коробки перемены передач тракторов семейства «Кировец».

Материалы и методы. Как показал анализ российского парка тракторов 3-6 тягового класса (большинство из которых представлены продукцией АО «ПТЗ»), даже при сроке эксплуатации 15-20 лет техника хорошо зарекомендовала себя, в том числе благодаря преемственности конструктивных элементов, наличию запасных частей, ремонтной и технической документации.

Исследования в ФНАЦ ВИМ по обоснованию и контролю технического состояния при эксплуатации и капитальном ремонте тракторов выявили, что для поддержания энергонасыщенных тракторов с высокими коэффициентами готовности необходима узкоспециализированная централизованная система технического обслуживания и ремонта [4-6].

Результаты и обсуждение. Для контроля буксования по соответствию передаточным отношениям коробки перемены передач (КПП) в качестве прототипа устройств в ФНАЦ ВИМ разработан имитационный модуль, оснащенный вентиляторами с электронными регуляторами оборотов (*рис. 1*). Путем регулирования скорости вращения вентиляторов имитируется работа:

- ведущего вала КПП;
- раздаточного вала КПП переднего моста;
- раздаточного вала заднего моста.

Для идентификации отклонений передаточных чисел запрограммированы 24 интервала, соответствующие передаточным числам реальных скоростей и режимов КПП трактора К-744 в пределах допустимых буксований фрикционных дисков ведущего вала (не более 3%). Соответствующее отношение скоростей рассчитывается как отношение скоростей вращения первого и второго вентилятора имитатора КПП.

Для контроля своевременности включения оператором заднего моста разработанное устройство вычисляет разность скоростей раздаточных валов КПП, измеряемую как разность скоростей вращения второго и третьего вентилятора имитатора. При этом срабатывание индикатора *1* свидетельствует о буксовании фрикционных дисков передач КПП, а индикатор *2* сигнализирует о буксовании колес переднего моста трактора (при отключенном заднем мосте) относительно колес заднего моста более чем на 16%. Зеленые светодиоды показывают, что буксование отсутствует. Датчики ДУ-Р2У *3* запрограммированы на измерение угла положения рычага КПП.

При анализе эксплуатационной документации на трактор К-701 выявлено, что в процессе эксплуатации на панели оператора контролируются только рабочее давление в системе управления, с помощью датчика в механизме перемены передач, и аварийный перепад

давления в линейном фильтре. При этом уровень рабочей жидкости определяется визуально. Отсутствует возможность контроля степени изнашивания фрикционных дисков, что не позволяет оператору вовремя выявить выход этих параметров за предельные величины и увеличивает риск возникновения отказов техники.

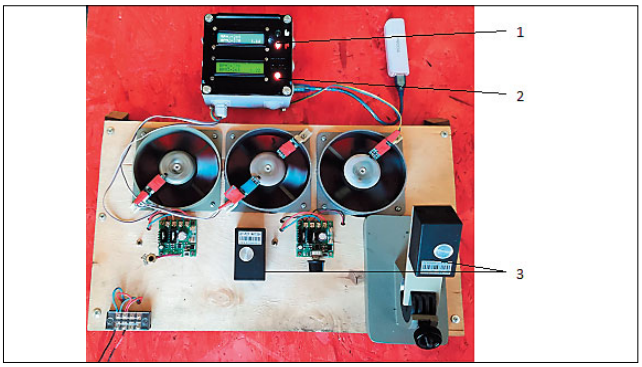

Рис. 1. Имитационный модуль контроля передаточных отношений трансмиссии и ходовой части: 1 – индикатор аварийного буксования фрикционных дисков КПП; 2 – индикатор необходимости подключения заднего моста; 3 – датчики ДУ-Р2У угла положения

Fig. 1. Simulation module for monitoring the transmission and chassis gear ratios: 1 – indicator of the gearbox friction discs emergency slipping; 2 – indicator of the rear axle connection; 3 – DU-R2U position angle sensors

В качестве контролируемого параметра технического состояния фрикционных узлов ведущего вала КПП выбрали величину линейного перемещения (более 15 мм) нажимного диска бустера *1* передачи при включении, которая, в свою очередь, характеризует износ, коробление фрикционных дисков. Ее значение измеряют при помощи индукционных датчиков *2*. Эти же датчики позволяют одновременно оценить и величины радиального биения подшипника, превышающие 0,25 мм (*рис. 2*, *3*) [7-11].

Для передачи данных на телеметрический терминал в прототипе использовали индукционные датчики, которые работают в режиме ключа. При максимальном линейном перемещении, характеризующем предельный износ, датчик подает сигнал на панель индикаторов (*рис. 3*) и на терминал *Galileosky 7x*.

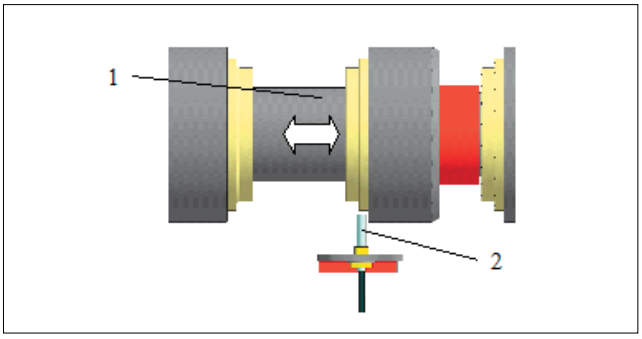

Рис. 2. Схема процесса контроля износа фрикционных дисков КП: 1 – нажимной диск бустера; 2 – индукционный датчик

Fig. 2. Diagram of the process of monitoring the gearbox friction discs' wear: 1 – booster pressure disk; 2 – induction sensor

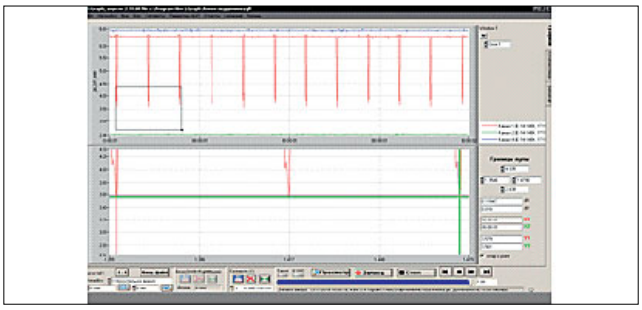

Рис. 3. Визуализация процесса контроля износа подшипников ведущего вала КП

Fig. 3. Visualization of the process of monitoring the gearbox drive shaft bearings' wear

Применяя индукционные датчики, можно вести подсчет в энергонезависимой памяти количества включений передач (гарантированный ресурс от производителя – не менее 20000) и объективно выявлять заявленные параметры работы ресурсоопределяющих элементов ведущего вала в режиме *on-line* (*рис. 4*) [4].

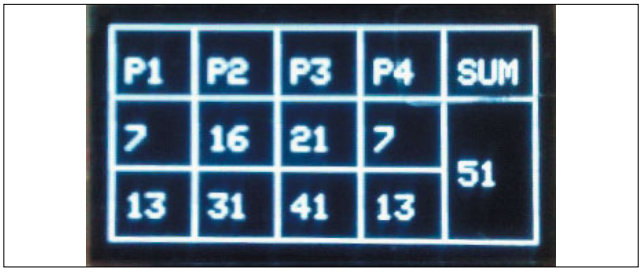

Рис. 4. Прототип счетчика количества включения передач для КП трактора К-701

Fig. 4. A prototype of a gear number counter for K-701 tractor gearbox

При дальнейшем совершенствовании конструкции КПП необходимо провести адаптацию агрегатов и систем отображения параметров работы на панели оператора для повышения контролепригодности и приспособленности при проведении входного контроля качества ремонта и диагностирования в ходе технического обслуживания в условиях рядовой эксплуатации. Все это повысит эксплуатационную надежность трактора в целом [12-14].

В частности, в рамках реализации проекта подготовлены предложения, направленные на совершенствование конструкции поддона механической КПП с гидравлическим управлением энергонасыщенных тракторов (*рис. 5*).

Модернизированный поддон позволяет:

- предварительно прогревать рабочую жидкость;
- более полно удалять ее из системы КПП;

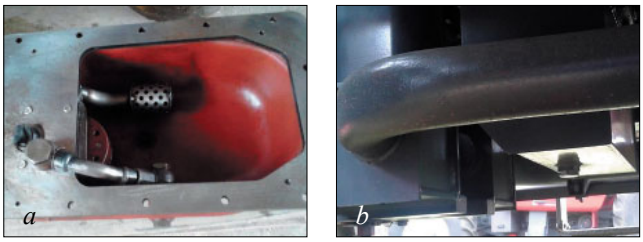

Рис. 5. Общий вид поддонов КП тракторов «Кировец» разных поколений: a – К-701; b – К-744

Fig. 5. General view of the gearbox pallets in Kirovets tractors of different generations: a – K-701; b – K-744

- осуществлять циркуляционную промывку полостей или параллельную фильтрацию рабочей жидкости с применением внешних устройств (например, КИ-28286.50 или др.) для продления срока службы и защиты штатных фильтрующих элементов от продуктов износа;
- проводить работы для предварительной оценки технического состояния гидросистемы управления с использованием дополнительного оборудования (например, гидростанции производительностью 15 л/мин, при давлении 1,2 МПа);
- устанавливать дополнительный теплоизолирующий кожух при эксплуатации трактора в условиях значительных отрицательных температур (ниже минус 25°С);
- сигнализировать оператору о низком уровне рабочей жидкости в КПП.

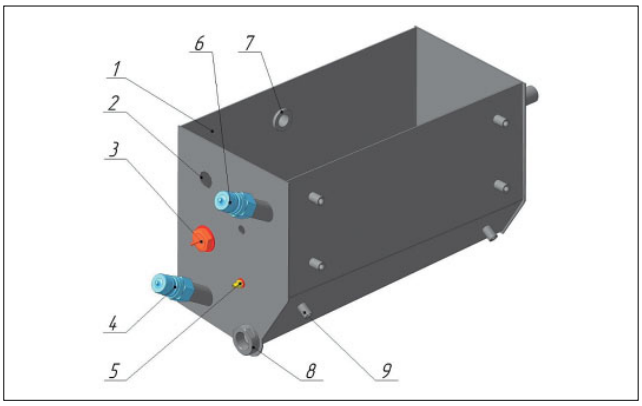

Рис. 6. Модернизированный поддон КПП: 1 – корпус; 2 – датчик уровня масла; 3 – подогреватель масла; 4 – выводное быстроразъемное соединение; 5 – датчик температуры масла; 6 – входное быстроразъемное соединение; 7 – выпускное отверстие всасывающего патрубка гидронасоса; 8 – сливная пробка; 9 – элементы для крепежа теплоизолирующего кожуха

Fig. 6. Upgraded gearbox pallet: 1 – case; 2 – oil level sensor; 3 – oil heater; 4 – outlet quick connector; 5 – oil temperature sensor; 6 – input quick connector; 7 – hydraulic pump suction outlet; 8 – drain plug; 9 – elements for fastening the heat-insulating casing

При подготовке к реализации проекта необходимо предварительно согласовать с производителем характеристики контроллера, позволяющего проводить измерение и вычисление предложенных параметров. Кроме того, предстоит реализовать контроллер в виде отдельного функционально обособленного узла для обмена информацией с имеющейся бортовой системой на основе промышленно используемых интерфейсов и протоколов (*CAN-bus*, *II2C*, *RS485*, *RS232*, *Modbus*), а также с системами выходного контроля готовых изделий (КПП) на производстве для определения эталонных, допускаемых, аварийных характеристик изделия.

Таким образом, с учетом предложений для контроля технического состояния силовых передач энергонасыщенной техники необходима проработка вопроса с отечественными предприятиями-изготовителями, работающими по программе Правительства РФ № 1432 – для опытного и возможного серийного внедрения современных цифровых систем контроля с целью улучшения показателей безотказности и долговечности [4, 5].

При обсуждении представленных исследований со специалистами АО «ПТЗ» на выставке «Агросалон 2020» завод-производитель выразил интерес в дальнейшей проработке возможного внедрения системы дистанционного контроля технического состояния и правил эксплуатации техники.

Выводы

1. Низкая контролепригодность и приспособленность к диагностированию требует внедрения системы дополнительных счетчиков-индикаторов с целью повышения эксплуатационной надежности, корректировки времени сервисного обслуживания для предупреждения отказов.

2. Выпускаемая и эксплуатируемая техника должна сопровождаться современными средствами и методиками технического состояния ресурсоопределяющих узлов, агрегатов для получения объективной картины технического состояния. Это даст возможность производителю (конструкторам, технологам, сервисной и логистической службе) получать данные, основанные на объективной информации, оперативно проводить изменения, направленные на совершенствование выпускаемой продукции.

3. Комплексный контроль текущего технического состояния с применением счетчиков-индикаторов исключит аварийные (аномальные) режимов работы, что неизбежно повысит эксплуатационную надежность имеющегося парка и снизит затраты на владение техникой. Так, вследствие расширения объективности оценки можно выявлять причинно-следственные связи и минимизировать риски появления отказов.

4. Для эффективного внедрения системы необходимо уже на стадии изготовления или ремонта техники предусмотреть места для установки счетчиков-индикаторов. Повысить достоверность и объективность данных по коэффициенту готовности тех-

ники к полевым работам важно как непосредственно владельцу техники, так и сервисному подразделению дилера, лизинговой компании при удаленном мониторинге.

5. Постоянный автоматизированный контроль позволит оперативно реагировать на зарождающиеся отклонения в техническом состоянии и не доводить ситуацию до аварийной. Исходя из динамики изменения состояния контролируемых элементов можно прогнозировать остаточный ресурс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черноиванов В.И., Ежевский А.А., Краснощеков Н.В., Федоренко В.Ф., Жалнин Э.В., Буклагин Д.С., Фрибус В.К., Гольтяпин В.Я., Кузьмин В.К., Измайлов А.Ю., Жилкибаев М.Ш., Хлепитько М.Н. Мониторинг технического уровня и надежности основных видов сельскохозяйственной техники. М.: Росинформагротех. 2009. 108 с.

2. Краснощеков Н.В., Кирюшин В.И., Липкович Э.И. и др. Инновации в машиноиспользовании в АПК России. М.:Росинформагротех. 2008. 435 с.

3. 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.

4. 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.

5. Макаркин И.М., Дунаев А.В., Галимов Т.М. Приемы диагностирования редукторов ведущих мостов перспективных автомобилей КАМАЗ // *Автомобильная промышленность*. 2016. N6. С. 27-30.

6. Измайлов А.Ю., Кряжков В.М., Антышев Н.М. и др. Концепция модернизации парка сельскохозяйственных тракторов России на период до 2020 года. М.: ВИМ. 2013. 88 с.

7. Дорохов А.С. Эффективность оценки качества сельскохозяйственной техники и запасных частей // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина*. 2015. N1(65). С. 31-35.

8. Дорохов А.С., Корнеев В.М., Катаев Ю.В. Технический сервис в системе инженерно-технического обеспечения АПК // *Сельский механизатор*. 2020. N9. С. 12-18.

9. Дорохов А.С. Качество машиностроительной продукции: реальность и перспективы // *Ремонт. Восстановление. Модернизация*. 2005. N8. С. 2-4.

10. Дорохов А.С., Семейкин В.А. Входной контроль качества продукции машиностроения // *Сельский механизатор*. 2013. N11. С. 22-23.

11. Abdazimov A.D., Omonov N.N., Radjabov S.S. Automation of agrotechnical assessment of cotton harvesting machines. *Journal of physic: conference series*. 2019. 032001.

12. Macpherson J., De Wardt J., Laing M., Zenero N. Data ownership for drilling automation – managing the impact. IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, Fort Worth. Texas, USA. March 2016. Paper Number: SPE-178787-MS.

13. Aksenov A.G., Izmailov A.Yu., Dorokhov A.S., Sibirev A.V. Onion bulbs orientation during aligned planting of seed-onion using vibration-pneumatic planting device. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 55. N2. 63-70.

14. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Dorokhov A.S. Results of laboratory investigations of soil screening ability of a chain digger with asymmetric vibrator arrangement. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 57. N1. 9-18.

REFERENCES

1. Chernoivanov V.I., Ezhevskiy A.A., Krasnoshchekov N.V., Fedorenko V.F., Zhalnin E.V., Buklagin D.S., Fribus V.K., Gol'tyapin V.Ya., Kuz'min V.K., Izmaylov A.Yu., Zhilkibaev M.Sh., Hlepit'ko M.N. Monitoring tekhnicheskogo urovnya i nadezhnosti osnovnykh vidov sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Monitoring of the technical level and reliability of the main types of agricultural machinery]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2009. 108 (In Russian).

2. Krasnoshchekov N.V., Kiryushin V.I., Lipkovich E.I0,. et al. Innovatsii v mashinoispol'zovanii v APK Rossii [Machine use innovations in the agro-industrial complex of Russia]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2008 . 435 (In Russian).

3. 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).

4. Petrishchev N.A., Kostomahhin 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 onitoring system and operation rules for increasing operational tractor reliability]. *Tekhnicheskiy servis mashin*. 2020. N3(140). 12-20 (In Russian).

5. 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).

6. Izmaylov A.Yu., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., et al. Konceptsiya modernizatsii parka sel'skokhozyaystvennykh traktorov Rossii na period do 2020 goda [The concept of agricultural tractor fleet modernization in Russia for the period up to 2020]. Moscow: VIM. 2013. 88 (In Russian).

7. Dorokhov A.S. Effektivnost' otsenki kachestva sel'skokhozyaystvennoy tekhniki i zapasnykh chastey [Efficiency of assessing the quality of agricultural machinery and spare parts]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet im. V.P. Goryachkina*. 2015. N1(65). 31-35 (In Russian).

8. Dorokhov A.S., Korneev V.M., Kataev Yu.V. Tekhnicheskiy servis v sisteme inzhenerno-tekhnicheskogo obespecheniya APK [Technical service in the system engineering and technical support of agroindustrial complex]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2020. N9. 12-18 (In Russian).

9. Dorokhov A.S. Kachestvo mashinostroitel'noy produktsii: real'nost' i perspektivy [The quality of engineering products: reality and prospects]. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2005. N8. 2-4 (In Russian).

10. Dorokhov A.S., Semeykin V.A. Vkhodnoy kontrol' kachestva produktsii mashinostroeniya [Incoming quality control of mechanical engineering production]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2013. N11. 22-23 (In Russian).

11. Abdazimov A.D., Omonov N.N., Radjabov S.S. Automation of agrotechnical assessment of cotton harvesting machines. *Journal of physic: conference series*. 2019. 032001 (In English).

12. Macpherson J., De Wardt J., Laing M., Zenero N. Data ownership for drilling automation – managing the impact. IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, Fort Worth. Texas, USA. March 2016. Paper Number: SPE-178787-MS (In English).

13. Aksenov A.G., Izmailov A.Yu., Dorokhov A.S., Sibirev A.V. Onion bulbs orientation during aligned planting of seed-onion using vibration-pneumatic planting device. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 55. N2. 63-70 (In English).

14. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Dorokhov A.S. Results of laboratory investigations of soil screening ability of a chain digger with asymmetric vibrator arrangement. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 57. N1. 9-18 (In English).

Конфликт интересов.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest.
The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:
Костомахин М.Н. – научное руководство, разработка алгоритмов работы.
Петрищев Н.А. – анализ литературных данных, обоснование технических требований к прототипам.
Саяпин А.С. – разработка прототипов счетчиков-индикаторов.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:
Kostomakhin M.N. – scientific supervision, development of work algorithms.
Petrishchev N.A. – literature analysis, substantiation of technical requirements for the prototypes.
Sayapin A.S. – development of counter-indicator prototypes.
The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию **The paper was submitted to the Editorial Office on** **23.08.2021**
Статья принята к публикации **The paper was accepted for publication on** **02.09.2021**