

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СИЛОВЫХ ПЕРЕДАЧ И ХОДОВЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

QUALITY CONTROL OF POWER TRANSMISSIONS AND UNDERCARRIAGE SYSTEMS USING DIGITAL TECHNOLOGY

Н.А. ПЕТРИЩЕВ¹, к.т.н.
А.В. ЛАВРОВ¹, к.т.н.
Н.С. КРЮКОВСКАЯ¹
А.О. КАПУСТКИН¹
А.С. САЯПИН¹
А.П. ПОСПЕЛОВ¹
В.И. ПРЯДКИН², д.т.н.

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Москва, Россия

² Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия, robotchch@gmail.com

N.A. PETRISHCHEV¹, PhD in Engineering
A.V. LAVROV¹, PhD in Engineering
N.S. KRYUKOVSKAYA¹
A.O. KAPUSTKIN¹
A.S. SAYAPIN¹
A.P. POSPELOV¹
V.I. PRYADKIN², DSc in Engineering

¹ Federal State Budgetary Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», Moscow, Russia

² G.F. Morozov Voronezh State Forestry University, Voronezh, Russia, robotchch@gmail.com

Нарушение технического состояния трансмиссии и ходовых систем приводит к эксплуатационным и экономическим издержкам, нарушению технических показателей мобильных энергосредств, заложенных заводом-изготовителем. Также это оказывает негативное влияние на окружающую среду. В настоящее время лишь единичные отечественные и зарубежные компании оснастили выпускаемую технику цифровыми системами контроля технического состояния силовых передач и ходовых систем, да и то по одному или нескольким параметрам. Это системы, измеряющие уровень буксования колес трактора, температуру и давление в шинах, углы наклона трактора, а также системы, контролируемые оптимальность преобразования мощности двигателя в тяговое усилие. Основная же масса тракторов не имеет никакой системы контроля в процессе эксплуатации, и диагностика узлов и агрегатов трансмиссии и ходовых систем осуществляется трактористом «на глаз», опираясь на свой опыт и добросовестность. Это достаточно часто приводит к злостным нарушениям, и техника работает в режимах и при нагрузках, близких к возникновению отказа. Поэтому необходимо внедрение в конструкцию техники современной комплексной системы контроля состояния силовых передач и ходовых систем, основанную на применении цифровых технологий. В качестве эксперимента был разработан макетный образец такой системы контроля, включающий различные датчики, как встроенные, так и внешние, аппаратную часть микроконтроллерной платформы Arduino, а также широкодоступные приложения для смартфона, позволяющие измерять и выводить на его экран необходимую информацию о текущем состоянии агрегатов и узлов. Смартфон при этом предполагается крепить в кабине трактора. Были проведены испытания макетного образца, которые можно считать успешными. Поэтому в перспективе планируется расширить его функциональность и дополнить элементами.

Ключевые слова: контроль качества эксплуатации, контрольно-диагностическое оборудование, плодородие почвы, буксование, трансмиссия, ходовая часть.

Violation of the technical condition of the transmission and running systems leads to operational and economic costs, violation of the technical indicators of mobile power tools laid down by the manufacturer. It also has a negative impact on the environment. At present, only a few domestic and foreign companies have equipped the equipment they produce with digital systems for monitoring the technical condition of power transmissions and running systems, and even then by one or several parameters. These are systems that measure the level of wheel slippage of the tractor, the temperature and pressure in the tires, the angle of inclination of the tractor, as well as the systems that control the optimality of the conversion of engine power to tractive force. The main mass of tractors has no control system during operation and diagnostics of components and assemblies of the transmission and chassis systems is carried out by the tractor operator «by eye», based on his experience and fairness. This often leads to serious violations and equipment operates in modes and loads close to failure. Therefore, it is necessary to introduce into the design of modern technology integrated system for monitoring the state of power transmission and running systems, based on the use of digital technologies. As an experiment, a prototype model of such a control system was developed, including various sensors, both embedded and external, the hardware of the Arduino microcontroller platform, as well as widely available applications for the smartphone, allowing to measure and display on the screen the necessary information about the current state of the units and components. The smartphone is supposed to be mounted in the cab of the tractor. The prototype was tested and can be considered successful. Therefore, in the future it is planned to expand its functionality and add elements.

Keywords: quality control of operation, control and diagnostic equipment, soil fertility, skidding, transmission, running gear.

Введение

При нарушении технического состояния трансмиссии и ходовых систем сельскохозяйственных мобильных энергетических средств (МЭС):

- снижаются их экологические и технические характеристики, заложенные заводом-изготовителем;

- появляются эксплуатационные издержки (увеличение вероятности отказов и аварий, рост потребления горюче-смазочных материалов и т.п.);

- появляются экономические издержки (увеличение продолжительности, снижение качества и повышение себестоимости выполнения работ);

- нарушаются экологические показатели (переуплотнение почвы, увеличение количества выбросов отработанных газов в атмосферу) [1].

При использовании колесных тракторов на мягких и влажных почвах наблюдается повышенное буксование. При этом разрушается структура почвы, что приводит к эрозии и потере верхнего плодородного слоя, снижаются производительность и тяговые характеристики трактора, увеличивается расход топлива. Кроме этого, буксование оказывает негативное влияние на техническое состояние трактора. Поэтому ранней весной применение колесных тракторов на полевых работах затруднено или вообще не представляется возможным. Уровень буксования также оказывает влияние на параметры движения агрегатов при различных видах работ и на ресурс рабочих органов.

Для экспериментального определения величины буксования МЭС (при отсутствии экспериментальных средств контроля) считают число оборотов его ведущих колес с тяговой нагрузкой и без нее (на холостом ходу) на мерном участке поля. Однако при этом не учитываются особенности структуры почвы и рельефа местности, что ограничивает применение этого метода на практике.

Цель исследования

Целью проведенных исследований является обоснование необходимости внедрять в технику отечественного производства современные цифровые системы контроля технического состояния силовых передач и ходовых систем.

Обсуждение результатов исследования

С целью определения величины буксования при тяговых испытаниях в исследовательских целях также применяется дополнительное независимое путеизмерительное колесо. Его используют для получения значений действительной скорости и пройденного пути [2, 3, 4, 5, 6].

В табл. 1 представлены значения допустимой величины буксования согласно агротехнологическим требованиям в зависимости от типа движителя трактора.

Таблица 1

Значения допустимой величины буксования согласно агротехнологическим требованиям в зависимости от типа движителя трактора

Тип движителя трактора	Допустимая величина буксования, %
Колесный 4X4	16
Колесный 4X2	14
Гусеничный	5

На тракторе КАМАЗ СХ75 была внедрена цифровая система контроля буксования для оперативного реагирования водителем. Она представляет собой цифровой дисплей (рис. 1) и датчик определения фактической скорости движения трактора относительно поверхности грунта. Ее применение способствует снижению перерасхода семян при посеве, а также уменьшению количества избыточных удобрений и химических веществ против сорняков и вредителей. На дисплее отображается скольжение

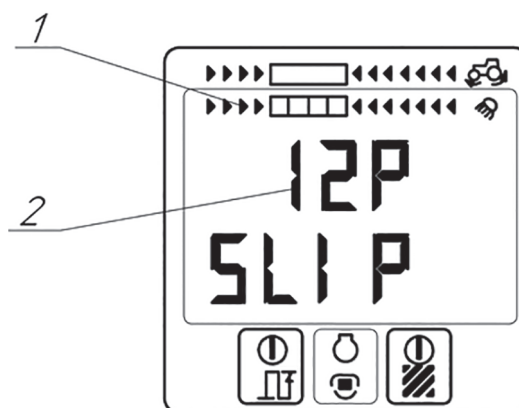


Рис. 1. Индикатор скольжения колес трактора КАМАЗ СХ75:

- 1 – столбчатая диаграмма скольжения колес;
- 2 – числовое значение скольжения колес в процентах

колес в режиме реального времени при движении трактора в виде столбиковой диаграммы, содержащей 15 сегментов. Каждый сегмент соответствует двухпроцентному скольжению. Таким образом, диапазон определения буксования составляет от 0 до 30 %. Кроме этого, величину скольжения колес можно определить в численном виде. Это значение отображается в центре дисплея в процентах.

Согласно рекомендациям производителя трактора КАМАЗ СХ75, допустимым значением скольжения колес является 9–16 %. Буксование свыше этих значений приводит к потерям мощности трактора до 30 % [7, 8].

Некоторые производители МЭС применяют балластирование для снижения буксования. Однако при этом увеличивается сопротивление качению из-за погружения шин в почву, под действием добавленного веса, что также приводит к потерям мощности двигателя и увеличению расхода топлива. Так, при погружении колес в грунт на 1 см увеличение расхода топлива составляет 10 %. Поэтому компания Fendt производит тракторы, сочетающие малый вес и высокую энерговооруженность для снижения глубины колеи и минимизации «эффекта бульдозера» (рис. 2). Кроме этого, компанией Fendt была внедрена система элек-

тронного управления, преобразующая мощность двигателя в тяговое усилие наиболее оптимально и позволяющая эффективно передавать мощность двигателя на рабочие орудия, снижать повреждения почвы и экономить топливо.

Для увеличения площади контакта колес с почвой и снижения глубины колеи компания использует функцию VarioGrip, позволяющую дистанционно изменять уровень давления в шинах [9].

Стоит отметить, что эта технология была реализована на отечественной колесной технике военного назначения более полувека назад. Однако из-за особенностей конструкции ведущих мостов отечественных тракторов в них подобная система пока не применяется. В табл. 2 представлены рекомендуемые значения давления в шинах в зависимости от типа работ [10].

При отсутствии системы контроля давления в шинах и превышения предельных углов наклона трактора (крена и тангажа) в режиме реального времени может возникнуть кинематическая рассогласованность передачи крутящего момента на движители, что способствует дополнительным перегрузкам трансмиссии и ходовой системы и, как следствие, снижению

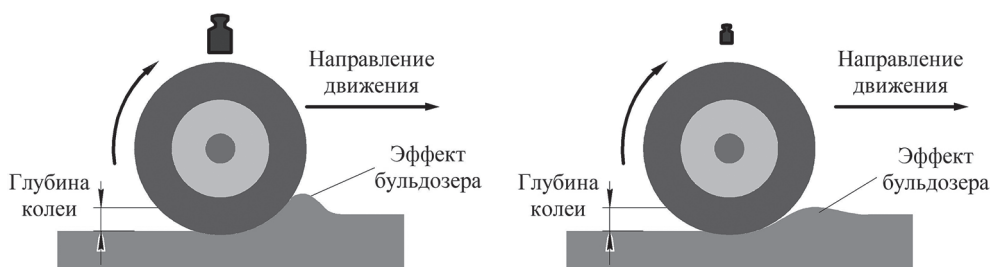


Рис. 2. Минимизация «эффекта бульдозера» за счет использования электронного управления трансмиссией и ходовой системой

Таблица 2

Рекомендуемые значения давления в шинах в зависимости от типа работ [10]

Трактор	Сельскохозяйственные работы		Транспортные работы	
	$P_{ш1}$, МПа	$P_{ш2}$, МПа	$P_{ш1}$, МПа	$P_{ш2}$, МПа
Т-25	0,14	0,08	0,34	0,20
Т-16М	0,14	0,08	0,34	0,20
Т-40М	0,14	0,10	0,30	0,16
МТЗ-80	0,14	0,12	0,25	0,17
МТЗ-82	0,12	0,08	0,25	0,16
Т-150К	0,12	0,10	0,16	0,12
К-701	0,11	0,11	0,12	0,12

их ресурса и преждевременному выходу из строя. Кроме того, отсутствие системы контроля превышения предельных углов наклона трактора приводит к нарушению техники безопасности и «масляному голоданию» узлов трансмиссии и двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в связи с нарушением стабильности поступления масла из поддона картера. В результате поверхности фрикционных дисков, дифференциалов главных передач и др. локально перегреваются, приводя к нарушению допусков и посадок сопрягаемых деталей, изменению геометрии, свойств применяемых материалов и рабочей жидкости, нарушению теплового баланса работы агрегата, образованию лаковых и оксидных пленок. Лаковые и оксидные пленки способствуют снижению коэффициента трения фрикционов, загрязнению фильтроэлементов, ухудшают теплопередачу. Все это приводит к изменению свойств материалов, заложенных производителем, таких как твердость, шероховатость, коэффициент трения и т.п. На рис. 3 показаны анализ цветов побежалости и определение зон минимального и максимального локального перегрева вала автоматической коробки перемены передач (АКПП).

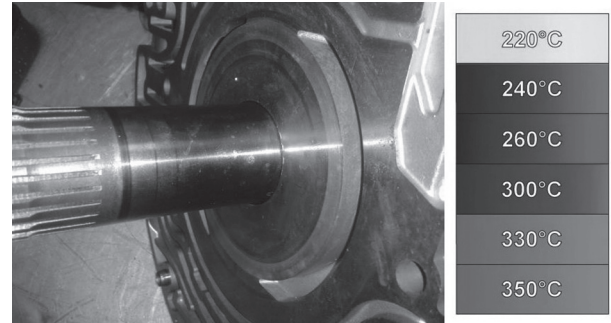


Рис. 3. Определение зон минимального и максимального локального перегрева вала АКПП на основе анализа цветов побежалости

Компания AMAZONE рекомендует контролировать температуру в шинах, так как изменение температуры в одной из шин в процессе движения может быть связано с проблемами в ходовой или тормозной системе.

Таким образом, применение цифровых технологий для контроля технического состояния силовых передач и ходовых систем МЭС позволяет предупредить их отказы в случае зафиксированной угрозы эксплуатации при аномальных режимах. Учитывая это, разработан макетный образец системы контроля текущего состояния агрегатов (рис. 4) силовых передач и ходовых систем. Он включает в себя различ-



Рис. 4. Макетный образец системы контроля силовых передач

ные датчики, как встроенные, так и внешние, в том числе с использованием Bluetooth Low Energy (BLE), аппаратную часть микроконтроллерной платформы Arduino, а также широкодоступные приложения для смартфона, устанавливаемого в кабине трактора [11].

Так, для контроля температуры и давления в шинах трактора применялись набор BLE-датчиков и бесплатное приложение к смартфону BLE TMPS (рис. 5, а). С использованием показаний, отображаемых на экране смартфона и с учетом режима работы (табл. 2), оператор может оперативно настроить и проконтролировать состояние шин на соответствие требованиям завода-производителя.

С помощью приложения для смартфона Inclinometer, speedometer free определялся крен и тангаж. При достижении критического значения углов оператор получал сигнал (рис. 5, б).

Для определения линейных и угловых ускорений трактора при разгоне, торможении, рывках, галошировании при буксовании использовали приложение Sensor kinetics pro.

Оно позволяет просматривать и сохранять данные гироскопа, акселерометра и информацию с других встроенных в смартфон датчиков (рис. 5, в), отправлять информацию на электронную почту пользователя через интернет. При этом файлы данных возможно открыть в любой программе электронных таблиц.

Конечно, предложенный макетный образец системы контроля силовых передач и ходовых систем пока еще не совершенен, и требуются дальнейшие работы и исследования в этом направлении. Однако, очевидно, что применение современных цифровых систем контроля позволит повысить надежность, эргономичность и экономичность выпускаемой техники отечественного производства. В перспективе представленный макетный образец системы контроля планируется дополнить элементами, позволяющими контролировать уровень нагрузки на оси МЭС, разницу по глубине колеи, состояние воздушного фильтра ДВС, микроклимата в кабине, индикация и предупреждение о препятствии на расстоянии до 20 метров.

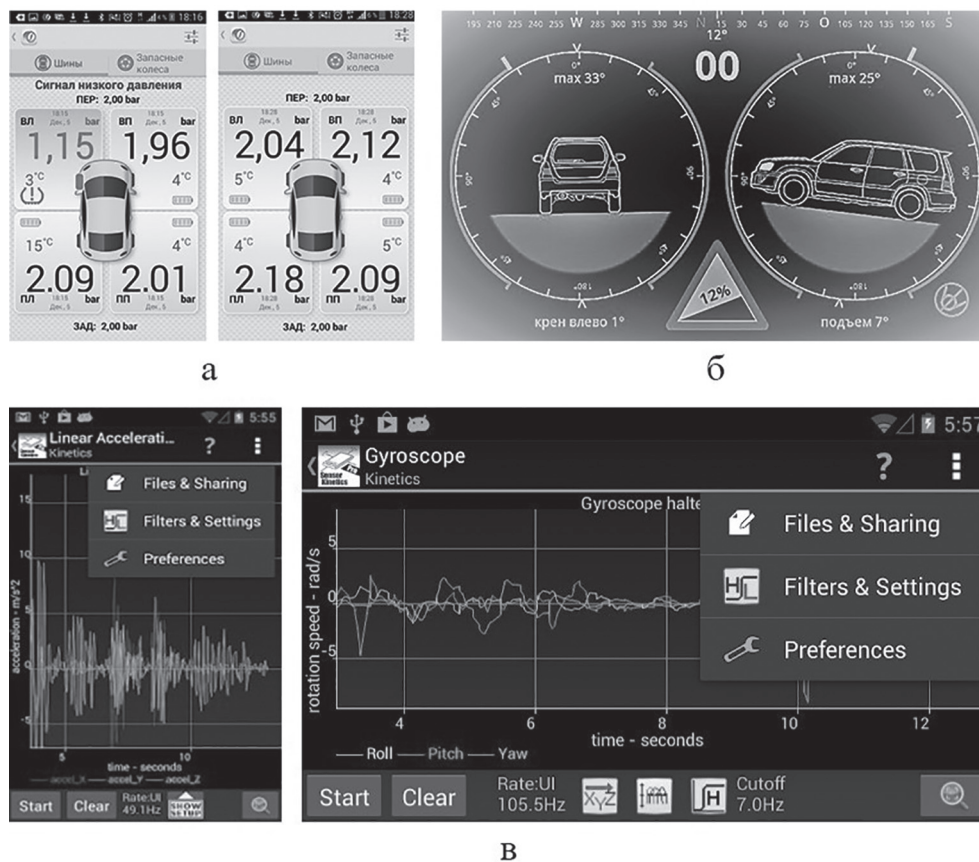


Рис. 5. Показания на экране смартфона:

а – контроль температуры и давления в шинах; б – определение углов крена и тангажа;

в – визуализация процесса при оценке линейных и угловых ускорений

Выводы

При диагностировании узлов и агрегатов силовых передач и ходовых систем МЭС в процессе технического обслуживания все большее значение приобретают работы по выявлению их фактического состояния. Однако узлы и агрегаты силовых передач и ходовых систем мало приспособлены к проведению диагностики, что оказывает влияние на достоверность полученных данных, и возникает необходимость проведения дополнительных сервисных воздействий.

Методика комплексной оценки качества эксплуатации и технического состояния силовых передач и ходовых систем для конкретных условий и режимов эксплуатации (соблюдение норм техники безопасности, соответствие техническим требованиям и рекомендациям заводов-изготовителей МЭС, соблюдение агротехнических требований и регламентов организации, использующей МЭС) в настоящее время отсутствует.

Контроль качества силовых передач и ходовых систем в процессе эксплуатации отечественной техники осуществляется исключительно трактористом-машинистом исходя из его опыта и добросовестности, что порою приводит к злостным нарушениям в процессе эксплуатации. Агрегаты трансмиссии и ходовой части работают в режимах, близких к отказу.

Для исключения аварийных условий эксплуатации требуется внедрять в технику отечественного производства современные цифровые системы контроля технического состояния силовых передач и ходовых систем, а также сигнализирующие устройства для предупреждения оператора о необходимости изменения стиля вождения и режимов эксплуатации.

Литература

1. Дорохов А.С., Семейкин В.А. Входной контроль качества продукции машиностроения // Сельский механизатор. 2013. № 11. С. 22–23.
2. Кузнецов Н.Г., Гапич Д.С., Ширяева Е.В. К вопросу об определении допустимого коэффициента буксования полноприводного колесного трактора // Известия нижевожского агроинженерного комплекса. 2014. № 2 (34). С. 89–92.
3. Максимов Е.А. Предпосылки для создания устройства для ограничения буксования двигателей трактора // Сборник научных трудов СЗНИИМЭСХ. 1999. № 70. С. 22–26.
4. Годжаев З.А., Измайлов А.Ю., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Русанов А.В. Исследование давления колесного движителя на почву с учетом характеристики шины // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 1. С. 5–10.
5. Коновалов Д.Н., Коновалова М.В. Анализ методов улучшения тягово-сцепных качеств и снижения буксования колесных движителей мобильных сельскохозяйственных агрегатов // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2017. Т. 39. С. 1461–1465. URL: <http://e-koncept.ru/2017/970619.htm> (дата обращения 14.09.2018).
6. Новиков В.С. Методика расчета почворезущих рабочих органов на долговечность // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ, серия «Агроинженерия». 2008. № 2. С. 87–99.
7. Петровский Д.И., Петрищев Н.А. К вопросу обеспечения долговечности плуга // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 127. С. 184–189.
8. Трактор Камаз CX75. Индикатор скольжения колес [Электронный ресурс]. URL: http://cinref.ru/avtomobili/Kamaz/110_traktor_kamaz_cx75/015.htm (дата обращения 15.09.2018).
9. Качество сцепления и защита почвы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fendt.com/ru/3936.html> (дата обращения 15.09.2018).
10. Савочкин В.А. Тяговый расчет трактора. М.: МГТУ «МАМИ», 2001. 48 с.
11. Петрищев Н.А., Хисметов Н.З., Саяпин А.С. Применение инженерных приложений мобильных устройств при сервисе сельскохозяйственной техники // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2016. № 4. С. 17–24.

References

1. Dorohov A.S., Semejkin V. A. Input quality control of engineering products. Sel'skij mekhanizator. 2013. No 11, pp. 22–23 (in Russ.).
2. Kuznecov N.G., Gapich D.S., SHiryayeva E.V. The question of determining the permissible coefficient of slipping of an all-wheel-drive wheeled tractor. Izvestiya nizhnevolzhskogo agroinzhenernogo kompleksa. 2014. No 2 (34), pp. 89–92 (in Russ.).
3. Maksimov E.A. Prerequisites for creating a device for limiting the slipping of the tractor thrusters. Sbornik nauchnyh trudov SZNIIMENSKH. 1999. No 70, pp. 22–26 (in Russ.).
4. Godzhaev Z.A., Izmajlov A.YU., SHEvcov V.G., Lavrov A.V., Rusanov A.V. Study of the pressure of the wheel propulsion on the soil, taking into account the characteristics of the tire. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2016. No 1, pp. 5–10 (in Russ.).

5. Konovalov D. N., Konovalova M. V. Analysis of methods for improving the traction characteristics and reducing the slipping of the wheel propulsion of mobile agricultural units. Nauchno-metodicheskij ehlektronnyj zhurnal «Koncept». 2017. Vol. 39, pp. 1461–1465 (in Russ.). URL: <http://e-koncept.ru/2017/970619.htm> (data obrashcheniya 14.09.2018).
6. Novikov B.C. Method of calculating the soil-cutting working tools for durability. Vestnik FGOU VPO MGAU, seriya «Agroinzheneriya». 2008. No 2, pp. 87–99 (in Russ.).
7. Petrovskij D.I., Petrishchev N.A. The issue of ensuring the durability of the plow. Trudy GOSNITI. 2017. Vol. 127, pp. 184–189 (in Russ.).
8. Traktor Kamaz SKH75. Indikator skol'zheniya kolyos [Kamaz CX75 tractor. Wheel slip indicator] [EHlektronnyj resurs]. URL: http://cinref.ru/avtomobili/Kamaz/110_traktor_kamaz_cx75/015.htm (data obrashcheniya 15.09.2018).
9. Kachestvo scepniya i zashchita pochvy [Traction quality and soil protection] [EHlektronnyj resurs] URL: <https://www.fendt.com/ru/3936.html> (data obrashcheniya 15.09.2018).
10. Savochkin V.A. Tyagovyj raschet traktora [Traction tractor calculation]. Moscow: MGTU «MAMI» Publ., 2001. 48 p.
11. Petrishchev N.A., Hismetov N.Z., Sayapin A.S. The use of engineering applications of mobile devices in the service of agricultural machinery. Sel'skhozya-jstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. 2016. No 4, pp. 17–24 (in Russ.).