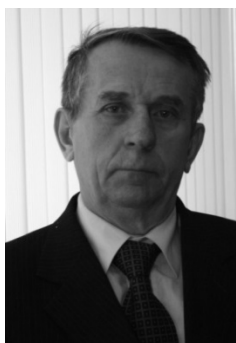


ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 620.178.16; 621,793

**В.П. Лялякин, В.Ф. Аулов, А.В. Ишков, Н.Т. Кривочуров,
В.В. Иванайский, С.Б. Выставкин, Д.А. Цуркан**
V.P. Lyalakin, V.F. Aulov, A.V. Ishkov, N.T. Krivochurov,
V.V. Ivanayskiy, S.B. Vystavkin, D.A. Tsurkan

ОСОБЕННОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ПАЛЬЦЕВ ГУСЕНИЦ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ И СПЕЦИАЛЬНЫХ МАШИН С ОТКРЫТЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ШАРНИРАМИ

THE FEATURES OF WEAR OF TRACK PINS OF AGRICULTURAL TRACTORS AND SPECIAL MACHINES WITH OPEN METAL HINGES

Ключевые слова: гусеничный трактор, специальные машины, открытый металлический шарнир, палец гусеницы, износ, комбинированное упрочняющее покрытие.

На основе анализа взаимодействия деталей трибосопряжения, износа и формы изношенных пальцев гусениц сельскохозяйственных тракторов и специальных машин их поверхность условно разделена на три характерные зоны. В центральной зоне проявляется коррозионно-абразивное изнашивание, а в крайних зонах – абразивное и механическое изнашивание, также в крайних зонах деталь подвергается интенсивной пластической

деформации. Микрометраж изношенных деталей показал, что при наработке до 330 мото-ч механический износ пальца в крайних зонах не превышает 1,21-1,34 мм, а в центральной зоне – 0,71-0,74 мм, что намного меньше принятых сейчас в нормативно-технической и ремонтной документации дефектовочных значений. Полученные результаты показали неэффективность используемого в настоящее время упрочняющего покрытия этой детали, полученного при ТВЧ-закалке. Новая конструкция упрочняющего покрытия должна быть комбинированной и учитывать различные характер и интенсивность износа пальца гусениц в его крайних и центральной зонах.

Keywords: *caterpillar tractor, special machines, open metal hinge, track pin, wear, combined hardening coating.*

Based on the analysis of interaction of tribo-coupling parts, wear and shape of worn track pins of agricultural tractors and special machinery, their surface is divided into three specific areas. In the central area, corrosion abrasion wear occurs, and in extreme areas – abrasion and mechanical wear does; in extreme areas pins are exposed to intensive plastic deformation. Precise measurements of worn parts

shows that after the operating time up to 330 hours, mechanical wear of a track pin in extreme areas does not exceed 1.21-1.34 mm, and in the central area – 0.71-0.74 mm, which is much less than the defect values of the current standards of technical and repair documentation. The results showed the inefficiency of currently used strengthening coating of this part obtained by HF-hardening. The new design of the strengthening coating should be combined and take into account different patterns and intensity of track pin wear in the extreme and central areas.

Лялякин Валентин Павлович, д.т.н., проф., Засл. деятель науки РФ, научный консультант, Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ФГБНУ ГОСНИТИ), г. Москва. Тел.: (499) 174-81-20. E-mail: gosniti@list.ru.

Аулов Вячеслав Федорович, к.т.н., зав. лаб. № 21, Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ФГБНУ ГОСНИТИ), г. Москва. Тел.: (499) 174-83-04. E-mail: gosniti@mail.ru.

Ишков Алексей Владимирович, к.х.н., д.т.н., зав. Барнаульским сектором лаб. № 21 ФГБНУ ГОСНИТИ; проф., каф. «Технология конструкционных материалов и ремонт машин», Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-80. E-mail: olg168@rambler.ru.

Кривочуров Николай Тихонович, к.т.н., доцент, зав. каф. «Технология конструкционных материалов и ремонт машин», Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-80. E-mail: krivochurov_nt@mail.ru.

Иванайский Виктор Васильевич, д.т.н., с.н.с., проф., каф. «Технология конструкционных материалов и ремонт машин», Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-80. E-mail: viv174@bk.ru.

Выставкин Сергей Борисович, ст. преп., каф. «Технология конструкционных материалов и ремонт машин», Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-80. E-mail: vystsergej@yandex.ru.

Цуркан Денис Александрович, подполковник, ст. преп., военно-учебный центр, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск. Тел.: (3812) 65-03-23. E-mail: olg168@rambler.ru.

Lyalakin Valentin Pavlovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Scientific Advisor, All-Russian Research and Technological Institute for Repair and Operation of Agricultural Machinery, Moscow. Ph.: (499) 174-81-20. E-mail: gosniti@list.ru.

Aulov Vyacheslav Fedorovich, Cand. Tech. Sci., Head, Lab. 21, All-Russian Research and Technological Institute for Repair and Operation of Agricultural Machinery, Moscow. Ph.: (499) 174-83-04. E-mail: gosniti@mail.ru.

Ishkov Aleksey Vladimirovich, Cand. Chem. Sci., Dr. Tech. Sci., Head, Barnaul Sector, Lab. 21, All-Russian Research and Technological Institute for Repair and Operation of Agricultural Machinery; Prof., Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-80. E-mail: olg168@rambler.ru.

Krivochurov Nikolay Tikhonovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-80. E-mail: krivochurov_nt@mail.ru.

Ivanayskiy Viktor Vasilyevich, Dr. Tech. Sci., Senior Staff Scientist, Prof., Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-80. E-mail: viv174@bk.ru.

Vystavkin Sergey Borisovich, Asst. Prof., Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-80. E-mail: vystsergej@yandex.ru.

Tsurkan Denis Aleksandrovich, Lieutenant Colonel, Asst. Prof., Military-Training Center, Siberian State Automobile and Highway Academy. Ph.: (3812) 65-03-23. E-mail: olg168@rambler.ru.

Введение

Гусеничные тракторы (ГТ) по-прежнему являются одним из основных видов мобильной сельскохозяйственной техники в АПК России. Это объясняется не только высокой экономической эффективностью их применения, простотой обслуживания и высокой надежностью, но и тем, что в сложных климатических условиях в большинстве регионов страны в весенне-летний и осенний периоды колесными машинами не удается в сжатые сроки провести весь комплекс полевых работ [1, 2]. ГТ используются на селе и для выпол-

нения многих хозяйственных работ (очистка дорог от снега в зимнее время, обустройство «зимников», удаление и транспортировка навоза с ферм, доставка грузов и пр.).

Благодаря низкому давлению на почву гусеничный движитель также является основным и для различной специальной техники в дорожно-строительной, мелиоративной, лесной, горно-добывающей, транспортной и других отраслях народного хозяйства, а также отечественной и зарубежной военной техники [3].

В настоящее время в сельском хозяйстве ГТ представлены главным образом машинами тягового класса 3-4: ДТ-75, ДТ-175, Т-4 и Т-150, ДТ-75 ДТЕ-С4, ДТ-75 ДЕ-С4, ВТ-175, ВТ-200, Агромаш 90ТГ, Т-4, Т-4А-01, ВТ-150, Агромаш 150ТГ, ХТЗ-150-05-09 [4].

На сельскохозяйственных тракторах и специальной технике, как правило, установлены гусеницы с более простыми в обслуживании открытыми металлическими шарнирами (ОМШ), представляющими собой сложное трибосопряжение из нескольких пар проушин соседних траков, соединенных между собой пальцем.

Известно, что при эксплуатации ГТ и специальной техники основными неисправностями гусеничного движителя являются: износ, деформация и поломка пальцев, износ проушин траков, поломка траков, которые устраняются периодической заменой и ремонтом его деталей при проведении плановых ТОиР ходовой части [5]. Но если отверстия проушин, выполненные из стали 110Г13Л, имеют ресурс до 1000 мото-ч и могут быть восстановлены обжатием или заливкой жидким металлом, то изношенные пальцы, выполненные из сталей 50, 50Г, 65Г, после выбраковки, обычно заменяются новыми деталями [6, 7]. Причем на практике ресурс пальцев гусениц редко превышает 300-400 мото-ч.

Для увеличения ресурса пальцев гусениц, выбора и (или) разработки конструкции упрочняющего покрытия и технологии его нанесения вначале необходимо определить качественные и количественные показатели изнашивания этой детали [8].

Целью работы являлось определение особенностей изнашивания пальцев гусениц сельскохозяйственных тракторов и специальных машин с ОМШ.

Экспериментальная часть

Объектом исследований являлись пальцы гусениц (дет. А34-2-01) первого комплекта (84 шт.) трактора ДТ-75М, выбракованные по износу (3,5-4 мм), изменению формы и параметру увеличения длины участка гусеницы из 10 звеньев (1810-1830 мм), после проведения планового ТОиР машины.

Трактор выполнял различные агротехнические мероприятия в составе МТА, а также хозяйственные работы со специализированным навесным оборудованием зимой 2014-2015 и весной-летом 2015 гг. в АО «Учхоз «Пригородное» (г. Барнаул). Общая наработка трактора за указанный период – 330 мото-ч.

Характеристика изнашивающей среды (почвы): тип – чернозем оподзоленный выщелоченный среднемощный, плотность – 1,28-1,32 г/см³, пористость – 50-52%, со-

держание песчаной фракции – до 33-35%, крупной пыли – 22-45%.

Очистку и мойку деталей производили вручную (Лабомид М, 15-20 г/л, 70-80°С). Микрометраж изношенных пальцев осуществляли в местах их максимального/минимального износа микрометром МК-25 (ГОСТ 6507-90). Расчеты статистических параметров надежности (износа) выполняли в программе Microsoft Excel 2010.

Результаты и их обсуждение

Трибосопряжение в ОМШ гусениц с.-х. тракторов, в частности ДТ-75М, и специальных машин относится к сложным [9] (рис. 1) и образуется проушинами 1, 2, 3 одного из траков гусеницы 4, пальцем 7, удерживаемого от выпадения и значительных осевых смещений своей головкой (с одной стороны) и шплинтом 6 с шайбой 5 (с другой стороны), а также проушинами 8, 9, 11, 12 соседнего трака гусеницы 10.

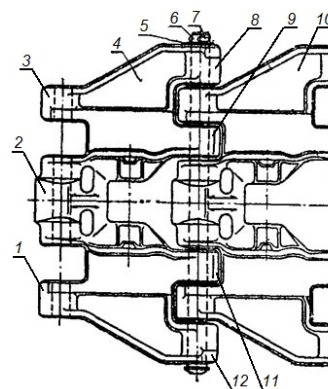


Рис. 1. Открытый металлический шарнир гусеницы трактора ДТ-75М

Таким образом, при нормальной работе ОМШ гладкие цилиндрические сопряжения (ГЦС) между отверстиями проушин траков и пальцем физически разделяют всю его изнашиваемую поверхность на семь участков (по числу проушин) и три зоны (по площади контакта и преобладающему характеру износа), которые следует рассматривать отдельно.

Так, в наиболее протяженной центральной зоне, где палец находится в сопряжении с проушиной 2, его износ и деформация всегда будут меньшими, чем в крайних, периферийных зонах, образованных двумя группами проушин 1, 11, 12 и 3, 8, 9. Это объясняется большей контактной площадью и, соответственно, меньшими удельными нагрузками в ГЦС палец/проушина 2, чем у остальных ГЦС этого трибосопряжения [8].

Кроме того, абразивные частицы почвы преимущественно проникают в зазоры ГЦС палец/проушина 1, 11, 12 и палец/проушина 3, 8, 9, крайних зон, как в более открытые

участки ОМШ. В то же время расположение этих сопряжений по краям гусеницы обеспечивает их более легкое самоочищение от продуктов износа и влаги, в то время как влага, проникшая в зазор ГЦС палец/проушина 2 вместе с частицами почвы и растворенными в ней электролитами, будет вызывать повышенный коррозионный износ центральной зоны [9].

Конструктивно проушина 2, охватывающая центральную зону, всегда относится только к одному из траков, в то время как проушины, охватывающие периферийные зоны, принадлежат соседним тракам, одна, например 1, – одному траку, а две, например 11 и 12, – другому. Это приводит к тому, что палец ОМШ в процессе работы трибосопряжения в его крайних зонах подвергается не только абразивному и механическому изнашиванию, но и пластической деформации, вызванной осевыми и радиальными смещениями соседних траков, неравномерной и знакопеременной нагрузкой, рывками и ударами проушин по пальцу при движении гусеницы, растягивающими силами. Вклад этой деформации в общий износ детали только усиливается несоосностью отверстий проушин соседних траков, вызванной технологией их изготовления и применяемым материалом (сталь 110Г13Л не подвергается механической обработке), ограничивающей возможность пальцев к осевым и, особенно, к радиальным перемещениям.

Все перечисленные факторы приводят к тому, что у изношенных пальцев ОМШ

наблюдается характерный кривошипоподобный вид фигуры износа (рис 2а), а профиль сечения детали из круглого превращается в эллиптический с двумя характеристическими диаметрами d_1 , d_2 – меньший и больший – соответственно, диаметры сечения пальца (рис. 2б).

Также из рисунка 2 видно, что результатом совместного проявления абразивного изнашивания и пластической деформации пальца в его крайних зонах 1, 3 является их выработанная (до 3-5 мм) несоосность с центральной зоной 2, в то время как величина съема металла вследствие механического износа визуально оказывается явно меньше установленных дефектовочных значений.

Для выявления причин формирования характерной фигуры износа и исследования интенсивности изнашивания пальца в различных зонах все детали исследованной партии (84 шт.) были подвергнуты микрометражу, а исходные данные по d_1 , d_2 статистически обработаны и рассчитаны как показатели надежности по плану NUN [10].

Результаты такого расчета для параметра износа d_1 в первой зоне приведены в таблице.

После проведения предварительного анализа данных оказалось, что величины d_1 , d_2 подчиняются закону нормального распределения (ЗНР) с некоторым смещением относительно середины интервала измеренного параметра (в приведенном примере смещение составило $c = -0,075$).

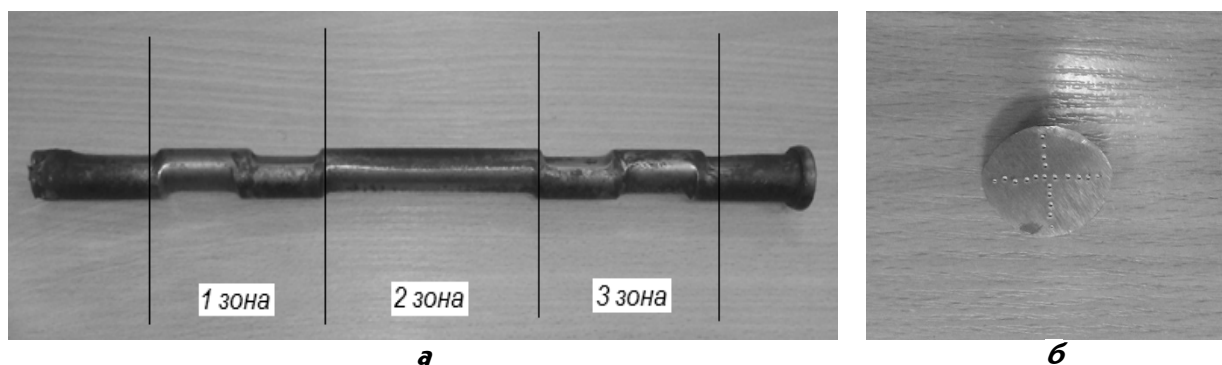


Рис. 2. Вид фигуры износа пальца с обозначением зон (а) и профиль его сечения (б)

Результаты микрометража и расчета величины параметров надежности (износа) для дет. А34-2-01 (n = 84)

Таблица

Зона	Параметр износа, мм			
	d_1	d_2	$\langle d_{90} \rangle$	l_d
1	20,60-20,85	24,25-24,46	22,57	$1,17 \pm 0,04$
2	21,13-21,69	24,30-24,53	23,03	$0,71 \pm 0,03$
3	20,44-20,86	24,05-24,27	22,45	$1,29 \pm 0,05$

Примечание. В колонках d_1 , d_2 приведены границы вариационного ряда параметра; $\langle d_{90} \rangle$ – гамма-процентное значение среднего диаметра пальца при вероятности 90%; l_d – линейный износ по среднему диаметру.

Определение значения параметра изнашивания с заданной вероятностью проводили графически (рис. 3), строя зависимость накопленной опытной вероятности как функции параметра в границах вариационного ряда, или аналитически – проведя аппроксимацию функции $P_{\text{накопл.}} = f(d_i)$ и решая полученное уравнение (встроенными средствами Microsoft Excel 2010).

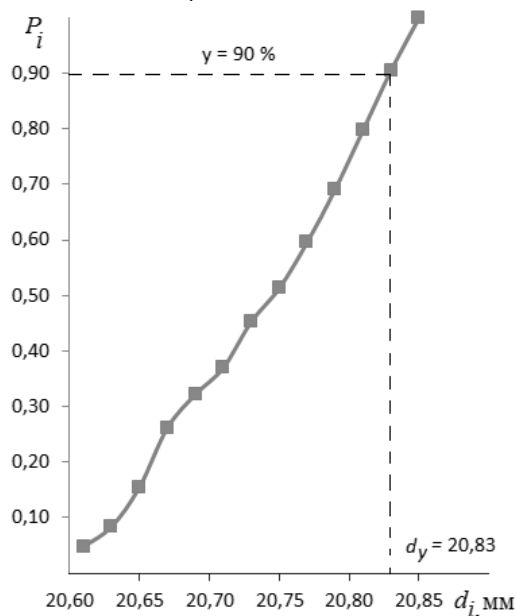


Рис. 3. Определение величины параметра $d_{1,\gamma=90}$ графическим способом

Как следует из данных таблицы, величина среднего диаметра изношенного пальца, проявляющаяся во всем исследованном комплекте деталей с вероятностью 90%, при их наработке в 330 мото-ч, оказалась различной для их крайних и центральных зон. Различаются между собой по зонам и величины линейного износа, рассчитанные исходя из диаметра d неизношенного пальца (по чертежу $\varnothing 24_{0,52}$), что также подтверждает различную природу изнашивания детали в зонах 1, 3 и 2.

Так, механический износ пальца в зонах 1, 3 не превышает 1,21-1,34 мм, а в зоне 2 – 0,71-0,74 мм, что намного меньше дефектовочных значений (3,5-4 мм). Кроме того, интенсивность изнашивания детали в центральной зоне, где оно имеет сложную, коррозионно-абразивную природу, оказалась еще в 1,6-1,8 ниже, чем по краям пальца, охватываемых проушинами соседних траков и подвергаемых деформации.

Это в совокупности со значением величины большего диаметра сечения изношенного пальца d_2 , которое во всех зонах превысило номинальный параметр от 0,05 до 0,53 мм, позволяет заключить, что выбраковка пальцев гусениц с ОМШ в основном происходит не вследствие их абразивного или механического изнашивания, а по причине изменения формы деталей в крайних зонах под действием

сложных пластических деформаций, вызванных перемещением проушин соседних траков.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о недостаточной эффективности используемой в настоящее время конструкции упрочняющего покрытия пальцев гусениц с.-х. тракторов и специальных машин, полученного при ТВЧ-закалке.

Новая конструкция упрочняющего покрытия должна учитывать как различные характер и интенсивность износа пальца гусениц в крайних и центральной зонах, так и преобладание пластической деформации над износом в крайних зонах. То есть упрочняющее покрытие, возможно, и сам материал детали должны иметь различные свойства на ее различных участках (элементах) поверхности – быть комбинированными [11].

Выводы

1. Проведен анализ работы сложного трибосопряжения – открытого металлического шарнира гусениц сельскохозяйственных тракторов и специальной техники, в результате которого вся изнашивающаяся поверхность пальца гусеницы была разделена на три характерных зоны: крайние 1, 3 и центральную 2.

2. В центральной зоне пальца обнаружены признаки коррозионно-абразивного изнашивания, а в крайних, периферийных зонах – абразивного-механического изнашивания. При этом крайние зоны детали испытывают сложные пластические деформации, вызванные перемещением проушин соседних траков.

3. Установлено, что величины характеристических диаметров d_1 , d_2 эллиптического сечения и гамма-процентного среднего диаметра $\langle d_{90} \rangle$ изношенных пальцев в партии деталей подчиняются закону нормального распределения, причем механический износ пальца с наработкой до 330 мото-ч в зонах 1, 3 не превышает 1,21-1,34 мм, а в зоне 2 – 0,71-0,74 мм, что намного меньше принятых дефектовочных значений (3,5-4 мм).

4. В качестве дефектовочного параметра пальцев гусениц предложено использовать не величину их изнашивания, а изменение формы детали в крайних зонах.

Библиографический список

1. Курасов В.С., Трубилин Е.И., Тлишев А.И. Тракторы и автомобили, применяемые в сельском хозяйстве: учебное пособие. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2011. – 132 с.
2. Юферев С.С. Использование гусеничных тракторов в агропромышленном комплексе // Технические науки в России и за рубежом: матер. III Междунар. науч. конф. (г. Москва, июль 2014 г.). – М.: Буки-Веди, 2014. – С. 100-105.

3. Шадов Б.Н., Стамбровский А.С. Ховая часть БМП, БТР и легких танков // Зарубежная военная техника. – 1983. – Сер. III. – Вып. 27. – С. 32-35.

4. Елисеев А. Г. Обзор состояния рынка гусеничных с.-х. тракторов в Российской Федерации // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 3. – С. 6-8.

5. Гладков Г.И., Петренко А.М. Тракторы. Устройство и техническое обслуживание. – М.: Academia, 2011. – 256 с.

6. Степанов В.А. Ремонт ходовой части гусеничных тракторов. – М.: Колос, 1971. – 127 с.

7. ОСТ 23.1.165-86. Цепи гусеничные сельскохозяйственных тракторов. Общие технические условия.

8. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника): справочник / под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

9. Иванайский В.В., Ишков А.В., Кривочуров Н.Т., Шайхудинов А.С. Триботехника, надежность и работоспособность технических систем. Ч. 1. Трение и изнашивание: учебное пособие. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2016. – 70 с.

10. РД 50-690-89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным.

11. Соловьев С.А., Лялякин В.П., Аулов В.Ф., Ишков А.В., Иванайский В.В., Кривочуров Н.Т., Соколов А.В., Schwamm V. Комбинированные упрочняющие покрытия для долот анкерных сошников сеялки Amazone // Вестник АПК Ставрополя. – 2015. – № 1(17). – С. 73-79.

2. Yuferev S.S. Ispol'zovanie gusenichnykh traktorov v agropromyshlennom komplekse // Tekhnicheskie nauki v Rossii i za rubezhom: materialy III-ei mezhdunar. nauch. konf. (g. Moskva, iyul' 2014 g.). – М.: Buki-Vedi, 2014. – S. 100-105.

3. Shadov B.N., Stambrovskii A.S. Khovaya chast' BMP, BTR i legkikh tankov // Zarubezhnaya voennaya tekhnika. – 1983. – Ser. III. – Vyp. 27. – S. 32-35.

4. Eliseev A.G. Obzor sostoyaniya rynka gusenichnykh s.-kh. traktorov v Rossiiskoi Federatsii // Traktory i sel'khoz mashiny. – 2010. – № 3. – S. 6-8.

5. Gladkov G.I., Petrenko A.M. Traktory. Ustroistvo i tekhnicheskoe obsluzhivanie. – М.: Academia, 2011. – 256 с.

6. Stepanov V.A. Remont khodovoi chasti gusenichnykh traktorov. – М.: Kolos, 1971. – 127 с.

7. ОСТ 23.1.165-86. Tsepi gusenichnye sel'skokhozyaistvennykh traktorov. Obshchie tekhnicheskie usloviya.

8. Trenie, iznos i smazka (tribologiya i tribotekhnika): spravochnik / pod red. A.V. Chichinadze. – М.: Mashinostroenie, 2003. – 576 с.

9. Ivanaiskii V.V., Ishkov A.V., Krivochurov N.T., Shaikhudinov A.S. Tribotekhnika, nadezhnost' i rabotosposobnost' tekhnicheskikh sistem. Ch. 1. Trenie i iznashivanie: uchebnoe posobie. – Barnaul: RIO AGAU, 2016. – 70 с.

10. RD 50-690-89. Metodicheskie ukazaniya. Nadezhnost' v tekhnike. Metody otsenki pokazatelei nadezhnosti po eksperimental'nym danym.

11. Solov'ev S.A., Lyalyakin V.P., Aulov V.F., Ishkov A.V., Ivanaiskii V.V., Krivochurov N.T., Sokolov A.V., Schwamm V. Kombinirovannye uprochnyayushchie pokrytiya dlya dolot ankernykh soshnikov seyalki Amazone // Vestnik APK Stavropol'ya. – 2015. – № 1 (17). – S. 73-79.

References

1. Kurasov V.S., Trubilin E.I., Tlishev A.I. Traktory i avtomobili, primenyaemye v sel'skom khozyaistve: uchebnoe posobie. – Krasnodar: Kubanskii GAU, 2011. – 132 с.

