

УДК 631.372:621.825.6-7

На правах рукописи

Ефимцев Андрей Витальевич

**ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
КАРДАНЫХ ШАРНИРОВ ТРАКТОРОВ JOHN DEERE
В ПОСТГАРАНТИЙНЫЙ ПЕРИОД**

Специальность: 05.20.03 – Технологии и средства технического
обслуживания в сельском хозяйстве

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Майский - 2016

Работа выполнена на кафедре технической механики и конструирования машин Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина» (ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ).

Научный руководитель **Пастухов Александр Геннадиевич**,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
Белгородский ГАУ, заведующий кафедрой
технической механики и конструирования машин

Официальные оппоненты: **Дегтярев Михаил Григорьевич**,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
Орловский ГАУ, профессор кафедры технологии
конструкционных материалов и организации
технического сервиса

Кулаков Константин Викторович,
кандидат технических наук, ФГБОУ ВО РГАЗУ,
доцент кафедры надежности и ремонта машин им.
И.С. Левитского

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Всероссийский научно-
исследовательский технологический институт
ремонта и эксплуатации машинно-тракторного
парка» (ФГБНУ ГОСНИТИ)

Защита состоится «07» октября 2016 г. в 10.00 на заседании диссертационного
совета Д 220.043.14 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный
аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127550,
г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел/факс: 8 (499) 976-21-84.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени
Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет - МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета
www.timacad.ru.

Автореферат разослан « » августа 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Елена Анатольевна Улюкина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Обеспечение работоспособности зарубежной техники сводится, в основном, к замене изношенных деталей новыми, что приводит к повышенным затратам на ремонт и снижению эффективности ее использования. Затраты на ремонт, сократившегося почти в 2 раза разномарочного парка машин, остаются на уровне 40 млрд. руб. и практически равны затратам на ремонт прежнего (1990-2000 гг.) парка машин. В этой связи Стратегия развития сельского хозяйства России на современном этапе заключается в преобразовании машинно-технологической базы отрасли. Система эффективного использования техники должна разрабатываться на научной базе эффективного технологического агроинженерного менеджмента, способного реализовывать рациональную инженерно-техническую политику.

В механических трансмиссиях 50-70% тракторов применяются карданные шарниры (КШ), являющиеся одними из ответственных узлов, которые в силу специфической нагруженности и условий эксплуатации часто выходят из строя. В кинематических схемах трансмиссий КШ включены последовательно с другими элементами, и, зачастую передают весь поток мощности. Таким образом, задача повышения долговечности КШ за счет совершенствования способов технического обслуживания (ТО) и технических средств диагностирования, обеспечивающих полное использование ресурса шарниров в эксплуатации, является актуальной.

Степень разработанности темы. Изучению влияния технического обслуживания и ремонта (ТОР) на работоспособность сельскохозяйственных тракторов, посвящены исследования М.Н. Ерохина, В.И. Черноиванова, И.Г. Голубева, В.П. Лялякина, С.М. Гайдара и др. В части исследований технологических процессов ТОР агрегатов механических трансмиссий – карданных валов (КВ) и их шарниров известны работы В.М. Михлина, М.Г. Дегтярева, Э.П. Флика, А.Г. Пастухова и др. Применение способов восстановления и поддержания работоспособного состояния агрегатов и оценки их качества исследовали О.Н. Дидманидзе, С.П. Казанцев, А.С. Дорохов, К.В. Кулаков и др. В результате разработаны мероприятия, позволяющие обеспечивать заданный уровень долговечности агрегатов. Однако в процессе эксплуатации зарубежной техники невозможно применение существующих способов технического обслуживания к КШ зарубежного производства, по причинам конструктивных различий, отсутствия информации об условиях эксплуатации и наработке на отказ, предельного значения радиального зазора и обоснованной периодичности ремонтно-обслуживающих воздействий (РОВ).

Цель работы – повышение долговечности карданных шарниров тракторов John Deere 7830 в эксплуатации.

Для достижения цели сформулированы следующие **задачи**:

1) провести анализ мероприятий и технических средств повышения долговечности КШ и разработать способ технического обслуживания КШ с учетом особенностей конструкции и условий эксплуатации;

2) выполнить теоретические и экспериментальные исследования наработки, нагруженности и радиального зазора КШ и разработать методику прогнозирования их долговечности в постгарантийный период;

3) провести производственную апробацию технологического процесса ТО КШ и оценить его технико-экономическую эффективность.

Научная новизна. Выявлено влияние радиального зазора и износа шипов крестовин на техническое состояние КШ типа CR115 до достижения предельного состояния. Исследовано влияние наработки, нагруженности, радиального зазора на долговечность КШ, в связи с этим уточнена математическая модель долговечности КШ в эксплуатации. Разработана методика прогнозирования долговечности КШ с учетом наработки, нагруженности и радиального зазора.

Теоретическая и практическая значимость работы. На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований: разработан технологический процесс ТО КШ (RU 2453451) и обоснованы условия назначения дифференцированных обслуживающих воздействий; усовершенствованы технические средства для проведения диагностирования КШ в лабораторных и эксплуатационных условиях; разработан метод оценки эффективности обслуживающих воздействий КШ путем прогнозирования их долговечности с учетом наработки, нагруженности и радиального зазора.

Методология и методы исследования. Поставленные задачи решены путем проведения теоретических и экспериментальных исследований на основе анализа достижений в области технического обслуживания КШ транспортных и технологических машин. Для решения задач применяли системный анализ, теорию вероятностей, математическую статистику, планирование пассивного эксперимента, усовершенствованные методики и технические средства.

Положения, выносимые на защиту:

- математическая модель долговечности КШ с учетом способа его технического обслуживания;
- результаты статистической оценки предельного состояния КШ по наработке, нагруженности, радиальному зазору и износу;
- методика прогнозирования долговечности КШ при ТО с учетом влияния наработки, нагруженности и радиального зазора в эксплуатации;
- результаты производственной апробации и технико-экономической оценки способа ТО КШ.

Степень достоверности и апробация результатов. При исследованиях параметров и условий эксплуатации КШ использовались апробированные методики, нормативные документы, штатные метрологическое обеспечение и технические средства, программное обеспечение MS Office Excel 2010. Степень достоверности результатов исследований подтверждена статистическими критериями, а относительная погрешность результатов не превышала 11%.

Основные положения и результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на: международных научно-производственных конференциях «Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения» п. Майский, БелГСХА им. В.Я. Горина (2010-2014 гг.); «Научные

проблемы развития ремонта, технического обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей» г. Москва, ГНУ ГОСНИТИ (2009 г., 2013 г.); «Наука и молодежь: новые идеи и решения» г. Волгоград, Волгоградская ГСХА (2010 г.); «Энергосберегающие технологии и техника в сфере АПК» г. Орел, Орловский ГАУ (2011 г.); «Ремонт. Восстановление. Реновация» г. Уфа, Башкирский ГАУ (2012 г.); «Проблемы надежность машин и средств сельскохозяйственного производства» г. Харьков, ХНТУСХ им. П. Василенко (2012 г.); «Инновационные технологии в метрологии, стандартизации и управлении качеством» г. Москва, МГАУ им. В.П. Горячкина (2012 г.); «Перспективы развития технического сервиса в агропромышленном комплексе», г. Москва, МГАУ им. В.П. Горячкина (2012 г.); научном симпозиуме «Энергоэффективность», Высшая техническая школа в Белграде и Общество технической диагностики в Сербии, Белград, Республика Сербия (2013 г.); «Особенности технического и технологического оснащения современного сельскохозяйственного производства», г. Орел, Орловский ГАУ, 2012-2013; «Проблемы механизации и электрификации сельского хозяйства», г. Краснодар, Кубанский ГАУ, 2014; международном молодежном форуме «Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке», г. Харьков, ХНТУСХ им. П. Василенко (2011-2012 г.); на заседаниях кафедры общетехнических дисциплин и технической механики и конструирования машин, п. Майский, БелГСХА им. В.Я. Горина (2010-2014 гг.); Всероссийском конкурсе на лучшую научную работу аспирантов среди ВУЗов Минсельхоза России по программе «УМНИК» г. Белгород (2011-2012 гг.); выставке инновационных разработок и технологических стартапов молодых ученых в рамках XVII Российской агропромышленной выставки «Золотая осень – 2015» Минсельхоза РФ.

По результатам исследований опубликовано 21 печатная работа, в том числе 3 работы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ и патент РФ на изобретение. Общий объем публикаций составляет 4,41 п.л., из них 3,26 принадлежит автору. Результаты исследований внедрены на сервисном предприятии тракторов John Deere ООО «Юпитер 9» и в аграрных предприятиях Белгородской области ЗАО «Краснояржская зерновая компания», ООО «Русагро-Инвест» и ИП Поплавский.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Содержание диссертации изложено на 111 страницах машинописного текста, включая 39 рисунков, 19 таблиц, библиографию из 134 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена общая характеристика работы, актуальность темы, ее теоретическая и практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи повышения долговечности карданных шарниров в эксплуатации» изучены особенности конструкции карданных валов и условия эксплуатации зарубежной техники, проведен анализ поставок зарубежной техники в РФ и в Белгородскую область за последние 10

лет, выполнен обзор и анализ способов и средств повышения долговечности КШ, а также технических средств для их диагностирования.

Разработке основных направлений повышения долговечности узлов и деталей транспортно-технологических машин посвящены работы таких ученых, как М.Н. Ерохина, И.Г. Голубева, С.А. Лапшина, О.Н. Дидманидзе, С.М. Гайдара и др. Исследованиям влияния конструктивно-технологических мероприятий на долговечность КШ посвящены работы В.Я. Аниловича, М.Г. Дегтярева, А.М. Сигаева, Э.П. Флика и др. Существенный эффект в эксплуатации позволяют получить мероприятия системы ТОР и оценки их качества при техническом сервисе КШ, изучением которых занимались С.П. Казанцев, Н.В. Молодык, А.С. Кононенко, А.С. Дорохов, Ю.Н. Даллакян, М.Г. Дегтярев, В.К. Козленко, А.Г. Пастухов и др. Следовательно, разработка эксплуатационных мероприятий, направленных на повышение долговечности КШ на основе реализации перспективного решения по способу ТО путем замены рабочих поверхностей подшипниковых узлов крестовины в сборе является реальным средством увеличения ресурса КШ зарубежного производства.

На основании данного анализа поставлены цель и задачи исследования.

Во второй главе «Теоретические основы повышения долговечности карданных шарниров» обоснована возможность повышения долговечности КШ при их техническом обслуживании, тогда суммарная предельная наработка КШ $L_{h\Sigma}$, ч, с учетом выработки ресурса до и после ТО, будет выражена зависимостью

$$L_{h\Sigma} = L_{h0} \cdot (1 + \Sigma k_{TOi}) = L_{h0} + L_{h0} \cdot \Sigma k_{TOi}, \quad (1)$$

где L_{h0} – долговечность КШ в эксплуатации; Σk_{TO} – суммарный процент увеличения долговечности при проведении ТО, например, путем замены рабочих поверхностей, с учетом кратности ТО i .

Графическая интерпретация выработки ресурса КШ без ТО, в условиях эксплуатации, и с ТО на основе текущего диагностирования по формуле (1) представлена на рисунке 1, где L_0 – долговечность КШ с учетом наработки, рекомендованной заводом-изготовителем; L_H – долговечность КШ до проведения ТО с учетом нагруженности и технического состояния; L_{TO} – долговечность КШ, увеличенная путем применения способа ТО; L_Σ – суммарная наработка.

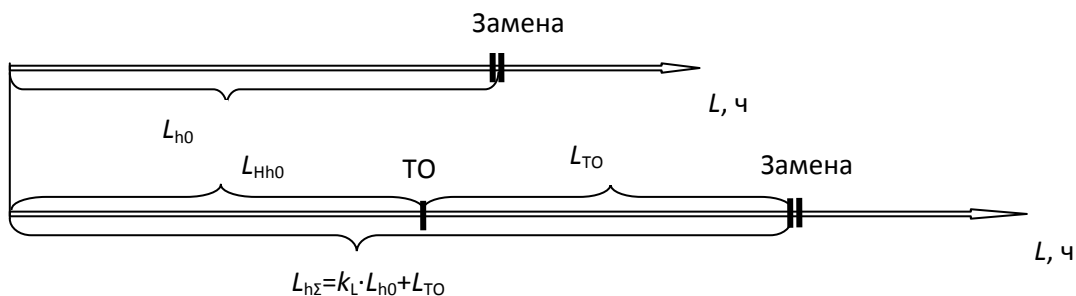


Рисунок 1 – Графическая интерпретация влияния ТО на ресурс КШ

Для оценки наработки до ТО и суммарной наработки после проведения ТО с учетом достижения предельного состояния исходим из следующих соображений:

- ТО проводят при наличии остаточного ресурса, характеризуемого коэффициентом k_L наработки до ТО в процентах от рекомендуемой наработки, тогда наработка КШ до ТО будет равна

$$L_H = k_L \cdot L_{h0}; \quad (2)$$

- с другой стороны, так как $L_{ТО}$ – наработка, полученная путем применения способа ТО, тогда формула суммарной наработки будет иметь вид

$$L_{\Sigma} = L_H + L_{ТО}, \quad (3)$$

тогда с учетом формулы (2) по формуле (3) получаем

$$L_{\Sigma} = k_L \cdot L_{h0} + L_{ТО}. \quad (4)$$

Таким образом, для реализации повышения долговечности при проведении ТО КШ следует установить значение коэффициента наработки до ТО, определить вид и содержание технологического воздействия.

Коэффициент повышения долговечности КШ по результатам проведения ТО будет определяться из формулы

$$k_{дТО} = L_{\Sigma} / L_{h0} = (k_L \cdot L_{h0} + L_{ТО}) / L_{h0}. \quad (5)$$

С целью практической реализации предлагаемого ТО для КШ разработан способ (RU 2453451), заключающийся в том, что крестовину в сборе с подшипниковыми узлами поворачивают относительно оси вращения на 90° (вправо или влево), а затем осуществляют разворот относительно вертикальной оси пары шипов на 180° . В результате обеспечивается положение крестовины и подшипников, при котором неизношенные поверхности шипов и подшипников станут ведущими, т.е. будут воспринимать нагрузку при рабочем движении трактора, а изношенные поверхности шипов и подшипников – ведомыми. При этом наработка до ТО составляет 80-90% от рекомендуемой наработки завода-изготовителя до замены, при этом формулы (4) и (5) примут уточненный вид

$$L_{\Sigma} = (0,8-0,9) \cdot L_{h0} + L_{ТО}, \quad (6)$$

$$k_{дТО} = L_{\Sigma} / L_{h0} = ((0,8-0,9) \cdot L_{h0} + L_{ТО}) / L_{h0}. \quad (7)$$

С целью реализации повышения долговечности КШ с помощью способа ТО выполним анализ его потенциала, что можно представить в развитии двух сценариев получения суммарного ресурса L_{Σ} (рисунок 2):

1) завод-изготовитель рекомендует провести текущее диагностирование при наработке 2000 ч путем визуального осмотра КШ при $L_{НД}$, а затем заменить КШ, если наработка составит 5000 ч (рисунок 2, а), при этом результирующая суммарная наработка будет определяться равенством $L_{\Sigma 1} = L_{НД} + L_{ПД}$, где $L_{ПД}$ – наработка шарнира после диагностирования, и составит рекомендуемые 5000 ч;

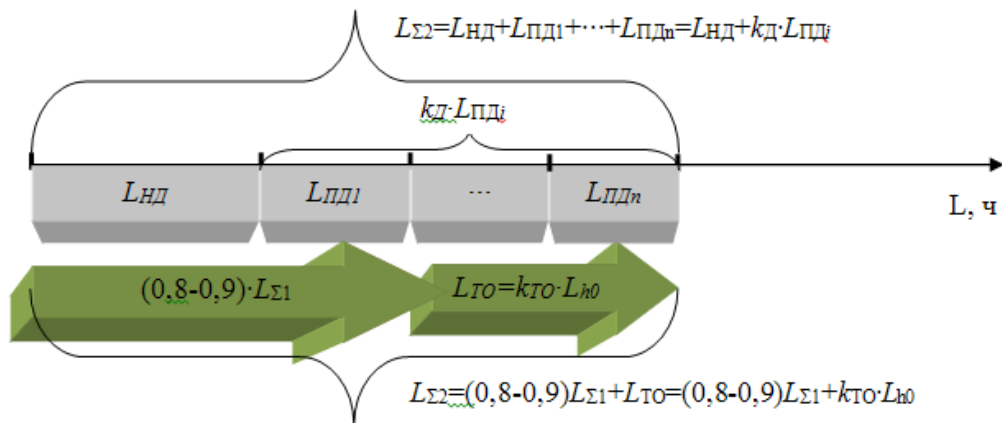
2) предлагается выполнение текущего диагностирования технического состояния КШ по радиальному зазору с учетом профиля нагрузки двигателя и наработки, принятие решения или о продлении эксплуатации КШ до следующего диагностирования, или, при достижении наработки КШ уровня 0,8-0,9 от рекомендуемой заводом-изготовителем, о реализации способа ТО путем замены рабочих поверхностей КШ (рисунок 2, б).

Во втором сценарии количество текущих диагностирований k_d (кратность диагностирования) с периодичностью $L_{пд}$, зависит от момента достижения КШ его предельного состояния по износу рабочей поверхности шипа, устанавливаемой по величине радиального зазора.

$$L_{\Sigma 1} = L_{нд} + L_{пд}$$



а) вариант рекомендуемый заводом-изготовителем



б) предлагаемый вариант с учетом способа ТО и его реализация в эксплуатации

L_{Σ} – суммарный ресурс КШ; $L_{нд}$ – наработка до первого диагностирования; $L_{пд}$ – наработка после диагностирования; k_d – коэффициент кратности диагностирования; $k_{ТО}$ – процент повышения долговечности после ТО; $L_{ТО}$ – наработка после ТО; $L_{н0}$ – нормативная наработка КШ

Рисунок 2 – Сравнение вариантов увеличения долговечности

Необоснованная замена либо неоправданное сокращение периодичности ТО приводит к излишнему расходу материальных средств, а уровень нагруженности узла при этом не учитывается. Условия реальной эксплуатации таковы, что средний фактический уровень нагруженности КШ оказывается ниже 100 %. С целью установления фактической нагруженности КШ предлагается использовать профиль нагрузки двигателя трактора с учетом фактической наработки КШ, тогда формула определения количества энергии затраченного на выполнение фактической работы W_{Φ} , кВт·ч, имеет вид

$$W_{\Phi} = \bar{N}_{\Phi} \cdot L_{\Phi}, \quad (8)$$

где N_{Φ} – фактический средневзвешенный уровень нагруженности КШ, кВт; L_{Φ} – фактические часы работы двигателя, ч.

Для оценки нагруженности КШ используем коэффициент K_w , определяемый в предположении линейной связи затрат энергии и наработки

$$K_w = \frac{W_{\Phi}}{W_H} = \frac{L_H}{L_w}, \quad (9)$$

откуда получаем

$$L_w = L_H / K_w, \quad (10)$$

где L_w – наработка в зависимости от средневзвешенной нагруженности.

В этом случае оценка эффективности ТО характеризуется коэффициентом повышения долговечности при средневзвешенной нагруженности

$$k_{\text{дТО}} = L_{\Sigma} / L_{W}. \quad (11)$$

Периодичность замены рабочих поверхностей КШ $L_{\text{Н}}$ определяется отношением (0,8-0,9) от нормативного периода работы к коэффициенту корректировки K_{W} по формуле

$$L_{\text{Н}} = (0,8-0,9) \cdot L_{\text{н0}} / K_{\text{W}}. \quad (12)$$

Наработка до замены КШ, регламентированная заводом-изготовителем при 100% загрузке составляет $L_{\text{н0}} = 5000$ ч, следовательно, способ ТО необходимо применять при наработке $L_{\text{Н}} = 0,9 \cdot L_{\text{н0}} = 0,9 \cdot 5000 = 4500$ ч (рисунок 2, б).

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложена последовательность и содержание проведения лабораторных и эксплуатационных исследований.

Программа и методика лабораторных исследований КШ, снятых с эксплуатации, содержала измерение радиального зазора на лабораторной установке и оценку износа КШ способом микрометража.

Программа и методика эксплуатационных исследований КШ тракторов JD включала фиксирование параметров наработки, нагруженности и радиального зазора КШ при эксплуатации.

Планирование и выполнение экспериментальных исследований проводили в соответствии с требованиями РД 50-204-87, ОСТ 70.2.8-82 и РД 50-204-87. С целью реализации экспериментальных исследований разработана лабораторная установка и переносной комплект прибора для измерения радиального зазора в КШ, как эксплуатируемых, так и снятых с эксплуатации.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований и их анализ» изложены основные результаты исследований.

В ходе статистической оценки параметров КШ, снятых с эксплуатации, установлено, что параметры предельного состояния КШ составляют: по среднему радиальному зазору - $\bar{\Delta} \pm 3\sigma = 0,274 \pm 0,201$ мм, по средней нагруженности - $\bar{N} \pm 3\sigma = 47,7 \pm 45,1$ кВт, по средней наработке - $\bar{L} \pm 3\sigma = 6649 \pm 6441$ ч.

Анализ данных износа шипов КШ показал, что массив описывается законом распределения Вейбулла ($v=0,8$) в виде

$$F(I) = \frac{1,25}{4,8} \left(\frac{I}{4,8} \right)^{0,25} e^{-\left(\frac{I}{4,8} \right)^{1,25}}, \quad (13)$$

при этом диапазону изменения радиального зазора КШ 0,274-0,475 мм соответствует диапазон износа шипов 3,0-10,3 мкм работоспособных КШ, имеющих остаточный ресурс и подлежащих проведению ТО путем замены рабочих поверхностей, что составляет 8-60%, а доля годных в эксплуатации КШ равна 40-92% (рисунок 3).

Статистика данных по наработке КШ при эксплуатационных наблюдениях имеет следующие характеристики: среднее значение $\bar{L} = 6661$ ч, стандартное отклонение $\sigma = 1697$ ч, коэффициент вариации - $v = 0,66$, что свидетельствует о соответствии теоретическому закону распределения Вейбулла

$$F(L) = \frac{1,55}{2858} \left(\frac{L}{2858} \right)^{0,55} e^{-\left(\frac{L}{2858} \right)^{1,55}} \quad (14)$$

Средняя наработка КШ без ТО составила 6661 ч, при этом видно, что 95% тракторов имеют наработку до 6661 ч от общего количества, и лишь 5% тракторов - с наработкой более 6661 ч (рисунок 4).

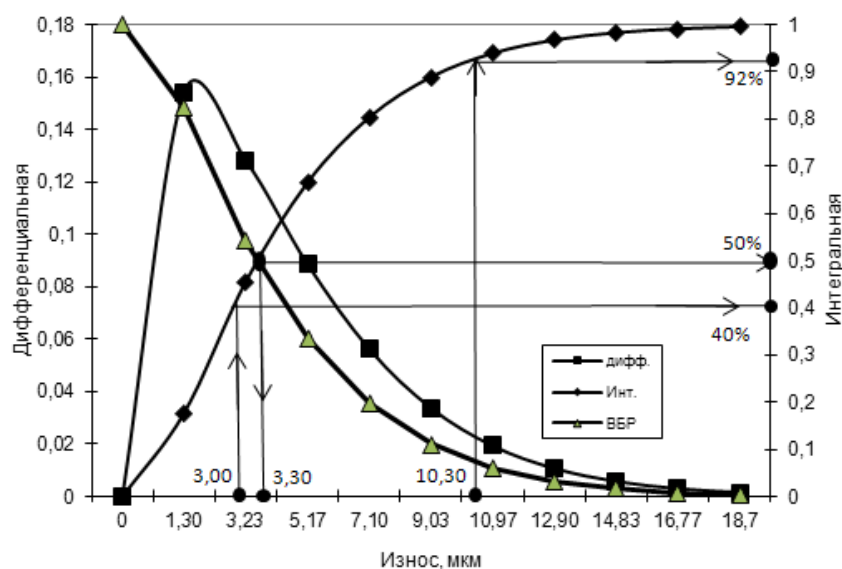


Рисунок 3 – Теоретический закон распределения износа

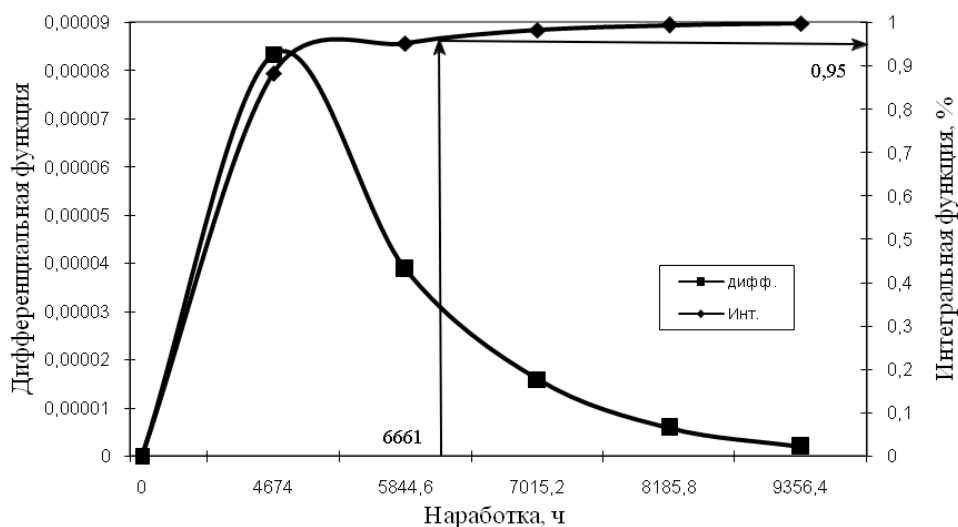


Рисунок 4 – Теоретический закон распределения наработки

Выборка данных по нагруженности КШ в эксплуатации имеет следующие статистические характеристики: среднее значение $\bar{N}=49,7$ кВт, стандартное отклонение $\sigma=18,58$ кВт, коэффициент вариации – $v=0,50$, тогда теоретический закон распределения описывается по Вейбуллу

$$F(N) = \frac{2,15}{42,69} \left(\frac{N}{42,69} \right)^{1,15} e^{-\left(\frac{N}{42,69} \right)^{2,15}} \quad (15)$$

В результате показано, что КШ по двигателю загружены в среднем на 49,7 кВт, при этом доля шарниров с нагруженностью не более 49,7 кВт составляет 73%, а доля с нагруженностью выше 49,7 кВт - 27% (рисунок 5).

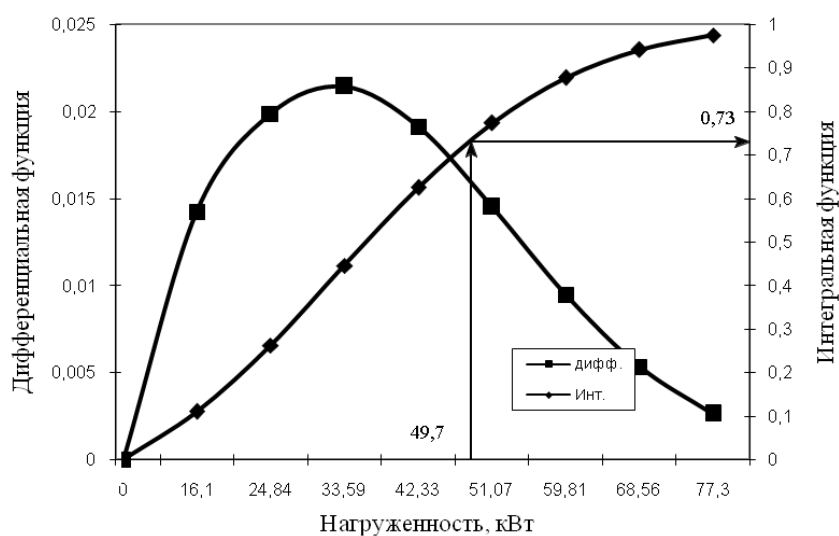


Рисунок 5 – Теоретический закон распределения нагруженности

Уточненная выборка по радиальному зазору в КШ в эксплуатации имеет следующие статистические характеристики: среднее значение $\bar{\Delta}=0,37$ мм, стандартное отклонение $\sigma=0,118$ мм, коэффициент вариации – $v=0,71$, что подтверждает соответствие теоретическому закону распределения Вейбулла

$$F(\Delta) = \frac{1,425}{0,1846} \left(\frac{\Delta}{0,1846} \right)^{0,425} e^{-\left(\frac{\Delta}{0,1846} \right)^{1,425}} \quad (16)$$

По среднему предельному радиальному зазору $\bar{\Delta}=0,274$ мм показано, что процентное соотношение КШ, к которым применим способ ТО составляет 85% и КШ, к которым применим ремонт – 15% (рисунок 6).

Для установления взаимосвязи между радиальным зазором и наработкой собраны данные эксплуатационных наблюдений КШ тракторов в диапазоне от 6 ч до физического разрушения при 11000 ч наработки в количестве 34 единиц (рисунок 7).

Аппроксимация эксплуатационных данных общей группы тракторов линейной функцией позволяет получить регрессионное эмпирическое уравнение в раскодированных переменных при $R^2=0,977$

$$\Delta = 0,1043 \cdot 10^{-3} \cdot L + 0,0288, \quad (17)$$

для контрольной группы с проведением способа ТО КШ получаем регрессионное эмпирическое уравнение в раскодированных переменных при $R^2=0,897$

$$\Delta_{\text{ТО}} = 0,0844 \cdot 10^{-3} \cdot L_{\text{ТО}} + 0,048. \quad (18)$$

На основании методики корректирования периодичности ТО по нагруженности и наработке выполним прогнозирование наработки КШ в эксплуатации с оценкой эффективности способа ТО по формулам (8)-(12).

Апробацию методики проведем на примере трактора JD 7830 с заводским номером RW7830R011352/PE6068B723790 государственный номер 9100 ЕК,

который эксплуатируется в ЗАО «Краснояржская зерновая компания» Чернянский район Белгородской области.

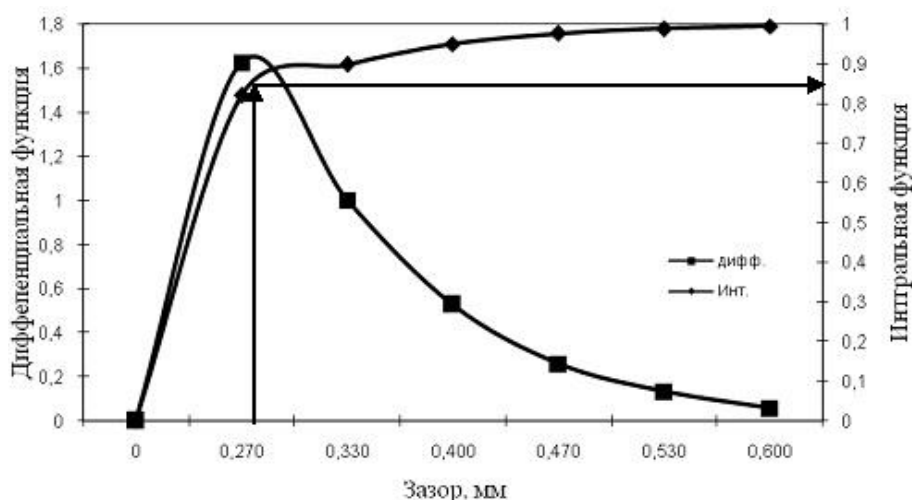


Рисунок 6 – Теоретический закон распределения радиального зазора

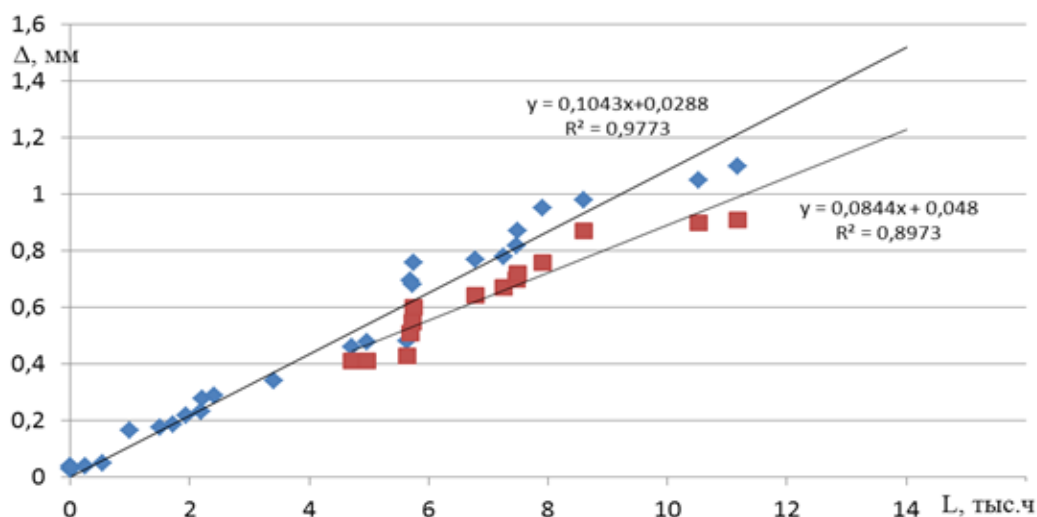


Рисунок 7 – Результаты измерения радиального зазора в КШ

Фактическая средневзвешенная нагруженность КШ в зависимости от профиля нагрузки составляет $N_{\Phi}=46,4$ кВт; фактическая наработка КШ $L_{\Phi}=6784$ ч, при которой радиальный зазор в КШ составляет $\Delta=0,45$ мм, в результате количество энергии, затраченное на выполнение фактической работы, равно

$$W_{\Phi}=46,4 \cdot 6784=314498 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Нормативный показатель нагруженности рассчитываем согласно нагрузке, которая соответствует 100% мощности $N_H=165$ кВт, согласно данным технической характеристики без учета 40%-го запаса мощности двигателя имеем

$$W_H=165 \cdot 5000=825000 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Коэффициент нагруженности равен

$$K_W=314498/825000=0,381.$$

В соответствии со средневзвешенной нагруженностью КШ на уровне $N_{\Phi}=46,4$ кВт наработка до замены составит

$$L_W=5000/0,381=13123 \text{ ч.}$$

Эмпирическая модель корректировки периодичности диагностируемого КШ из формулы (17) (рисунок б) имеет следующий вид

$$L_{\text{ТО}} = (\Delta_{\text{ТО}} - 0,048) / 0,0844 \cdot 10^{-3},$$

откуда получаем суммарную наработку шарнира

$$L_{\Sigma} = 0,9 \cdot 13123 + (0,45 - 0,048) / 0,0844 \cdot 10^{-3} = 11811 + 4763 = 16574 \text{ ч.}$$

Коэффициент повышения долговечности составит

$$k_{\text{дТО}} = L_{\Sigma} / L_{\text{н}} = 16574 / 13123 = 1,26.$$

Следовательно, при проведении ТО КШ для данного трактора результирующая суммарная наработка увеличится в 1,26 раза. При пересчете показателей по апробированной методике для трактора с нагруженностью выше среднего значения, например, при 77,3 кВт коэффициент повышения долговечности будет равен 1,16. Таким образом, с учетом полученных данных по средним значениям нагруженности, наработки и радиального зазора для наблюдаемого парка тракторов применение предлагаемого способа ТО приведет к повышению долговечности КШ в диапазоне 1,16-1,26 раз.

В пятой главе «Производственная апробация и технико-экономическая оценка» представлен технологический процесс ТО КШ в эксплуатации с дифференцированным назначением РОВ. Технико-экономическая оценка внедрения предлагаемого способа ТО КШ позволяет получить годовую экономию затрат в размере 44308 руб. на один трактор, за счет снижения расхода запасных частей и повышения долговечности КШ, со сроком окупаемости затрат за 0,31 г.

Заключение

1. Анализ тенденций развития рынка сельскохозяйственных тракторов выявил увеличение количества зарубежных марок, при этом мониторинг поступления техники по регионам РФ, в частности, в Белгородской области, показал увеличение парка тракторов марки John Deere 7030. Изучены условия эксплуатации, характеризующие особо острые проблемы импортных тракторов в Российской Федерации — разноморочность, тяжелые условия эксплуатации и повышенный расход материальных средств на обслуживание в постгарантийный период. Одним из критических узлов тракторов John Deere 7030 является карданные шарниры вала привода коробки передач.

2. Разработан способ технического обслуживания КШ конструкции CR115 для тракторов JD 7030 (RU № 2453451), путем замены рабочих поверхностей подшипниковых узлов. Получена математическая модель долговечности КШ с учетом проведения ТО и метод его реализации в эксплуатации на основе разработанного способа. Усовершенствован комплект технических средств для оценки технического состояния шарниров по радиальному зазору в эксплуатации. Разработана методика корректирования периодичности ТО КШ по параметрам оценки их действительной нагруженности, фактической наработки и радиального зазора.

3. В результате статистического анализа результатов экспериментальных исследований и эксплуатационных наблюдений установлено:

- средние значения предельного радиального зазора в КШ равно 0,274 мм, нагруженности - 47,7 кВт и наработка КШ снятых с эксплуатации - 6649 ч;

- диапазону изменения радиального зазора КШ 0,274-0,475 мм соответствует диапазон износа шипов 3,0-10,3 мкм, которым соответствует работоспособное состояние КШ с остаточным ресурсом, причем доля годных в эксплуатации КШ составляет 40-92%, а нуждающихся в применении способа ТО – 8-60%;

- средняя наработка КШ в эксплуатации составила 6661 ч, при этом 95% КШ имеют наработку до 6661 ч и лишь 5% тракторов с наработкой более 6661 ч; доля КШ с нагруженностью не превышающей 49,7 кВт составляет 73%, а выше 49,7 кВт - 27%; к 85% наблюдаемых КШ применим разработанный способ ТО, а остальные 15% подлежат замене или ремонту.

4. В результате производственной апробации способа ТО КШ (RU 2453451) по выявленным параметрам нормативной и фактической загрузки КШ на примере трактора № RW7830R011352/PE6068B723790 установлено, что КШ привода коробки передач загружены в среднем на 38%, в результате фактическая наработка до их замены составила 13213 ч, а коэффициент повышения долговечности, при применении способа ТО, равен 1,26 раза. Для наблюдаемых сочетаний нагруженности, наработки и радиального зазора в КШ тракторов JD 7030, полученное за счет применения способа ТО, увеличение ресурса КШ в среднем составляет 16-26%.

5. Разработан технологический процесс ТО КШ по способу RU 2453451 и схема дифференцированного назначения ремонтно-обслуживающих воздействий. Техничко-экономическая оценка внедрения предлагаемого способа показывает получение годовой экономии затрат в размере 44308 руб. на один трактор при сроке окупаемости единовременных капиталовложений за 0,31 г.

6. Перспективы обеспечения работоспособности зарубежных тракторов определяются эффективностью проведения эксплуатационных мероприятий ТОР в отношении критических узлов, адаптацией технологии технического обслуживания в постгарантийный период к реальным условиям их эксплуатации (по нагруженности, наработке, диагностическим параметрам) и рационализацией подхода инженерной службы к решению задач обеспечения работоспособности при минимальных затратах.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации:

Публикации в изданиях рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Пастухов, А.Г. Радиальный зазор в карданных шарнирах трактора «Джон Дир» в эксплуатации / А.Г. Пастухов, **А.В. Ефимцев** // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2013. – № 1. – С. 67-70.

2. Пастухов, А.Г. Прибор и методика измерения радиального зазора в карданных шарнирах зарубежных тракторов / А.Г. Пастухов, **А.В. Ефимцев** // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2013. – № 2. – С. 43-47.

3. Пастухов, А.Г. Ресурсная оценка способа технического обслуживания карданных шарниров трактора «Джон Дир» / А.Г. Пастухов, **А.В. Ефимцев** // Труды

ГОСНИТИ Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка. – М 2013. – Т. 112 – С. 88-93.

Патент РФ на изобретение

1. Патент RU 2453451 C1, B60S5/00, F16D3/41, F16C11/06. Способ технического обслуживания карданного шарнира / Пастухов А.Г., **Ефимцев А.В.**, Зданович Б.С., Тимашов Е.П. (RU) – 2011107086/11; Заявлено 24.02.2011 г.; Опубл. 20.06.2012 г. Бюл. №17

Публикации в сборниках научных трудов и других изданиях

1. Пастухов, А.Г. Особенности системы технического обслуживания и ремонта зарубежной техники / А.Г. Пастухов, **А.В. Ефимцев** // Машинно-технологическая станция. – 2009. — №9. – С. 28-29.

2. **Ефимцев, А.В.** Особенности эксплуатации сельскохозяйственной техники в Белгородской области / А.В. Ефимцев, А.Г. Пастухов // Материалы XIV международной научно-производственной конференции «Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения». – Белгород: БелГСХА, 2010. – С. 170.

3. **Ефимцев, А.В.** Особенности конструкции карданных валов трактора John Deere / А.В. Ефимцев, А.Г. Пастухов // Материалы IV Международной научно-практической конференции молодых исследователей часть 1 «Наука и молодежь: новые идеи и решения». – Волгоград: ФГОУ ВПО Волгоградская ГСХА, 2010. – С. 166 – 170.

4. **Ефимцев, А.В.** Способ технического обслуживания карданных подшипниковых узлов трактора John Deere / А.В. Ефимцев, А.Г. Пастухов // Материалы Межрегиональной выставки-конференции «Энергосберегающие технологии и техника сфере АПК». – Орел: Орел ГАУ, 2011. – С. 93-96.

5. **Ефимцев, А.В.** Характеристика отказов карданных валов тракторов John Deere / А.В. Ефимцев, А.Г. Пастухов // Материалы VII международного форума молодежи «Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке». – Харьков: ХНТУСХ, 2011. – С. 113.

6. **Ефимцев, А.В.** Причины выхода из строя карданных валов тракторов / А.В. Ефимцев, А.Г. Пастухов // Материалы XV Международной научно-производственной конференции «Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения». – Белгород: БелГСХА, 2011. — С. 197.

7. **Ефимцев, А.В.** Программа и методика эксплуатационных наблюдений карданных передач тракторов John Deere / А.В. Ефимцев, А.Г. Пастухов // Материалы III Всероссийской научно-практической конференции «Ремонт. Восстановление. Реновация». – Уфа: Башкирский ГАУ, 2012. – С. 73-76.

8. **Ефимцев, А.В.** Интегрированный подход при техническом сервисе машин / А.В. Ефимцев, А.Г. Пастухов // Материалы VIII международного форума молодежи «Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке». – Харьков: ХНТУСХ, 2012. – С. 80.

9. Пастухов, А.Г. Эксплуатационно-ремонтные методы обеспечения надежности карданных передач / А.Г. Пастухов, Е.П. Тимашов, **А.В. Ефимцев** // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко «Проблемы надежность машин и средств сельскохозяйственного производства». – Харьков: ХНТУСХ, 2012. — С. 186-190.

10. **Ефимцев, А.В.** Разработка программы и алгоритма постановки диагноза надежности карданного шарнира трактора JD в эксплуатации / Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Особенности технического оснащения современного сельскохозяйственного производства». – Орел: ФГБОУ ВПО ОрелГАУ, 2012. — С. 31-35.
11. **Ефимцев, А.В.** Основы прогнозирования карданных шарниров / А.В. Ефимцев // Материалы XVI международной научно-производственной конференции «Инновационные пути развития АПК на современном этапе». – Майский: ФГБОУ ВПО БелГСХА им. В.Я. Горина, 2012. — С. 172.
12. Пастухов, А.Г. Метрологическое обеспечение технического обслуживания карданных шарниров трактора John Deere / А.Г. Пастухов, **А.В. Ефимцев** // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии в метрологии, стандартизации и управлении качеством». – Москва: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2012. – С. 52-57.
13. **Ефимцев, А.В.** Разработка методики и технических средств диагностирования карданных шарниров трактора «Джон Дир» в эксплуатации / А.В. Ефимцев, Б.С. Зданович // Материалы международной научно-производственной конференции «Современные проблемы инновационного развития агроинженерии». – Белгород: БелГСХА, 2012. — С. 30-36.
14. Pastukhov, A.G. Metodologija procene radijalnih zazora u kardanskim zglobovima / A.G. Pastukhov, **A.V. Efimtsev** // TEHNIČKA dijagnostika: naučno-stručni casopis = Technical Diagnostics: Scientific and Technical Journal / glavni i odgovorniurednik Dušan Šotra. - God. 1, br. 1 (2002). – Beograd: Technical Diagnostics year XII, 2013. – № 3 - С. 18-22.
15. Пастухов, А.Г. Оценка нагруженности карданных шарниров на основе профиля нагрузки двигателя трактора «Джон Дир» / А.Г. Пастухов, **А.В. Ефимцев**, Б.С. Зданович // Материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции «Проблемы механизации и электрификации сельского хозяйства». – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2014. – С. 7-11.
16. Пастухов, А.Г. Диагностирование карданных шарниров машин и оборудования / А.Г. Пастухов, **А.В. Ефимцев** // Материалы Международной научно-практической конференции «Особенности технического и технологического оснащения современного сельскохозяйственного производства»: [сборник]. – Орел: Орел ГАУ, 2013. – С. 305-309.
17. Пастухов, А.Г. Динамика радиального зазора в карданных шарнирах трактора John Deere в эксплуатации / А.Г. Пастухов, **А.В. Ефимцев** // Материалы XVIII международной научно-производственной конференции «Проблемы и перспективы инновационного развития агроинженерии энергоэффективности и IT-технологий». – Белгород: БелГСХА, 2014. – С. 178.