

На правах рукописи



**ХАБАРДИН Андрей Васильевич**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЯ  
РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ  
ПРИ ИХ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ**

Специальность 05.20.03 – технологии и средства технического  
обслуживания в сельском хозяйстве

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Новосибирск, 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Иркутская государственная сельскохозяйственная академия» (ФГБОУ ВПО ИрГСХА) на кафедре эксплуатации машинно-тракторного парка и безопасности жизнедеятельности.

**Научный руководитель – Степанов Николай Васильевич,**  
кандидат технических наук, доцент  
(ФГБОУ ВПО ИрГСХА, зав. кафедрой  
машинно-тракторного парка и  
безопасности жизнедеятельности).

**Официальные оппоненты: Немцев Анатолий Егорович,**  
доктор технических наук  
(ГНУ СибИМЭ Россельхозакадемии,  
зам. директора по науке);  
**Федоров Сергей Павлович,**  
кандидат технических наук, доцент  
(ФГБОУ ВПО НГАУ, профессор кафедры  
эксплуатации машинно-тракторного парка).

**Ведущая организация:** ГНУ Сибирский физико-технический  
институт аграрных проблем  
Россельхозакадемии.

Защита диссертации состоится 26 апреля 2012 года в 10 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета ДМ 006.059.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении высшего профессионального образования «Новосибирский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО НГАУ) по адресу: 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять в адрес диссертационного совета по адресу: 630501, Новосибирская область, Новосибирский район, п. Краснообск-1, а/я 460, ГНУ СибИМЭ Россельхозакадемии;

телефон, факс (383) 348-12-09;  
e-mail: [sibime@ngs.ru](mailto:sibime@ngs.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ СибИМЭ Россельхозакадемии.

Автореферат размещен на сайте ВАК Минобрнауки России [vak2.ed.gov.ru](http://vak2.ed.gov.ru), на сайте ГНУ СибИМЭ Россельхозакадемии [www.sibime-rashn.ru](http://www.sibime-rashn.ru) и разослан 26 марта 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



В.С. Нестяк

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Рулевое управление – важнейшая составная часть трактора. Его техническое состояние существенно влияет на безопасность дорожного движения, а также на безопасность и качество выполнения полевых механизированных работ. Кроме того, рулевое управление является основным потребителем мускульной энергии оператора и поэтому в наибольшей степени влияет на его утомляемость, здоровье и способность правильно выполнять заданные функции в течение всего рабочего времени.

Рулевое управление (РУ), в частности свободный ход рулевого колеса (СХРК), подлежит ежегодному инструментальному контролю органами Гостехнадзора Российской Федерации. Его проверяют и при периодических технических обслуживаниях. Однако статистика показывает, что из-за технических неисправностей тракторов в нашей стране в среднем в год происходит от 3 до 5 % ДТП, наибольшая часть которых связана с состоянием РУ.

В соответствии с существующими требованиями по безопасности труда СХРК при работающем двигателе не должен быть более 25 град. Однако в сельскохозяйственных предприятиях Иркутской области 50-60 % тракторов типа МТЗ эксплуатируется со свободным ходом рулевого колеса, превышающим допустимое значение этого параметра. Одной из причин данной ситуации является отсутствие доступных по стоимости и удобных в эксплуатации приборов для диагностирования РУ, что предопределяет необходимость их совершенствования.

Работа выполнена в соответствии с тематическим планом ФГБОУ ВПО ИрГСХА – «Научное обеспечение эффективной эксплуатации техники аграрных товаропроизводителей» (регистрационный номер 0120.0 511294).

**Цель исследования** – снижение затрат труда и средств на проведение технического обслуживания тракторов за счет совершенствования приборов в направлении снижения удельной стоимости контроля РУ.

**Объект исследования** – процесс диагностирования рулевого управления колесных тракторов при их техническом обслуживании.

**Предмет исследования** – закономерности функционирования средств контроля рулевого управления колесных тракторов.

**В качестве гипотезы** принято предположение о том, что снижение затрат труда и средств на техническое обслуживание тракторов возможно в результате снижения удельной стоимости контроля рулевого управления.

**Научную новизну представляет** математическая модель функционирования средств контроля РУ, разработанная с учетом объема работ по диагностированию, вероятностей и издержек раннего и позднего обслуживания. При этом показатель функционирования как выходной элемент модели является параметром, определяющим совершенствование контроля РУ.

**Практическая значимость результатов исследований.** Разработаны экспериментальные приборы и технологические карты на определение СХРК тракторов с учетом современных требований – по началу поворота управляемых колес. Они выполнены на основе измерительной линейки, а также на

базе оптико-механического угломера КИ-13926-ГОСНИТИ и обладают простотой конструкции, доступностью в приобретении и удобством в использовании. Осуществлен выбор лучших приборов как из имеющихся в практике, так и из разработанных. Для инженеров, занимающихся эксплуатацией МТП, предложен алгоритм выбора приборов. Экономический эффект от внедрения приборов составляет более 10 тыс. руб. в год на одно хозяйство.

По результатам исследований автором получено 5 патентов РФ на изобретения, 1 положительное решение и подана 1 заявка о выдаче патента РФ на изобретение.

**Реализация результатов исследований.** Разработанные приборы применяются в сельскохозяйственных предприятиях Иркутской области при техническом обслуживании и ремонте тракторов, а также при их подготовке к техническому осмотру. Кроме того, эти приборы используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО ИрГСХА.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы доложены и одобрены: на научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО ИрГСХА (2007-2010 гг.), на Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения академика И.П.Терских (г. Иркутск, 2007 г.), на Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию Римского клуба (г. Иркутск, 2008 г.), на Международной научно-практической конференции «Совместная деятельность сельскохозяйственных товаропроизводителей и научных организаций в развитии АПК Центральной Азии» (г. Иркутск, 2008 г.), на региональных научно-производственных семинарах «Чтения И. П. Терских» «Техника и технологии инженерного обеспечения АПК» (г. Иркутск, 2008-2011 гг.), на заседании лаборатории № 8 «Техническое обслуживание машинно-тракторного парка» ГНУ СибИМЭ Россельхозакадемии (Новосибирская область, п. Краснообск, 2011 г.).

Разработки автора в 2009 г. отмечены дипломом Иркутского выставочного комплекса ОАО «СибЭкспоЦентр», в 2010 г. – на выставке научно-технического творчества молодежи «НТТМ-2010» (г. Иркутск). Кроме того, в 2009 г. они демонстрировались на выставке «Агросалон-2009» (г. Москва) в составе экспозиции ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии.

**Публикации.** По материалам исследований опубликовано 10 печатных работ, в том числе 6 статей – в изданиях по списку ВАК. Получено 5 патентов РФ на изобретения, 1 положительное решение и подана 1 заявка о выдаче патента РФ на изобретение.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, четырех глав, выводов, библиографического списка и приложений. Общий объем работы – 255 страниц машинописного текста, в том числе: 49 таблиц, 38 рисунков, 7 приложений, список литературы из 136 наименований.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Математическая модель функционирования средств контроля РУ колесных тракторов, разработанная с учетом объема работ по диагностированию, вероятностей и издержек раннего и позднего обслуживания.

2. Усовершенствованные на основе новых технических решений приборы для определения СХРК и результаты их экспериментальной проверки, а также результаты оценки приборов в соответствии с показателем функционирования средств контроля.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, показано направление ее исследования и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проанализирован свободный ход рулевого колеса как параметр технического состояния рулевого управления, рассмотрен процесс определения этого параметра, представлен анализ методов и средств его определения, а также научных исследований по обоснованию и выбору методов и средств диагностирования рулевого управления.

Изучением проблем диагностирования машин в сельском хозяйстве занимались ведущие ученые нашей страны. Научные основы диагностики машин сельскохозяйственного назначения созданы трудами В.А. Аллилуева, В.И. Бельских, Г.В. Веденяпина, Н.С. Ждановского, С.А. Иофинова, В.М. Лившица, В.М. Михлина, А.В. Николаенко, А.И. Селиванова, К.Ю. Скибневского, И.П. Терских, И.Е. Ульмана, Б.А. Улитовского, С.С. Черепанова, В.И. Черноиванова и др. Значительный вклад в разработку методов и средств диагностирования внесли: В.В. Альт, Д.М. Воронин, И.П. Добролюбов, А.В. Дунаев, А.В. Колчин, В.В. Коротких, Н.И. Мошкин, В.В. Остриков, А.М. Плаксин, В.А. Симонов, А.И. Федотов, Н.М. Хмелевой и др.

По совершенствованию технологии и средств диагностирования сельскохозяйственных машин ведут плодотворную работу научно-исследовательские институты: ГОСНИТИ, НАТИ, СибИМЭ, а также многие высшие учебные заведения.

Вместе с тем до настоящего времени еще недостаточно изучены многие вопросы, касающиеся обоснования, применения и выбора методов и средств диагностирования рулевого управления тракторов. Проанализируем их.

По методам диагностирования наиболее неопределенным является метод определения СХРК. Существующие стандарты по сельскохозяйственным тракторам и их эксплуатации, а также руководства по эксплуатации, диагностированию и техническому обслуживанию колесных тракторов не дают четкой регламентации по применению методов определения СХРК. Поэтому возможно два метода определения данного параметра: первый – по нормированному усилию на ободе рулевого колеса и второй – по фиксации начала поворота управляемых колес. Второй метод появился с введением стандарта РФ ГОСТ Р 51709-2001 (с 1 января 2002 г.) и относится только к автотранспортным средствам. В этой ситуации в сфере науки и практики, касающейся эксплуатации тракторов, возникла аналогичная задача – о возможности перехода на новый метод определения СХРК. Это объясняется более высокой точностью определения параметра, поскольку при этом исключаются погрешности, обусловленные, например, заклиниванием рулевого механизма.

Поэтому наиболее предпочтительным (перспективным) является такой метод определения СХРК, который позволяет учитывать начало поворота управляемых колес.

Анализ приборов для определения СХРК показывает, что от начала 60-х годов прошлого века до настоящего времени отечественной промышленностью создано более 10 моделей таких приборов. В процессе их совершенствования абсолютная погрешность осталась на одном и том же уровне –  $\pm 1$  град., габаритные размеры увеличились в 10 раз, масса – в 5 раз, стоимость – в 4,3 раза, а трудоемкость определения параметра – в 2,3 раза. Изменение этих показателей по годам представлено на рис. 1 и 2.

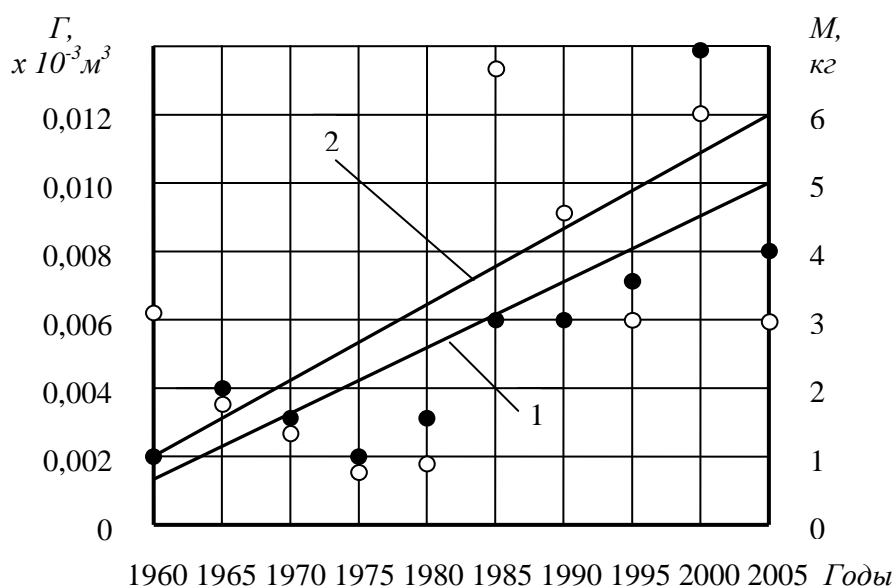


Рис. 1 - Изменение габаритных размеров 1 (●) и массы 2 (○) в процессе совершенствования приборов для определения СХРК

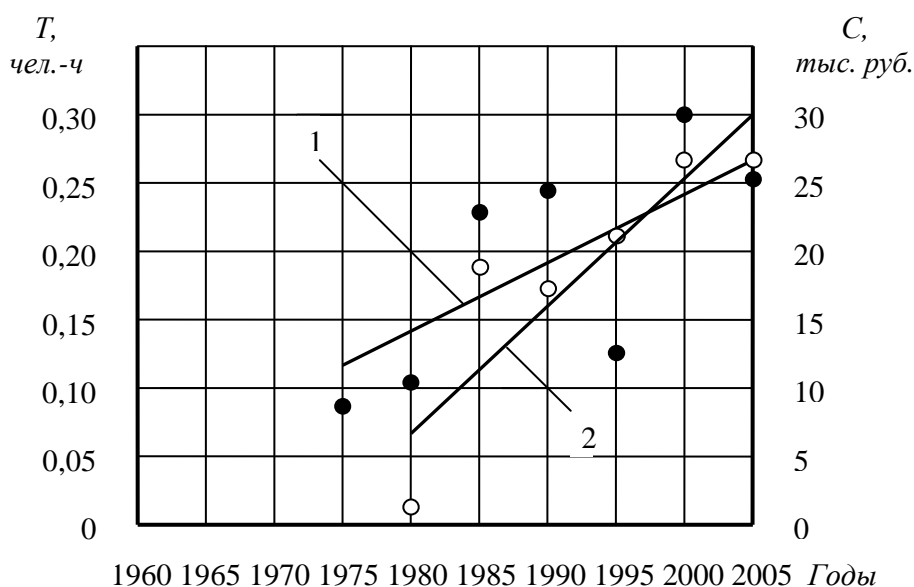


Рис. 2 - Изменение трудоемкости определения СХРК 1 (●) и стоимости приборов 2 (○) в процессе их совершенствования

При этом современные электронные приборы приобрели новые потребительские качества: возможность сохранения информации в памяти и выдачи полученных данных в виде протокола, которые могут быть востребованы органами Гостехнадзора. Однако они отличаются высокой стоимостью, сложностью конструкции и использования по назначению.

Поэтому в рядовых хозяйствах, ремонтно-технических и сервисных предприятиях сельскохозяйственного производства эти приборы не находят применения. Здесь нужны диагностические средства, которые обладали бы простотой конструкции, высокой надежностью, универсальностью, доступностью в приобретении и удобством в использовании, что обусловлено, прежде всего, недостатком денежных средств у сельскохозяйственных производителей. Кроме того, применение простейших средств диагностирования всегда дает гарантированный экономический эффект.

И, наконец, последнее – это задача выбора средств, в нашем исследовании, – приборов для определения СХРК. Теоретически она возникает тогда, когда появляется номенклатура средств, одинаковых по назначению. Практически эта задача имеет место уже тогда, когда пользователю приходится выбирать один из нескольких предложенных приборов разного типа. Что происходит в данном случае на рынке технического сервиса? Разработчики, исходя из собственных интересов, не указывают в руководствах по эксплуатации, рекламной и другой документации условия, при которых применение технических средств экономически оправданно. Поэтому хозяйственники не имеют ясного ответа на вопрос о соответствии цены приобретаемого прибора требованию его безубыточного использования в условиях конкретного предприятия. При выборе средств им приходится решать эту задачу эмпирически. В целом, нужно отметить, что в современных рыночных условиях задача выбора является одним из факторов, затрудняющих техническую подготовку сельскохозяйственного производства, решение которых может быть найдено с учетом удельной стоимости функционирования приборов.

На основании результатов анализа состояния вопроса сформулированы следующие задачи исследования:

1. Разработать математическую модель функционирования средств контроля рулевого управления колесных тракторов.
2. Усовершенствовать и обосновать основные технические характеристики средств контроля РУ колесных тракторов при их техническом обслуживании.
3. Разработать алгоритм выбора средств контроля рулевого управления колесного трактора, технологию его диагностирования и обосновать эффективные модели средств контроля.
4. Оценить эффективность результатов исследования.

**Вторая глава** посвящена разработке математической модели функционирования средств контроля рулевого управления колесных тракторов, позволяющей решать как задачи совершенствования, так и выбора этих средств. В качестве показателя принята удельная стоимость контроля.

На первом этапе были поставлены и формализованы задачи совершенствования и выбора средств контроля, что необходимо для выявления их эксплуатационных свойств и условий применения, являющихся исходными предпосылками к математическому описанию.

Задача совершенствования средств (рис. 3 при  $C_{\phi_i} \rightarrow \min$ ): найти минимум целевой функции:

$$C_{\phi_i} = f \{ Y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_j), Z = (z_1, z_2, z_3, \dots, z_k) \} \rightarrow \min,$$

где  $C_{\phi_i}$  – показатель функционирования средств контроля рулевого управления – удельная стоимость контроля при применении  $i$ -го средства;  $Y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_j)$ ,  $Z = (z_1, z_2, z_3, \dots, z_k)$  – множества параметров, характеризующих эксплуатационные свойства средства и условия его применения (среду);  $j, k$  – номера параметров средства и среды.

Задача выбора «лучшего» средства (рис. 3 при  $C_{\phi_i} \ni x_i = \min$ ): из множества  $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_i)$ , где  $i$  – номер выбираемого средства, выбрать такое  $i$ -тое средство, которое бы удовлетворяло условию  $C_{\phi_i} \ni x_i = \min$  при заданных множествах параметров  $Y$  и  $Z$ .

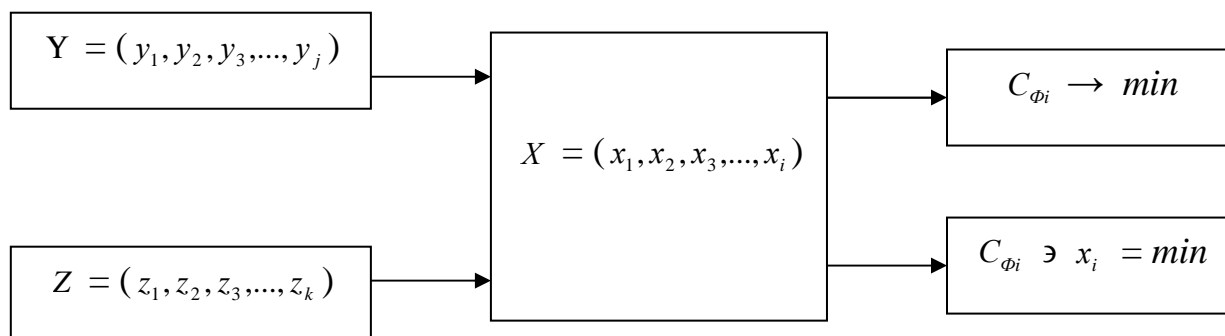


Рис. 3 – Схема логической модели задач совершенствования (при  $C_{\phi_i} \rightarrow \min$ ) и выбора (при  $C_{\phi_i} \ni x_i = \min$ ) средств контроля (другие обозначения в тексте)

На следующем этапе в соответствии с поставленными задачами разработана математическая модель функционирования технических средств контроля (ТСК), которая представлена в виде показателя  $C_{\phi_i}$  функционирования:

$$C_{\phi_i} = C_{Ki} + C_{Иi} + C_{ТОРi} + C_{Xi} + C_{Mi} + C_{Yi} + I_i, \quad (1)$$

где  $C_{Ki}$ ,  $C_{Иi}$ ,  $C_{Xi}$ ,  $C_{ТОРi}$ ,  $C_{Mi}$ ,  $C_{Yi}$  – удельная стоимость (в руб. на ед. контроля) приобретения средства, использования его по назначению, хранения, его технического обслуживания и ремонта (ТОР), проверки и утилизации;  $I_i$  – удельные издержки (вычисленные в руб. на ед. контроля), обусловленные погрешностью. Единица (ед.) контроля – это операция, проводимая с применением  $i$ -го средства контроля.



Элементы показателя, кроме издержек, входящие в (1), имеют вид:

$$C_{Ki} = \frac{\tau_{TOi} 3_{Ki}}{N_{Mi} L_i (\tau_{Gi} K_{Pi} + \tau_{TOi} K_{OCi})} \quad (2)$$

при  $\tau_{TOi} > 0$ ,  $3_{Ki} > 0$ ,  $N_{Mi} \geq 1$ ,  $L_i > 0$ ,  $\tau_{Gi} > 0$ ,  $K_{Pi} > 0$ ,  $0 < K_{OCi} \leq 1$ ;

$$C_{Pi} = t_{Di} (C_{Ti} + C_{Pi} + C_{ДВSi}) + C_{MDi} + t_{Эi} N_{Эi} C_{Э} \quad (3)$$

при  $t_{Di} > 0$ ,  $C_{Ti} > 0$ ,  $C_{Pi} > 0$ ,  $C_{ДВSi} > 0$ ,  $C_{MDi} \geq 0$ ,  $t_{Эi} \geq 0$ ,  $N_{Эi} \geq 0$ ,  $C_{Э} > 0$ ;

$$C_{ТОPi} = \frac{\tau_{TOi} 3_{ТОPi}}{N_{Mi} (\tau_{Gi} K_{Pi} + \tau_{TOi} K_{OCi})} \quad (4)$$

при  $\tau_{TOi} > 0$ ,  $3_{ТОPi} \geq 0$ ,  $N_{Mi} \geq 1$ ,  $\tau_{Gi} > 0$ ,  $K_{Pi} > 0$ ,  $0 < K_{OCi} \leq 1$ ;

$$C_{Mi} = \frac{\tau_{TOi} 3_{Mi}}{N_{Mi} (\tau_{Gi} K_{Pi} + \tau_{TOi} K_{OCi})} \quad (5)$$

при  $\tau_{TOi} > 0$ ,  $3_{Mi} \geq 0$ ,  $N_{Mi} \geq 1$ ,  $\tau_{Gi} > 0$ ,  $K_{Pi} > 0$ ,  $0 < K_{OCi} \leq 1$ ;

$$C_{Xi} = \frac{\tau_{TOi} 3_{Xi}}{N_{Mi} (\tau_{Gi} K_{Pi} + \tau_{TOi} K_{OCi})} \quad (6)$$

при  $\tau_{TOi} > 0$ ,  $3_{Xi} \geq 0$ ,  $N_{Mi} \geq 1$ ,  $\tau_{Gi} > 0$ ,  $K_{Pi} > 0$ ,  $0 < K_{OCi} \leq 1$ ;

$$C_{Yi} = \frac{\tau_{TOi} 3_{Yi}}{N_{Mi} L_i (\tau_{Gi} K_{Pi} + \tau_{TOi} K_{OCi})} \quad (7)$$

при  $\tau_{TOi} > 0$ ,  $3_{Yi} > 0$ ,  $N_{Mi} \geq 1$ ,  $L_i > 0$ ,  $\tau_{Gi} > 0$ ,  $K_{Pi} > 0$ ,  $0 < K_{OCi} \leq 1$ .

Удельные издержки  $I_i$ , обусловленные случайной погрешностью определения параметра при применении  $i$ -го средства:

издержки раннего обслуживания  $I_{Pi}$  –

$$I_{Pi} = (C_{Pi} + C_{Pi} + C_{Ri}) \int_{-3\sigma_y}^0 f(y) dy \int_{X_{II} - 3\sigma_y}^{X_{II}} f(x) dx \quad (8)$$

при  $C_{Pi} \geq 0$ ,  $C_{Pi} \geq 0$ ,  $C_{Ri} \geq 0$ ,  $\sigma_y \geq 0$ ,  $X_{II} > 0$ ;

издержки позднего обслуживания  $I_{Pi}$  –

$$I_{Pi} = (C_{Pi} + C_{Pi} + C_{Di}) \sigma_y \int_0^{+3\sigma_y} f(y) dy \int_{X_{II}}^{X_{II} + 3\sigma_y} f(x) dx \quad (9)$$

при  $C_{Pi} \geq 0$ ,  $C_{Pi} \geq 0$ ,  $C_{Di} \geq 0$ ,  $\sigma_y \geq 0$ ,  $X_{II} > 0$ ;

средние издержки раннего и позднего обслуживания –

$$I_{Pi} = 0,5(I_{Pi} + I_{Pi}) \quad (10)$$

при  $I_{Pi} \geq 0$ ,  $I_{Pi} \geq 0$ .

При этом в уравнениях (2)–(10) приняты, кроме уже названных, следующие обозначения, относящиеся к  $i$ -тому средству:  $N_{Mi}$  – число обслуживаемых машин;  $\tau_{TOi}$  – периодичность ТО, при котором контролируют пара-

метр СХРК;  $\tau_{Гi}$  – средняя годовая наработка машины;  $K_{Pi}$  – коэффициент универсальности;  $K_{Oci}$  – коэффициент охвата машин техническим осмотром;  $L_i$  – срок службы  $i$ -го средства, лет;  $Z_{Ki}$ ,  $Z_{TOPi}$ ,  $Z_{Mi}$ ,  $Z_{Xi}$ ,  $Z_{Vi}$  – средние за год затраты на приобретение, ТОР, поверку, хранение и утилизацию  $i$ -го средства;  $t_{Di}$  – продолжительность определения параметра;  $C_{Ti}$  – часовая тарифная ставка диагноста;  $C_{Mdi}$  – стоимость материалов в расчете на единицу контроля;  $C_{ДВСi}$  – стоимость одного часа работы двигателя;  $C_{ППi}$  – стоимость использования в течение одного часа производственного помещения в расчете на одну машину;  $t_{Эi}$  – продолжительность работы электроустановок;  $N_{Эi}$  – мощность электроустановок;  $C_{Эi}$  – стоимость одного кВт·ч электроэнергии;  $C_{Pi}$ ,  $C_{Pi}$ ,  $C_{Di}$ ,  $C_{Ri}$  – средняя стоимость одного ремонта, простоя машины при выполнении одного ремонта, потерь от одного ДТП, а также стоимость недоиспользованного ресурса машины или ее составной части (рулевого управления);  $\sigma_y$  – случайная погрешность;  $X_{Pi}$  – предельное значение параметра СХРК;  $f(y)$  – дифференциальная функция распределения погрешности определения параметра;  $f(x)$  – дифференциальная функция распределения случайной величины «свободный ход рулевого колеса».

Математическое описание показателя  $C_{\Phi i}$  с учетом случайной погрешности ТСК и при  $N_{Mi} \geq 1$  есть сумма (2–7, 10), а его предел имеет вид:

$$\lim C_{\Phi i} = \frac{1}{N_{Mi}} (C_{Ki} + C_{TOPi} + C_{Mi} + C_{Xi} + C_{Vi}) + (C_{Pi} + I_{PPi}) = (C_{Pi} + I_{PPi}) \quad (11)$$

при  $N_{Mi} \rightarrow \infty$ .

В общем виде  $C_{\Phi i}$  (11) – это функция обратной пропорциональности:

$$y = \frac{C}{X} + Z, \quad (12)$$

где аргумент  $X$  – число  $N_{Mi}$ ;  $C$  и  $Z$  – постоянные для данного средства значения параметров – зависимые и независимые от числа  $N_{Mi}$ .

В соответствии с элементами показателя (1), каждый из которых должен быть сведен к минимуму, предложены новые приборы для определения СХРК на базе измерительной линейки (первый вариант) и оптико-механического угломера (второй вариант) в сочетании со средствами фиксации начала поворота управляемых колес трактора. Первый из них имеет меньшую случайную погрешность и более высокую трудоемкость определения СХРК, а второй – большую погрешность, но более низкую трудоемкость. При этом обеспечивается снижение удельной стоимости контроля – удельной стоимости приобретения средства  $C_{Ki}$ , использования его по назначению  $C_{Pi}$ , хранения  $C_{Xi}$ , ТОР  $C_{TOPi}$ , поверки  $C_{Mi}$  и утилизации  $C_{Vi}$ , а также издержек  $I_i$ , обусловленных погрешностью. Научная новизна разработок подтверждена пятью патентами и положительным решением на изобретение РФ.

**В третьей главе** изложены программа экспериментального исследования и методики: экспериментальной проверки усовершенствованных средств

на функционирование, определения основных технических характеристик экспериментальных приборов и их статистической оценки, получения дифференциальной функции и параметров распределения случайной величины «свободный ход рулевого колеса», нахождения вероятностей раннего и позднего обслуживания, определения показателя оценки совершенствования и выбора средств, а также методика оценки погрешности математической модели.

Методика экспериментальной проверки методов и средств предусматривает их экспериментальную проверку на функционирование, а также уточнение условий их применения. В ее основу положены критерии функционирования объектов, подлежащих проверке. К таким объектам относятся: метод определения СХРК по меткам, угломер с кронштейном в сборе, прожектор, экраны световые и мышшь компьютерная. Методы проверки: опробование, измерение, сравнение, испытание. Условия проверки – лабораторные.

Методика определения основных технических характеристик приборов (табл. 1) позволяет получить статистические оценки по дифференциальным функциям и параметрам распределения названных характеристик, к которым отнесены погрешность и трудоемкость определения СХРК. При этом в основу определения случайной погрешности положен метод определительных статистических испытаний, систематической погрешности – сравнительные испытания образцов с прибором, принятым за эталон.

Таблица 1 - Экспериментальные приборы и варианты их испытаний

Средства определения свободного хода рулевого колеса (обозначение)	Средство или метод контроля начала поворота управляемых колес и их обозначение	Приборы и варианты их испытаний (обозначение)
Л (линейка измерительная, калькулятор)	Визуальный контроль – ВК	Л-ВК – А1
	Прожектор с настенным экраном – ПН	Л-ПН – А2
	Прожектор с портативным экраном – ПП	Л-ПП – А3
	Компьютерная мышшь – МК	Л-МК – А4
У (угломер оптико-механический)	Визуальный контроль – ВК	У-ВК – Б1
	Прожектор с настенным экраном – ПН	У-ПН – Б2
	Прожектор с портативным экраном – ПП	У-ПП – Б3
	Компьютерная мышшь – МК	У-МК – Б4

Условия испытаний – идентичные. Методика (технология) контроля СХРК: при применении эталонного прибора – в соответствии с руководством по эксплуатации на данный прибор, при испытании экспериментальных средств – по предварительно разработанной технологической карте на каждый образец.

Методика определения дифференциальной функции  $f(x)$  и параметров распределения случайной величины «свободный ход рулевого колеса» предусматривает получение наиболее согласованной с эмпирическими данными теоретической функции и параметров ее распределения.

Методика определения вероятностей раннего  $P_{Pi}$  и позднего  $P_{Pi}$  обслуживания позволяет найти числовые значения названных вероятностей с учетом случайной погрешности – по формулам:

$$P_{Pi} = 0,47725 \int_{X_{Pi}-2\sigma_y}^{X_{Pi}} f(x)dx, \quad (13)$$

$$P_{Pi} = 0,47725 \int_{X_{Pi}}^{X_{Pi}+2\sigma_y} f(x)dx. \quad (14)$$

В методике определения показателя совершенствования и выбора методов и средств указаны необходимые формулы и представлен перечень исходных данных для вычисления  $C_{\phi_i}$ , а также изложены основные требования к их формированию и обработке.

В основу методики оценки погрешности  $\varepsilon_M$  математической модели по совокупности  $n$  учитываемых выходных величин положена формула:

$$\varepsilon_M = \left( \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \right)^{0,5} \quad (15) \quad \text{при } \varepsilon_i = \frac{\overline{x_i} - x_i}{x_i}, \quad (16)$$

где  $\varepsilon_i$  – относительная погрешность;  $\overline{x_i}$  – выходная величина  $i$ -параметра, вычисленная по модели;  $x_i$  – выходная величина того же  $i$ -го параметра, принятая за действительную.

**В четвертой главе** представлены: результаты экспериментальной проверки средств определения СХРК, основные технические характеристики экспериментальных приборов, дифференциальная функция и параметры распределения случайной величины СХРК, вероятности раннего и позднего обслуживания, показатель совершенствования и выбора средств, оценка погрешности математической модели, а также экономический эффект от внедрения средств контроля рулевого управления тракторов.

Обоснованы два типа приборов (рис. 4): на основе измерительной линейки для реализации способа определения СХРК по меткам и на базе оптико-механического угломера КИ-13926 с дополнительной шкалой и с кронштейном КИ-13949 ГОСНИТИ. Они созданы по патентам РФ на изобретения и обеспечивают возможность определения СХРК с учетом современных требований – по началу поворота управляемых колес и для этого снабжены прожектором, настенным или портативным экраном, либо компьютерной мышью с сигнальной лампой. Фрагменты их испытаний показаны на рис. 5.

Эмпирические данные по всем приборам наиболее ближе согласуются с законом распределения Гаусса, о чем свидетельствует критерий согласия  $P(\chi^2)$  Пирсона. Математическое ожидание параметра СХРК по экспериментальным приборам находится в пределах от 18,5 до 19,0 град. и в соответствии с критерием Романовского существенно не отличается от математического ожидания показаний эталонного прибора ИСЛ-М, равного 18,6 град. Результаты определения СХРК на основе визуального контроля начала пово-



Л-ВК



У-ВК



Л-ПН



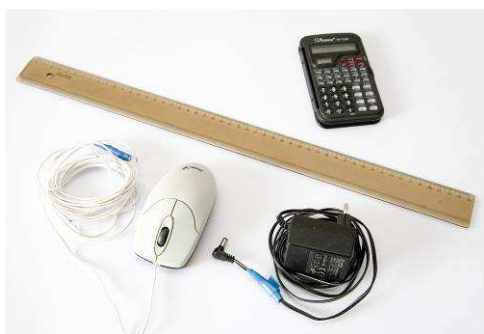
У-ПН



Л-ПП



У-ПП



Л-МК

а



У-МК

б

Рис. 4 - Экспериментальные приборы для определения свободного хода рулевого колеса: а, б – соответственно на базе измерительной линейки и угломера КИ-13926 (другие обозначения в табл. 1)



а



б

Рис. 5 - Фрагменты определения свободного хода рулевого колеса на тракторе МТЗ-80: а – линейкой; б – люфтметром ИСЛ-М (вверху) и угломером КИ-13926 (внизу)

рота управляемых колес как при применении линейки (Л-ВК), так и угломера (У-ВК) существенно (на 5,9 град.) отличаются от показаний эталонного прибора. Данное отклонение – систематическая погрешность, которую следует учитывать при определении результата контроля. Случайная погрешность экспериментальных приборов находится в пределах от 1,44 до 1,96 град., что почти в 2 раза меньше погрешности ИСЛ-М (3,48 град.). Средняя трудоемкость применения приборов с угломером – наименьшая и составляет 5 чел.-мин, с линейкой несколько выше – 6,1, люфтметра – наибольшая – 18 чел.-мин. Это обусловлено тем, что угломер можно быстро устанавливать на обод рулевого колеса. Повышение трудоемкости при применении линейки в 1,2 раза в сравнении с угломером вызвано необходимостью выполнения вычислений на калькуляторе. Высокая трудоемкость по ИСЛ-М обусловлена большим объемом подготовительно-заключительных работ, а также необходимостью измерений с девятикратной повторностью. В результате средняя трудоемкость по экспериментальным приборам не превышает 5,5 чел.-мин, что в 3,5 раза меньше, чем по ИСЛ-М. Таким образом, приборы с линейкой обладают меньшей погрешностью, но имеют большую трудоемкость, чем их аналоги с угломером. По таким противоречивым данным весьма сложно выбрать лучший прибор. Разумеется, для этого требуется показатель  $C_{\phi_i}$  выбора, который и был определен в дальнейшем.

Результаты вычислений  $C_{\phi_i}$  при  $N_{Mi}$ , равном от 1 до 10, представлены на рис. 6. При повышении  $N_{Mi}$  числовые значения  $C_{\phi_i}$  по всем приборам уменьшаются в соответствии с функцией обратной пропорциональности. Это объясняется тем, что показатель  $C_{\phi_i}$  включает в себя два вида параметров: переменные  $C_{Ki}$ ,  $C_{ТОPi}$ ,  $C_{Mi}$ ,  $C_{Xi}$ ,  $C_{Yi}$ , значения которых зависят от числа  $N_{Mi}$ ; и

постоянные  $C_{Pi}$  и  $I_{Pi}$ , независимые от  $N_{Mi}$ . Так, при  $N_{Mi} = 1$  среднее по всем приборам значение показателя  $C_{\phi_i}$  равно 0,512 (на рис. 6 средние значения  $C_{\phi_i}$  не показаны), при  $N_{Mi} = 10$  это число уменьшилось до 0,188 тыс. руб. на ед. к., то есть в 2,7 раза. Эти же параметры по экспериментальным приборам (без учета приборов ДЛ-01А и ИСЛ-М): 0,244 и 0,140 тыс. руб. на ед. к. – снижение  $C_{\phi_i}$  в 1,7 раза. Получается, что чем дороже приборы, тем они более чувствительны к снижению  $C_{\phi_i}$  с увеличением  $N_{Mi}$ . Поэтому, как следует из рис. 6, линия 9 (прибор ДЛ-01А, который в 4 раза дороже «среднего» экспериментального прибора, но точнее его) пересекает почти все другие линии. При  $N_{Mi} = 1$  прибор ДЛ-01А занимает 9-е место в ряду, при  $N_{Mi} = 10$  – уже 4-е.

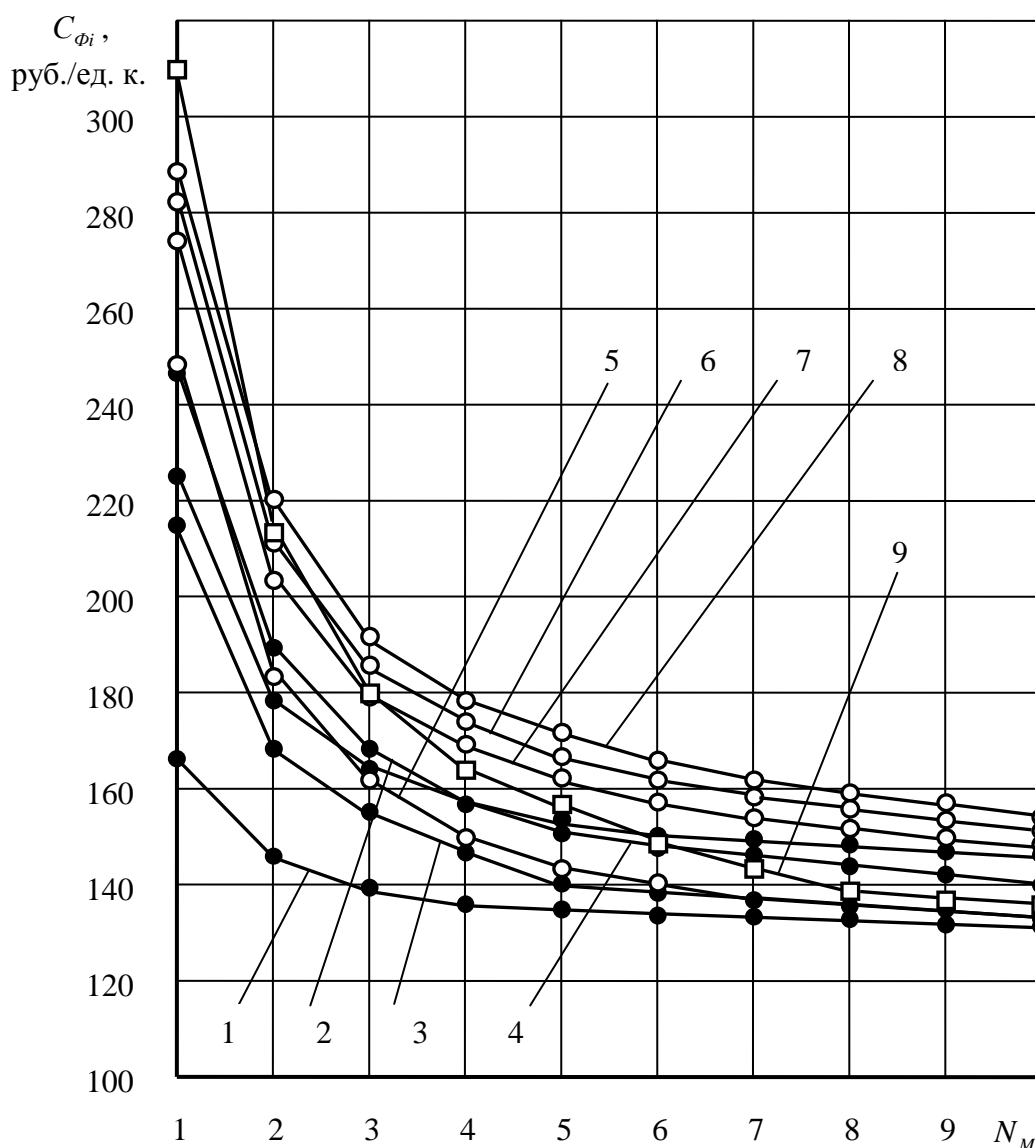


Рис. 6 - Графическая иллюстрация изменения показателя  $C_{\phi_i}$  в зависимости от числа обслуживаемых машин  $N_{Mi}$ : 1, 2, 3, 4 – приборы на основе линейки (●) – Л-ВК, Л-ПН, Л-ПП, Л-МК; 5, 6, 7, 8 – приборы на базе угломера (○) – У-ВК, У-ПН, У-ПП, У-МК; 9 (□) – прибор ДЛ-01А

Таким образом, в соответствии с показателем  $C_{\phi_i}$  лучшим является прибор на основе линейки с визуальным контролем начала поворота управляемых колес – Л-ВК. Однако если учесть, что он имеет систематическую погрешность 5,9 град., например для трактора МТЗ-80, и эта погрешность может принимать иное значение по другим маркам машин, то предпочтение при выборе следует отдать прибору Л-ПП, в состав которого также входит линейка. С другой стороны, если в практическом смысле вычисление СХРК по результатам измерений длины хорды линейкой затруднительно, то при  $N_{Mi} \leq 3$  лучше использовать У-ПП, а при  $N_{Mi} > 3$  – прибор ДЛ-01А (рис. 6).

В целом, выбор лучших приборов осуществлен по разработанному алгоритму, который представлен следующими блоками. Первый предусматривает создание исходной информации, включающей в себя данные по эксплуатационным свойствам приборов ЭСП<sub>i</sub> – множество параметров  $Y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_j)$  и условия их применения УПП – множество параметров  $Z = (z_1, z_2, z_3, \dots, z_k)$ . Второй блок показывает порядок вычисления параметров  $C_{Ki}$ ,  $C_{Pi}$ ,  $C_{ТОРi}$ ,  $C_{Mi}$ ,  $C_{Xi}$ ,  $C_{Yi}$ , а также  $P_{Pi}$ ,  $P_{Pi}$  и  $I_{Pi}$ ,  $I_{Pi}$ ,  $I_{Pii}$ . В третьем блоке сформулировано условие выбора средств. Алгоритм можно вычислить с применением инженерного калькулятора или в программной среде «Excel».

К предложенным методу определения СХРК по меткам и средствам контроля рулевого управления разработана технология его диагностирования в виде технологических карт на определение свободного хода рулевого колеса.

Экономический эффект применения выбранных приборов (Л-ПП, У-ПП, ДЛ-01А) определен по их показателям функционирования. С повышением числа обслуживаемых машин от 1 до 10 годовой экономической эффект по этим приборам увеличивается от 7 до 14 тыс. руб. в расчете на один прибор.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В процессе совершенствования приборов для определения СХРК абсолютная погрешность осталась на одном и том же уровне –  $\pm 1$  град., габаритные размеры увеличились в 10 раз, масса – в 5 раз, стоимость – в 4,3 раза, а трудоемкость определения параметра – в 2,3 раза. При этом созданы электронные приборы, но они могут быть востребованы только органами Гостехнадзора и в рядовых хозяйствах применения не находят. Этим объясняется необходимость совершенствования приборов для диагностирования РУ.

2. Разработана математическая модель функционирования средств контроля рулевого управления колесных тракторов. Она представляет собой обратно пропорциональную функцию удельной стоимости контроля от числа обслуживаемых машин. При этом учтены параметры: стоимость приобретения и использования средств, затраты на восстановление их работоспособности, на поверку, хранение и утилизацию, а также издержки раннего и позднего обслуживания, обусловленные случайной погрешностью средств.

3. Усовершенствованы средства определения СХРК, к которым относятся измерительная линейка для реализации способа контроля СХРК по меткам и оп-



тико-механический угломер КИ-13926 с дополнительной шкалой и с кронштейном КИ-13949 ГОСНИТИ. Они обеспечивают возможность определения СХРК по началу поворота управляемых колес, для чего снабжены прожектором, настенным или портативным экраном, либо компьютерной мышью с сигнальной лампой.

При этом найдены новые технические решения, на которые получено 5 патентов РФ на изобретения и 1 положительное решение о выдаче патента.

4. Обоснованы технические характеристики приборов. Их габаритные размеры в 12 раз, а масса в 20 раз меньше аналога ИСЛ-М. Наименьшая случайная погрешность (1,59 град.) – по приборам на основе линейки, наибольшая (1,86 град.) – на базе угломера. Трудоемкость контроля наибольшая по приборам с линейкой (6,1 чел.-мин) и наименьшая – с угломером (5,0 чел.-мин). Полученные данные противоречивы: линейка точнее, но более трудоемка в использовании; угломер менее точный, хотя имеет наименьшую трудоемкость. Поэтому выбрать лучший прибор, ориентируясь только на погрешность и трудоемкость, не представляется возможным: нужно учитывать все параметры показателя функционирования средств контроля.

Относительная ошибка определения параметров погрешности и трудоемкости не превышает 10 % при доверительной вероятности 0,95.

5. Разработан алгоритм выбора средств контроля РУ, который предусматривает необходимую базу данных, а также порядок выбора и вычислений в программной среде «Excel».

6. Обоснованы эффективные модели средств контроля РУ. В соответствии с показателем лучшим является прибор на основе линейки с визуальным контролем начала поворота управляемых колес – Л-ВК. Однако если учесть, что он имеет систематическую погрешность 5,9 град., например для трактора МТЗ-80, и эта погрешность может принимать иное значение по другим маркам машин, то предпочтение при выборе следует отдать прибору Л-ПП, в состав которого также входит линейка. С другой стороны, если в практическом смысле вычисление СХРК по результатам измерений длины хорды линейкой затруднительно, то при числе машин меньше 3 лучше использовать У-ПП, а при их числе больше 3 – прибор ДЛ-01А. К предложенному методу определения СХРК по меткам и средствам контроля РУ разработана технология его диагностирования в виде технологических карт.

7. Экономический эффект применения выбранных приборов (Л-ПП, У-ПП, ДЛ-01А) определен по их показателям функционирования. С повышением числа обслуживаемых машин от 1 до 10 годовой экономический эффект по этим приборам также увеличивается соответственно от 7 до 14 тыс. руб. в расчете на один прибор (в 2 раза).

При внедрении приборов Л-ПН и Л-ПП в ООО «Хромовское» и У-ПН, У-ПП в ООО «Бутаковское» Качугского района Иркутской области годовой экономический эффект составил соответственно 10,8 и 12,5 тыс. руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих печатных работах:

## Статьи в изданиях по списку ВАК

1. Хабардин А. В. Результаты сравнительных испытаний приборов ДЛ-01А и ИСЛ-М для проверки рулевого управления на погрешность / А. В. Хабардин, В. Н. Хабардин, М. В. Чубарева // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 7. – С. 147 – 150.

2. Хабардин А. В. Результаты экспериментальной проверки динамометра-люфтметра ДЛ-01А / А. В. Хабардин, В. Н. Хабардин // Вестник ИрГСХА. – 2010. – Вып. 38. – С. 120 – 125.

3. Хабардин А. В. Математическое описание вероятностей раннего и позднего обслуживания при применении приборов с различной погрешностью / А. В. Хабардин // Вестник ИрГСХА. – 2010. – Вып. 41. – С. 116–122.

4. Хабардин А. В. Опытные образцы приборов для измерения свободного хода рулевого колеса и результаты их экспериментального исследования / А. В. Хабардин // Вестник ИрГСХА. – 2010. – Вып. 41. – С. 122 – 131.

5. Хабардин А. В. Свободный ход рулевого колеса как параметр технического состояния рулевого управления / А. В. Хабардин, В. Н. Хабардин, А. Е. Кузьмин, М. В. Чубарева, Т. Л. Горбунова // Вестник ИрГСХА. – 2011. – Вып. 43. – С. 154 – 160.

6. Чубарева М. В. Задача, критерий и алгоритм выбора технических средств диагностирования машин / М. В. Чубарева, А. В. Хабардин, В. Н. Хабардин // Вестник ИрГСХА. – 2011. – Вып. 47. – С. 108 – 115.

## Статьи в научных сборниках

7. Степанов Н. В. Новый гидромеханический прибор для проверки рулевого управления и математическое моделирование его основных параметров / Н. В. Степанов, В. Н. Хабардин, А. В. Хабардин // Совместная деятельность сельскохозяйственных товаропроизводителей и научных организаций в развитии АПК Центральной Азии : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., 25-27 марта 2008 г. : в 4 ч. – Иркутск, 2008. – Ч. 3. – С. 129 – 136.

8. Хабардин А. В. Математическое моделирование процесса диагностирования рулевого управления / А. В. Хабардин // Вестник ИрГСХА. – 2009. – Вып. 36. – С. 125 – 128.

9. Хабардин А. В. Критерий выбора и совершенствования методов и средств диагностирования как удельная стоимость надежности / А. В. Хабардин // Инновационные технологии в АПК : сб. докладов региональной науч.-практ. конф. молодых ученых Сибирского федерального округа с международным участием, посвященной 65-летию Победы в Великой Отечественной войне. – Иркутск : ИрГСХА, 2010. – С. 326 – 329.

10. Хабардин А. В. Математическое описание реализации ресурса объекта диагностирования с учетом погрешности измерений параметра / А. В. Хабардин // Техника и технологии инженерного обеспечения АПК : сб. материалов IV-го науч.-произв. семинара «Чтения И. П. Терских» (26-27 сентября 2011 г.). – Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2011. – С. 37 – 41.

## Патенты и заявки на изобретения Российской Федерации

11. Пат. 2161787 Рос. Федерация, МПК<sup>7</sup> G 01 M 17/06. Динамометр с гидравлическим люфтомером на диске для диагностирования рулевого управления / Хабардин В.Н., Хабардин С.В., Хабардин А.В.; заявители и патентообладатели Хабардин В.Н., Хабардин С.В., Хабардин А.В. – № 98117500/28 ; заявл. 22.09.98; опубл. 10.01.01, Бюл. № 1. – 6 с.

12. Пат. 2163362 Рос. Федерация, МПК<sup>7</sup> G 01 M 17/06. Динамометр-люфтомер с винтовым присоединительным устройством / Хабардин В.Н., Хабардин А.В., Кистенев И.Н.; заявители и патентообладатели Хабардин В.Н., Хабардин А.В., Кистенев И.Н. – № 99102559/28 ; заявл. 09.02.99; опубл. 20.02.01, Бюл. № 5. – 5 с.

13. Пат. 2378632 Рос. Федерация, МПК G 01 M 17/06 (2006.01). Прибор для диагностирования рулевого управления с компьютерной мышью – сигнализатором начала поворота управляемых колес / Степанов Н. В, Хабардин А. В., Хабардин В. Н.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Иркут. гос. с.-х. акад». – № 2008113895/11; заявл. 08.04.2008; опубл. 10.01.2010, Бюл. № 1. – 6 с.

14. Пат. 2411486 Рос. Федерация, МПК G 01 M 17/06 (2006.01). Электронно-световой сигнализатор начала поворота управляемых колес / Хабардин А. В.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Иркут. гос. с.-х. акад». – № 2008152947/11; заявл. 31.12.2008; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 4. – 26 с.

15. Пат. 2437073 Рос. Федерация, МПК G01M 17/06 (2006.01), B62D 15/02 (2006.01). Способ диагностирования рулевого управления автотранспортных средств / Хабардин А. В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Иркут. гос. с.-х. акад.» - № 2010109164/11 ; заявл. 11.03.2010; опубл. 20.12.2011, Бюл. № 35. – 36 с.

16. Положительное решение о выдаче патента РФ на изобретение по заявке № 2010109185/11. Оптико-механический прибор для измерения свободного хода рулевого колеса автотранспортных средств / Хабардин А. В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Иркут. гос. с.-х. акад.» - № 2010109185/11 ; заявл. 14.10.2010.

17. Заявка на изобретение РФ № 2010109184/11. Световой экран для фиксации начала поворота управляемых колес при диагностировании автотранспортных средств / Хабардин А. В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Иркут. гос. с.-х. акад.» - № 2010109184/11 ; заявл. 14.10.2010.

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Подписано в печать 19 марта 2012 г.

Объем 1,0 печ. л. Тираж 100 экз.

Издательство ФГБОУ ВПО «Иркутская государственная  
сельскохозяйственная академия»  
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный