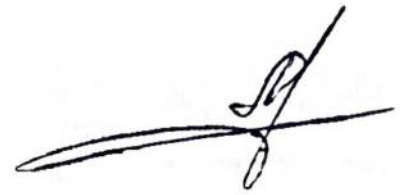


На правах рукописи



**МОРГАЛИК**  
**Борис Маркович**

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ  
МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СПОСОБОМ**

05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург - 2013

Работа выполнена в Государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет» на кафедре «Строительные, дорожные, подъемно-транспортные машины и оборудование».

**Научный руководитель:** Максименко Алексей Никифорович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Строительные, дорожные, подъемно-транспортные машины и оборудование» ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

**Официальные оппоненты:** Носов Виктор Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Приборостроение» ФГБ ОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Седакова Елена Борисовна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Трение и износ» ФГБ УН «Институт проблем машиноведения Российской Академии Наук»

**Ведущая организация:** ОАО «Заднепровский межрайагросервис», Республика Беларусь, г. Могилев

Защита состоится 24 декабря в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.229.12 при СПбГПУ ФГБ ОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» в ауд. 118 главного учебного корпуса, по адресу: 195251, Ленинградская область, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке СПбГПУ ФГБ ОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью, просим направлять по указанному выше адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета. Для связи с секретарем могут быть использованы: тел. (812) 2974845, e-mail: tmm-russia@mail.ru.

Автореферат разослан «22» ноября 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



А. Н. Евграфов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В настоящее время технологическое оборудование машиностроительной промышленности, а также мобильная техника используют различные приводы, в том числе и механические трансмиссии с зубчатыми передачами. Эффективность использования техники в значительной степени зависит от уровня поддержания и восстановления ее технического состояния на этапе эксплуатации. Техническое состояние техники часто ухудшается из-за отказа сборочных единиц трансмиссии (30...67 % отказов в зависимости от конструктивных особенностей, уровня сервисного обслуживания и условий эксплуатации). Анализ результатов эксплуатации тракторов МТЗ-1221 за 8 лет показал, что трудоемкость поддержания и восстановления технического состояния трансмиссии составила 48 % от трудоемкости восстановления технического состояния машины в целом. Проблема высокой трудоемкости поддержания и восстановления технического состояния во многом определяется существующим потоком отказов сборочных единиц трансмиссий, их зубчатых передач, который возникает вследствие невысокого уровня сервисного обслуживания, низкой достоверности и высокой трудоемкости мониторинга состояния зубчатых передач с применением существующих средств контроля.

Задачи снижения трудоемкости мониторинга механических трансмиссий, их зубчатых передач, снижения потока отказов и, как следствие, снижения трудоемкости восстановления технического состояния механических трансмиссий в работе предлагается решить магнитоэлектрическим способом, отслеживая значение суммарного углового зазора (с. у. з.), которое определяется разницей количества импульсов, генерируемых источником опорного сигнала за один выходной импульс до тестового воздействия и после тестового воздействия на соответствующих режимах работы механической трансмиссии, а обработку результатов диагностирования производить специальным средством диагностирования с программным обеспечением. Применение магнитоэлектрического способа, отличающегося оперативностью реализации, повышенной достоверностью контроля, позволит определить остаточный ресурс, снизить трудоемкость восстановления технического состояния, выработать рекомендации для повышения уровня технического состояния механических трансмиссий и осуществить дифференцированный подход в техническом обслуживании, исходя из конкретного состояния в определенный период эксплуатации.

В соответствии с существующей проблемой задача разработки математических моделей, позволяющих моделировать процессы, протекающие в тяговом и тестовом режимах работы зубчатых передач, разработки магнитоэлектрического способа мониторинга значений параметров технического состояния зубчатых передач, установления зависимостей величины контролируемого сигнала, получаемого магнитоэлектрическим способом от геометрических параметров зубчатых передач и разработки диагностического обеспечения, позволяющего определить остаточный ресурс, снизить трудоемкость восстановления технического состояния, выработать рекомендации для повышения уровня технического состояния и осуществить дифференцированный подход в техническом обслуживании механи-

ческих трансмиссий, безусловно является актуальной.

**Объект исследования.** Объектом исследования является механическая трансмиссия.

**Предмет исследования.** Предметом исследования является техническое состояние зубчатых передач механической трансмиссии.

**Цель исследования.** Целью работы являлось совершенствование оценки технического состояния зубчатых передач механических трансмиссий за счёт их мониторинга магнитоэлектрическим способом, которое обеспечило прогнозирование остаточного ресурса, снижение трудоёмкости и повышение оперативности оценки технического состояния зубчатых передач механических трансмиссий.

**Задачи исследования.**

1. Разработать математическую модель механической трансмиссии, позволяющую проводить моделирование процессов, протекающих в тяговом и тестовом режимах работы зубчатых передач механической трансмиссии.

2. Разработать магнитоэлектрический способ мониторинга значений параметров технического состояния зубчатых передач механической трансмиссии.

3. Установить зависимости величины контролируемого сигнала, получаемого магнитоэлектрическим способом от геометрических параметров зубчатых передач, позволяющие определить значения параметров технического состояния зубчатых передач исходя из текущей величины износа боковой поверхности зубьев зубчатых передач механической трансмиссии.

4. Разработать диагностическое обеспечение на основе магнитоэлектрического способа мониторинга, позволяющее спрогнозировать остаточный ресурс, повысить оперативность контроля значений параметров технического состояния зубчатых передач и выработать рекомендации для повышения уровня технического состояния зубчатых передач механической трансмиссии.

5. Провести практическое диагностирование технического состояния зубчатых передач механической трансмиссии с целью прогнозирования остаточного ресурса. На основе оценки эффективности использования диагностического обеспечения и результатов, полученных в ходе диагностирования, разработать алгоритм технического диагностирования, основой которого являются рекомендации для повышения уровня технического состояния зубчатых передач механической трансмиссии.

**Научная новизна.**

1. Установлена закономерность, положенная в основу разработанного и запатентованного магнитоэлектрического способа мониторинга, заключающаяся в том, что в тяговом режиме работы зубчатых передач кинематической цепи значение контролируемого сигнала определяется отношением произведения количества зубьев источника опорного сигнала и передаточного числа к количеству зубьев источника выходного сигнала кинематической цепи, а в тормозном (тестовом) режиме работы зубчатых передач кинематической цепи значение контролируемого сигнала, характеризующееся разрывом и замыканием контакта в зацеплении (величиной выброса контролируемого сигнала), – произведением геометрических параметров зубчатых передач и отношения произведе-

дения количества зубьев источника опорного сигнала и передаточного числа к количеству зубьев источника выходного сигнала кинематической цепи.

2. Установлены зависимости величины контролируемого сигнала от геометрических параметров зубчатых передач, позволяющие определить значение контролируемого сигнала исходя из текущей величины износа боковой поверхности зубьев зубчатых передач, а также контролепригодность зубчатых передач кинематической цепи исходя из разработанных критериев глубины поиска места неисправности.

3. Разработан алгоритм технического диагностирования зубчатых передач, позволяющий снизить трудоемкость диагностирования технического состояния зубчатых передач механической трансмиссии до 60 %, повысить оперативность контроля технического состояния (сократить время диагностирования до 30 % для промышленного объекта диагностирования МТЗ-1221), спрогнозировать остаточный ресурс зубчатых передач и разработать рекомендации для повышения уровня технического состояния зубчатых передач механической трансмиссии.

#### **Теоретическая значимость работы.**

1. Установлена закономерность, позволяющая определить значение контролируемого сигнала в тяговом и тормозном (тестовом) режимах работы зубчатых передач.

2. Установлена зависимость, позволяющая определить значение контролируемого сигнала исходя из текущей величины износа боковой поверхности зубьев зубчатых передач.

3. Установлены зависимости, позволяющие определить значение контролируемого сигнала, лимитирующее контролепригодность зубчатых передач, исходя из критериев глубины поиска места неисправности.

#### **Практическая значимость работы.**

1. Разработанный опытный образец средства диагностирования и его специализированное программное обеспечение являются прототипом для создания промышленного образца средства диагностирования, который может быть использован в мониторинге механических трансмиссий на основе зубчатых передач.

2. Алгоритм технического диагностирования, разработанный в рамках научно-исследовательской программы «Анализ показателей надежности тракторов МТЗ в гарантийный период и концепция сервисного обслуживания. Ч.1», «Разработка методики и систем диагностирования двигателя, трансмиссии и гидропривода. Ч. 2» по договору № 0216 на 2002 г. внедрен и используется в производственном процессе сервисного обслуживания техники эксплуатационной организации «Заднепровский межрайагросервис» (г. Могилев, Республика Беларусь).

3. Алгоритм технического диагностирования и опытный образец средства диагностирования, выступающие в качестве результатов научно-исследовательской работы, внедрены в учебный процесс кафедры «Строительные и дорожные машины» Белорусско-Российского университета (дисциплины «Эксплуатация строительных и дорожных машин» и «Диагностика строительных и

дорожных машин») согласно протоколу № 1 от 9 сентября 2005 г. Использование результатов научно-исследовательской работы позволяет студентам получить навыки по диагностированию зубчатых передач механических трансмиссий и навыки по определению остаточного ресурса зубчатых передач в ходе учебного процесса.

4. Использование в промышленных условиях разработанного алгоритма технического диагностирования, разработанного средства диагностирования позволит спрогнозировать остаточный ресурс, снизить трудоемкость диагностирования, повысить оперативность контроля и выработать рекомендации к повышению уровня технического состояния зубчатых передач.

**Методология и методы исследования.** Методология и методы исследования включают основные положения теории вероятности и математической статистики, теории эксперимента, математического моделирования, программирования.

**Положения, выносимые на защиту.**

1. Зависимость величины контролируемого сигнала от геометрических параметров зубчатых передач, позволившая установить значение контролируемого сигнала исходя из текущей величины износа боковой поверхности зубьев зубчатых передач.

2. Зависимости величины контролируемого сигнала от геометрических параметров зубчатых передач, позволившие оценить контролепригодность зубчатых передач исходя из критериев глубины поиска места неисправности диагностируемой кинематической цепи.

3. Алгоритм технического диагностирования зубчатых передач на основе магнитоэлектрического способа, позволивший спрогнозировать остаточный ресурс, снизить трудоемкость диагностирования, повысить оперативность контроля и выработать рекомендации для повышения уровня технического состояния зубчатых передач диагностируемой кинематической цепи.

**Степень достоверности.** Научные положения аргументированы, достоверность полученных результатов и выводов подтверждается обработкой результатов исследований методами математической статистики, выводы подтверждены проведенными экспериментальными исследованиями и их воспроизводимостью.

**Апробация результатов диссертации.**

Основные положения и результаты диссертации обсуждались на 16 конференциях, в том числе на 7 международных. Материалы диссертационной работы докладывались на республиканских научно-технических конференциях «Новые конкурентоспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка» (Могилев, 2000), «Перспективные технологии, материалы и системы» (Могилев, 2001, 2003), «Создание и применение высокоэффективных наукоемких ресурсосберегающих технологий, машин и комплексов» (Могилев, 2001), «Потенциал науки – развитию промышленности, экономики, культуры, личности» (Минск, 2002, 2004), «Современные технологии, материалы, машины и оборудование» (Могилев, 2002), «Современные технологии, машины и материалы для зимнего содержания автомобильных до-

рог» (Могилев, 2003), «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» (Могилев, 2004) и международных «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (Могилев, 2005, 2006, 2009), Интерстроймех (Могилев, 2002; Бишкек, 2009; Белгород, 2010; Могилев, 2011).

#### **Опубликованность результатов диссертации.**

По теме диссертации опубликовано 28 печатных работ: 7 статей в изданиях, включенных в перечень научных изданий ВАК, из них 3 статьи, включенные в перечень научных изданий ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, 4 статьи, включенные в перечень научных изданий ВАК Российской Федерации для опубликования результатов диссертационных исследований; 8 статей в изданиях, включенных в Перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований, 11 тезисов докладов в материалах конференций. Новизна технических решений подтверждена 2 патентами Национального центра интеллектуальной собственности Республики Беларусь.

#### **Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем работы составляет 117 страниц. Диссертация содержит 22 иллюстрации на 16 страницах, 30 таблиц на 22 страницах, а также 12 приложений на 74 страницах, 105 библиографических источников на 11 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, приведена краткая характеристика исследуемых вопросов и предлагаемых подходов к их решению, показана практическая значимость работы.

**В первой главе** представлен обзор и анализ работ, посвященных вопросам контроля технического состояния на стадии эксплуатации зубчатых передач. Из них следует отметить труды О. В. Берестнева, А. В. Драгана, Р. М. Игнатищева, С. Н. Калашникова, Н. Н. Маркова, М. А. Палея, М. Ф. Пашкевича, В. М. Пашкевича, Б. А. Тайца и многих других. В настоящее время эффективное использование машин и технологического оборудования, использующего привода, возможно при решении задач углубленного, оперативного и непрерывного контроля зубчатых передач механических трансмиссий. В современных научных трудах неоднократно поднималась проблема мониторинга зубчатых передач не только на стадии изготовления, но и в процессе эксплуатации, что определяет уровень технического состояния машины в целом. Значительный вклад в развитие этого направления внесли О. В. Берестнев, В. Г. Гушин, А. В. Драган, Р. М. Игнатищев, А. П. Крившин, И. В. Казарцев, М. Ф. Пашкевич, В. М. Пашкевич, Б. А. Тайц, В. П. Тихомиров и др. Из иностранных авторов можно выделить Е. А. Elsayed, М. О. Osman, Р. В. Randall, D. E. Stoneham, F. J. Taylor и др. Одной из наиболее важных систем, обеспечивающих необходимый технический уровень машин, является механическая трансмиссия. Кон-

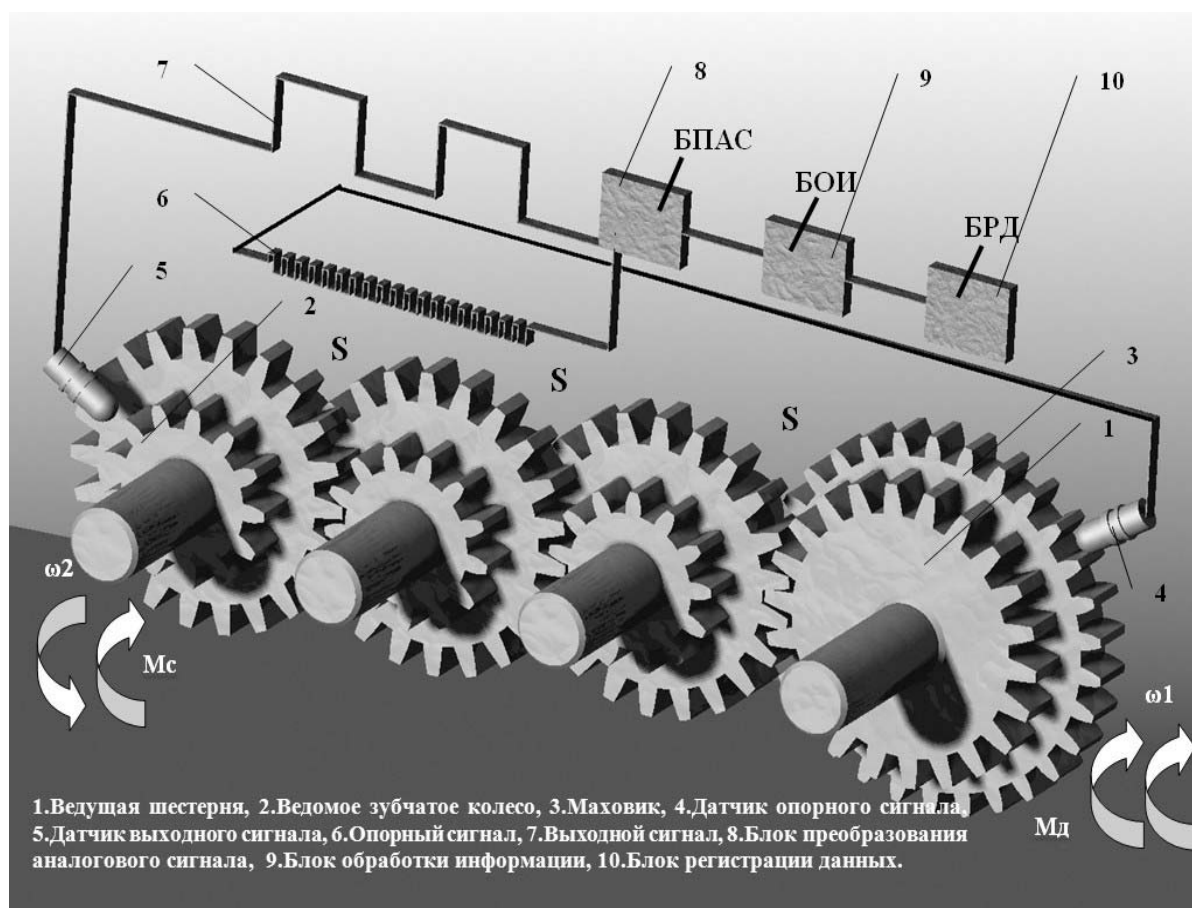
троль технического состояния (по ГОСТ 20911-89) зубчатых передач механической трансмиссии в процессе эксплуатации требует специальных приборов, приспособлений и стендов. Анализ состояния вопроса по теме диссертационной работы показывает, что в настоящее время средства контроля, находящиеся в распоряжении сервисных организаций, и сервисное обслуживание отстают по уровню предъявляемых к ним требований. На этапе эксплуатации в механической трансмиссии возникают дефекты (износ поверхности, изменение геометрии зубьев и др., появившиеся, в частности, из-за неправильных режимов эксплуатации и технического обслуживания), непрерывный и своевременный мониторинг которых является обязательным для поддержания зубчатых передач в технически исправном состоянии, назначения необходимого вида регулировочных и ремонтных работ, прогнозирования их остаточного ресурса.

В рамках диссертационной работы был проведен анализ количества отказов различных систем мобильных машин, определяющих их техническое состояние, в эксплуатационной сервисной организации «Заднепровский межрайагросервис» в период с 2000 по 2008 гг. Анализ показал, что количество отказов распределилось следующим образом: электрооборудование – 444, двигатель – 443, гидросистема – 281, трансмиссия – 162, ходовая система – 90. Согласно результатам, по количеству отказов трансмиссия находится на четвертом месте, однако по трудоемкости восстановления одного дефекта на первом трансмиссия – 48 %, затем гидросистема – 33 % и только потом двигатель и электрооборудование – 18 %. Принимая во внимание наличие эксплуатационных дефектов зубчатых передач, необходимо отметить, что техническое состояние последних зависит от ряда факторов, среди которых наработка, режимы эксплуатации, невысокий уровень технического обслуживания. Учесть влияние всех факторов на состояние в процессе эксплуатации сложно, и в связи с этим наиболее целесообразными представляются мониторинг и оценка значений параметров технического состояния зубчатых передач в течение всего срока эксплуатации. Периодичность технического обслуживания и ремонта следует назначать не по величине наработки, а по мере необходимости, которая будет определяться количественными значениями параметров технического состояния, зафиксированными на текущем этапе эксплуатации объекта диагностирования. Заявленный подход совершенствования оценки технического состояния зубчатых передач можно реализовать магнитоэлектрическим способом, отслеживая значения суммарного углового зазора на соответствующих режимах тестового воздействия и обработки результатов определенным средством диагностирования со специализированным программным обеспечением. Применение магнитоэлектрического способа позволит повысить оперативность, снизить трудоемкость мониторинга и выработать рекомендации для повышения уровня технического состояния зубчатых передач, исходя из конкретного состояния в определенный период эксплуатации.

**Во второй главе** представлены результаты оценки дефектов (износа), возникающих при эксплуатации механических трансмиссий. На основании ГОСТ 16530-83, ГОСТ 1643-81, ГОСТ 25044-81, ГОСТ 24406-80, а также критериев, регламентирующих предельный износ зубьев зубчатых колес, которыми явля-



ются окружная скорость зубчатых колес (при  $v > 3$  м/с предельный износ составляет  $0,25S_n$ ,  $S_n$  – толщина зуба по хорде начальной окружности), уровень шума при работе зубчатых колес (при повышенном уровне шума  $L = 90 \dots 100$  дБ предельный износ составляет  $0,2S_n$  (согласно А. П. Крившину)), нагрузочная способность зубчатых колес (при  $v > 3$  м/с для силовых зубчатых передач предельный износ составляет  $0,2S_n$ ), контактная прочность и запас прочности зубьев (для силовых зубчатых передач предельный износ составляет  $0,25S_n$ ), определена величина диагностического параметра (бокового зазора), характеризующая предельный износ зубьев зубчатых колес. В соответствии с предложенным и запатентованным магнитоэлектрическим способом диагностирования зубчатых передач целесообразно осуществлять путем реализации тестового воздействия на объект диагностирования (рисунок 1). Тестовым является такое воздействие, при котором вначале обеспечивается выбор свободного хода одного (разгон зубчатой передачи), а затем другого (торможение приводным двигателем, когда силы инерции будут превышать движущие силы) направления.

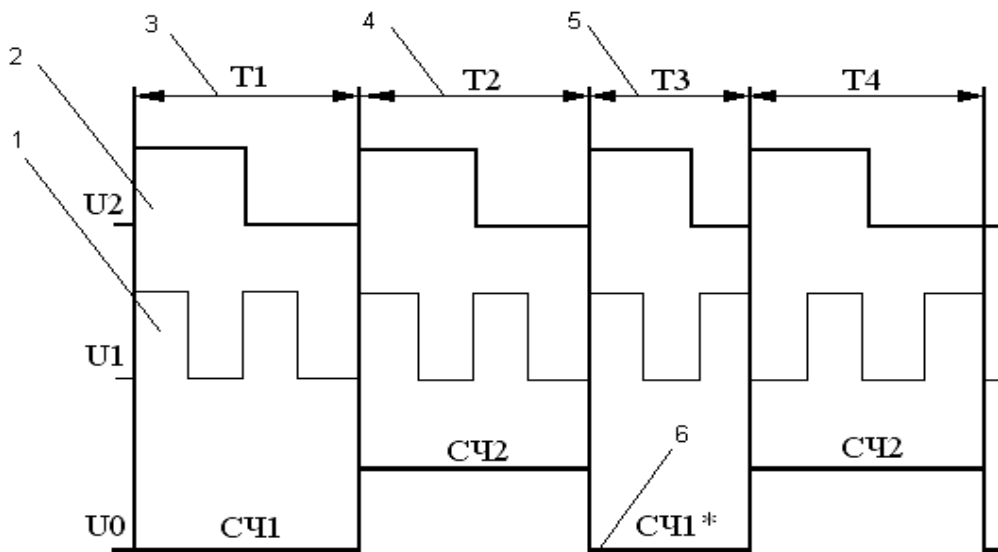


**Рисунок 1 – Способ диагностирования зубчатых передач**

К зубчатым передачам кинематической цепи с ведущей шестерней 1 и ведомым зубчатым колесом 2, вращающимся с угловыми скоростями  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , соответственно подведены крутящий момент  $M_d$  и момент сопротивления  $M_c$ . Для диагностирования зубчатых передач с ведущей шестерней 1 связан источник высокочастотного опорного сигнала, представляющий собой зубчатый венец 3 с

числом зубьев, существенно превышающим число зубьев ведущей шестерни 1, и датчик 4, считывающий с ведущего вала (венца 3) высокочастотный опорный сигнал 6. У зубчатого венца ведомого зубчатого колеса 2 установлен аналогичный датчик 5, считывающий импульсы зубцовой частоты 7 ведомого зубчатого колеса 2. Опорный сигнал 6 от ведущего вала и сигнал зубцовой частоты 7 с ведомого зубчатого колеса 2 поступают в электронные блоки 8, 9, 10 для обработки и сопоставления их между собой.

В электронный блок преобразования аналогового сигнала (БПАС) 8 поступают высокочастотный гармонический сигнал 6 от датчика 4, который является опорным сигналом  $U_1$  (поз. 1) (рисунок 2), и сигнал 7 зубцовой частоты от датчика 5, связанного с ведомым зубчатым колесом 2, для удобства обработки и счета преобразованные в прямоугольные импульсы  $U_2$  (поз. 2). Затем в блоке обработки информации (БОИ) 9 в такте  $T_1$  (поз. 3) (см. рисунок 2) по переднему фронту импульса  $U_2$  запускается счетчик импульсов опорного сигнала СЧ1 (поз. 6) и останавливается по завершении такта  $T_1$ . В следующем такте  $T_2$  (поз. 4) запускается другой счетчик СЧ2, и по окончании такта показания счетчиков сравниваются между собой и с заданным предельным отклонением числа импульсов опорного сигнала на каждом такте  $T_i$ , заложенных в программе.



**Рисунок 2 – Принцип подсчета опорных импульсов**

Если количество импульсов на счетчиках одинаковы, то первый счетчик обнуляется и вновь вступает в работу на такте  $T_3$  (поз. 5). Сохранение информации осуществляется в блоке регистрации данных (БРД) 10. Разница между количеством импульсов опорного сигнала в ширине импульса ведомого зубчатого колеса до тестового воздействия и после даст искомую величину бокового зазора в зубчатой передаче.

Получена зависимость величины контролируемого сигнала (по ГОСТ 20911-89) от геометрических параметров зубчатых передач, позволяющая установить значение контролируемого сигнала исходя из текущей величины износа боковой поверхности зубьев зубчатых передач:

$$n_p = \sum_{k=1}^i \left( \frac{\left( (j_k + \Delta j_k) \cdot \prod_{L=1}^k \frac{z_{1L}}{z_{2L}} \right) \cdot z_{(ВЫХ)}}{\pi \cdot m_{(ВЫХ)}} \cdot \frac{z_{\max} \cdot u_p}{z_{(ВЫХ)}} \right) + \sum_{q=1}^e \left( \frac{\left( \left( \frac{j_q + \Delta j_q}{r_{шл./зМ}} \right) \cdot \left( \frac{z_{шл.ш./зМ} \cdot m_{шл.ш./зМ}}{2} \right) \cdot \prod_{M=1}^q \frac{z_{1M}}{z_{2M}} \right) \cdot z_{(ВЫХ)}}{\pi \cdot m_{(ВЫХ)}} \cdot \frac{z_{\max} \cdot u_p}{z_{(ВЫХ)}} \right), \quad (1)$$

где  $j_k, \Delta j_k$  – гарантированный боковой зазор и дополнительная величина бокового зазора, определяющая износ боковой поверхности зубьев зубчатых передач, мм;  $j_q, \Delta j_q$  – гарантированный боковой зазор и дополнительная величина бокового зазора, определяющая износ боковой поверхности зубьев зубчатых муфт, мм;  $i$  – общее количество зубчатых передач;  $e$  – общее количество шлицевых участков и зубчатых муфт;  $z_{1L}$  – число зубьев шестерни  $L$ -й ступени исследуемой кинематической цепи;  $z_{2L}$  – число зубьев колеса  $L$ -й ступени исследуемой кинематической цепи;  $z_{1M}$  – число зубьев шестерни  $M$ -й ступени исследуемой кинематической цепи;  $z_{2M}$  – число зубьев колеса  $M$ -й ступени исследуемой кинематической цепи;  $z_{\max}$  – число зубьев маховика;  $u_p$  – передаточное число диагностируемой цепи  $p$ ;  $z_{(ВЫХ)}$  – число зубьев ведомого зубчатого колеса, возле которого установлен датчик в диагностируемой цепи;  $z_{шл.ш./зМ}$  – число зубьев шлицевого участка вала (зубчатой муфты);  $m_{шл.ш./зМ}$  – модуль зубьев шлицевого участка вала (зубчатой муфты), мм;  $r_{шл./зМ}$  – радиус шлицевого элемента, мм;  $m_{(ВЫХ)}$  – модуль ведомого (выходного) зубчатого колеса, мм.

Моделируемая механическая трансмиссия, позволяющая проводить исследование процессов, протекающих при тестовых воздействиях, включает условия выбора боковых зазоров зубчатых передач трансмиссии, описывает поведение системы в двух состояниях: в процессе тягового режима, при котором боковые зазоры  $S_i$  в зубчатых передачах отсутствуют, и в процессе тормозного (тестового) режима, при котором контакт в зацеплении разрывается и в зубчатых передачах наблюдается раскрытие боковых зазоров  $S_i$ . Исследования процесса раскрытия боковых зазоров выполнены в ходе проведения вычислительного эксперимента для модели стендового объекта.

На рисунке 3 приведены результаты исследования процесса раскрытия боковых зазоров. На графике (см. рисунок 3, а) представлено тестовое воздействие на механическую трансмиссию при  $(M_d, N_e, G_T, g_e) = f(n_{кв})$  и постоянном или изменяемом моменте сопротивления  $M_c$ .

На графике (см. рисунок 3, б) при тестовом воздействии на систему наблюдается изменение значений реактивных моментов  $M_y$  в соответствии с описанным процессом тормозного режима. В момент изменения реактивными моментами  $M_y$  своего знака на графике (см. рисунок 3, в) наблюдается увеличение значения бокового зазора  $S_i$  (разрыв контакта в зацеплении) до предельного 0,048 рад с последующим уменьшением значения  $S_i$  (замыкание контакта в зацеп-

лении) при выходе системы из тормозного режима. На графике (см. рисунок 3, г) тормозной режим сопровождается снижением значения  $n_p$  на этапе 2 с последующим разрывом контакта и замыканием контакта в зацеплении (выброс  $n_p$ ) на этапах 2–3 и 3–4. На этапах 4–5 наблюдается переход системы из тормозного режима в тяговый, соответствующий этапам 1 и 6. На основе обработки результатов исследований получены режимы тестовых воздействий (применяемые в эксперименте на стендовом объекте диагностирования), в которых управление осуществляется с помощью факторов  $n_{кв}$  и  $M_c$ .

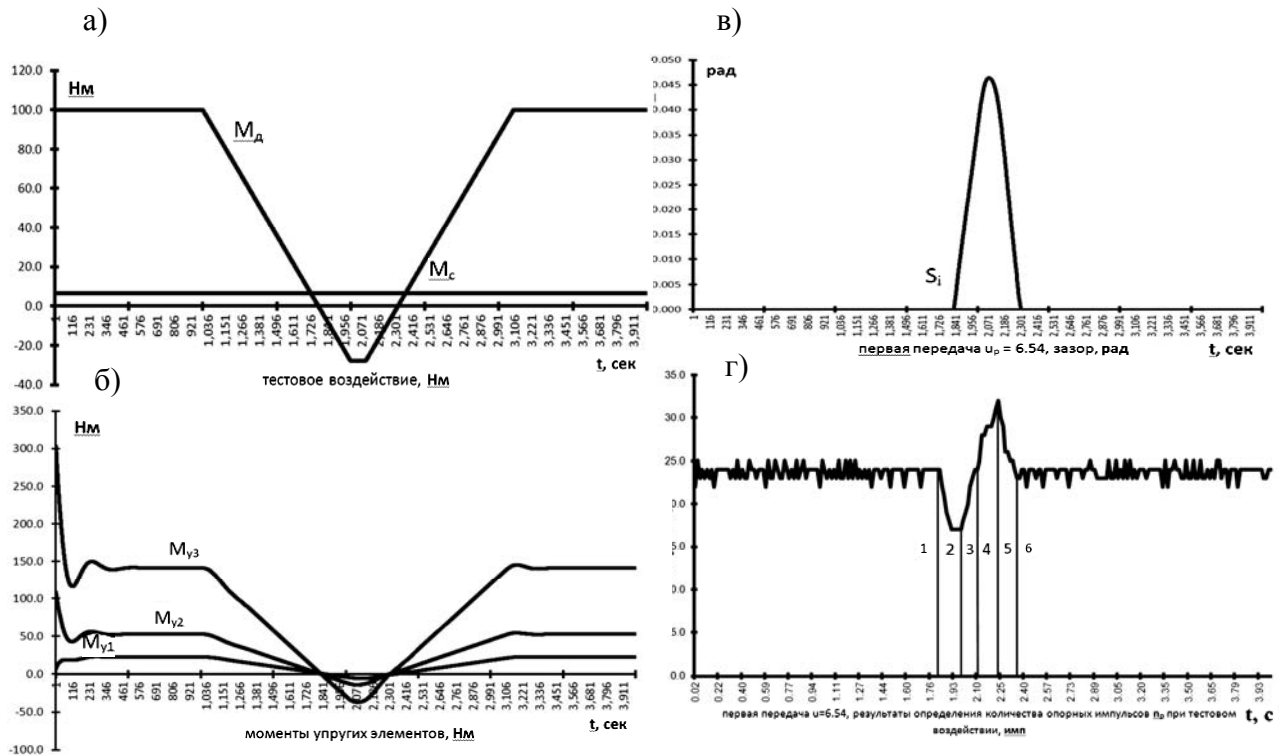


Рисунок 3 – Исследования процесса выбора боковых зазоров

В третьей главе представлены теоретические основы создания диагностического обеспечения и аппаратная реализация средства диагностирования (по ГОСТ 20911-89). В соответствии с установленной предельной величиной износа зубьев зубчатых колес, составляющей  $0,25S_n$ , определена величина бокового зазора для зубчатых передач. Износ зубьев варьируется от 0 до 100 % предельно допустимой величины (предельное значение бокового зазора  $J_k^{гар} + \Delta J_k^{тек}$  и  $J_q^{гар} + \Delta J_q^{тек}$  для каждого элемента зубчатой передачи  $k$  или  $q$ ). В зависимости от количества зубчатых передач  $i$  и количества шлицевых соединений (муфт)  $e$  по рассчитываемой кинематической цепи  $p$  формируются значения бокового зазора  $j_p^{тек}$  с износом 0...100 % с интервалом 25 %. Расчет текущего значения износа для  $k$ -й зубчатой передачи  $\Delta J_k^{тек}$  и износа  $q$ -го шлицевого или муфтового соединения  $\Delta J_q^{тек}$  осуществляется с использованием выражений  $\Delta J_k^{тек} = \Delta j_k^{тек} + \Delta j_k^{пред} \cdot 0,25$ ;  $\Delta J_q^{тек} = \Delta j_q^{тек} + \Delta j_q^{пред} \cdot 0,25$  соответственно.

Значения  $j_p^{\text{тек}}$  составляют набор диагностических данных, которые применяются в алгоритме подготовки диагностических данных по отдельной кинематической цепи  $p$ . С использованием предельной величины износа зубьев зубчатых колес, равной  $0,25S_n$ , получены зависимости величины контролируемого сигнала от геометрических параметров зубчатых передач, позволяющие установить значение контролируемого сигнала, определяющее контролепригодность зубчатых передач механической трансмиссии (лимитирующее соединение) исходя из критериев глубины поиска места неисправности диагностируемой кинематической цепи (по ГОСТ 20911-89). Критерием определения лимитирующего соединения является минимальное целочисленное значение количества опорных импульсов  $n_{pk}^{\text{гар}}$  или  $n_{pq}^{\text{гар}}$ , приходящихся на один выходной импульс исследуемого соединения:

$$n_{pk}^{\text{гар}} = \left( z_{\text{max}} \cdot \sum_{k=1}^e u_k \right) / z_{(\text{вых})}; \quad n_{pq}^{\text{гар}} = \left( z_{\text{max}} \cdot \sum_{q=1}^e u_q \right) / z_{(\text{вых})}. \quad (2)$$

Значение  $n_{pk}^{\text{гар}}$  или  $n_{pq}^{\text{гар}}$  минимально при  $k = 1$  и максимально при  $k = i$ . Лимитирующим соединением является соединение с  $k = 1$ . Значения  $n_{p(k=1)}^{\text{гар}} = \min$ ,  $n_{p(q=1)}^{\text{гар}} = \min$  относятся к понижающим кинематическим цепям. Для лимитирующего соединения определяется количество опорных импульсов, соответствующее гарантированному боковому зазору и предельному износу согласно следующим критериям и выражению (1):

– кинематическая цепь может быть диагностирована, когда гарантированный боковой зазор  $j_k^{\text{гар}}$  лимитирующей зубчатой передачи соответствует значению  $n_{pk}^{\text{гар}} = 4$  или  $k_{\text{крат}k} \cdot n_{pk}^{\text{гар}} + 2$ ;

– кинематическая цепь может быть диагностирована, когда общий предельный износ  $\Delta j_k^{\text{тек}}$  лимитирующей зубчатой передачи соответствует значению  $n_{p\Delta k} = 4$  или  $k_{\text{крат}\Delta k} \cdot n_{p\Delta k} + 2$ ;

– кинематическая цепь может быть диагностирована, когда гарантированный боковой зазор  $j_q^{\text{гар}}$  лимитирующего шлицевого, шпоночного или муфтового соединения соответствует значению  $n_{pq}^{\text{гар}} = 4$  или  $k_{\text{крат}q} \cdot n_{pq}^{\text{гар}} + 2$ ;

– кинематическая цепь может быть диагностирована, когда общий предельный износ  $\Delta j_q^{\text{тек}}$  лимитирующего шлицевого, шпоночного или муфтового соединения (шлицы вала со шлицевой ступицей или/и с зубчатой полумуфтой синхронизатора, шпоночный вал со шпонкой и втулка) соответствует значению  $n_{p\Delta q} = 4$  или  $k_{\text{крат}\Delta q} \cdot n_{p\Delta q} + 2$ .

В соответствии с алгоритмом подготовки диагностических данных осуществляется расчет значений диагностических данных  $j_p^{\text{тек}}$ ,  $j_p^{\text{гар}}$ ,  $j_p^{\text{пред}}$ ,  $j_k^{\text{гар}}$ ,  $j_q^{\text{гар}}$ ,

$j_k^{\text{гар}} + \Delta j_k^{\text{тек}}$ ,  $j_q^{\text{гар}} + \Delta j_q^{\text{тек}}$ ,  $\Delta j_{ip}^{\text{пред}}$ ,  $\Delta j_{ep}^{\text{пред}}$  по кинематической цепи  $p$ . Полученные значения сохраняются в блоке регистрации данных с соответствующими индексами  $k$  и  $q$  для соединений. При соблюдении критериев с заданными  $Z_{\text{мах}}$ ,  $u_p$ ,  $Z_{(\text{вых})}$ ,  $m_{(\text{вых})}$ ,  $Z_{1L}$ ,  $Z_{2L}$ ,  $Z_{1M}$ ,  $Z_{2M}$ ,  $j_k^{\text{гар}}$ ,  $j_q^{\text{гар}}$ ,  $\Delta j_k^{\text{тек}}$ ,  $\Delta j_q^{\text{тек}}$  и использованием алгоритма расчета диагностических параметров рассчитываются значения диагностических параметров  $n_p^{\text{гар}}$ ,  $n_p^{\text{пред}}$ ,  $n_p$ ,  $n_{p\Delta k}$ ,  $n_{p\Delta q}$ ,  $n_{pk}^{\text{гар}}$ ,  $n_{pq}^{\text{гар}}$ ,  $n_{pk}^{\text{пред}}$ ,  $n_{pq}^{\text{пред}}$ ,  $n_{p\Delta k}^{\text{з.к.}}$ ,  $n_{p\Delta k}^{\text{ш}}$ ,  $S_i$ ,  $S_e$ ,  $s$  по каждому элементу  $k$  и  $q$ , каждой цепи  $p$ , и результаты заносятся в блок регистрации данных.

В случае, если диагностический параметр  $n_{p(\text{факт})}$  определяется по передаче, обладающей низким передаточным числом (лимитирующее соединение), т. к. не соблюдены критерии по конструктивным особенностям зубчатых передач оборудования (тяжелые, габаритные редукторы; малые передаточные числа  $u_p$ ; отсутствие возможности установки дополнительных датчиков), расчет суммарного углового зазора осуществляется согласно полученной зависимости величины суммарного углового зазора от геометрических, кинематических параметров входного и выходного звеньев диагностируемой механической трансмиссии, длительности измерения суммарного углового зазора, количества первичных преобразователей, позволяющей установить значение суммарного углового зазора исходя из величины контролируемого сигнала, а также повысить оперативность контроля значений параметров технического состояния зубчатых передач диагностируемой кинематической цепи.

$$\Phi_{(t)} = \left( \pi \int_{t_n}^{t_{n+1}} \left( \frac{n_{u \text{ вых}}}{Z_{(\text{вых})} \cdot k \cdot t} \cdot u_p - \frac{n_{u \text{ вх}}}{Z_{\text{мах}} \cdot k \cdot t} \right) \cdot dt \right) \cdot \left( \frac{180}{\pi} \right), \quad (3)$$

где  $n_{u \text{ вых}}$ ,  $n_{u \text{ вх}}$  – количество импульсов за рассматриваемый период времени  $t$ ;  $k$  – количество датчиков, установленных над зубьями одного элемента.

Остаточный ресурс зубчатых передач определяется на основе значений диагностического параметра  $j_{p(\text{факт})}$  и диагностического симптома  $\Delta j_{p\Delta} = j_{p(\text{факт})} - j_q^{\text{гар}}$ .

$$j_{p(\text{факт})} = \sum_{k=1}^i (j_k^{\text{гар}} + \Delta j_k^{\text{тек}}) + \sum_{q=1}^e (j_q^{\text{гар}} + \Delta j_q^{\text{тек}}) = \frac{Z_{\text{мах}}^2 \cdot u_p^2}{Z_{(\text{вых})}^2 \cdot \pi^2 \cdot m_{(\text{вых})}^2 \cdot \left( L_{\text{вых.имп.}} / (d_{a(\text{вых.имп.})} / 2) \right)^2} \times$$

$$\times \left( \sum_{k=1}^i \frac{(n_{pk(\Delta\% \text{ расч})} - n_{pk-1(\Delta\% \text{ расч})}) \cdot \prod_{L=1}^k Z_{2L}}{\prod_{L=1}^{k-1} Z_{1L}} + \sum_{q=1}^e \frac{(n_{pq(\Delta\% \text{ расч})} - n_{pq-1(\Delta\% \text{ расч})}) \cdot \prod_{M=1}^q Z_{2M} \cdot r_{\text{шл./зм.}q}}{\prod_{M=1}^{q-1} Z_{1M} \cdot r_{\text{шл./зм.}q}} \right), \quad (4)$$

где  $n_{pk(\Delta\% \text{ расч})}$  – число импульсов для цепи  $p$  на момент наработки  $t$ ;  $n_{pq(\Delta\% \text{ расч})}$  – число импульсов для цепи  $p$  на момент наработки  $t$ ;  $n_{pk-1(\Delta\% \text{ расч})}$  – число импульсов для цепи  $p$  на момент наработки  $t - 1$ ;  $n_{pq-1(\Delta\% \text{ расч})}$  – число импульсов для цепи  $p$  на момент наработки  $t - 1$ . Значение  $j_{p(\text{факт})}$  в градусном измерении определяется как

$$\varphi = \left( \frac{180}{\pi} \right) \cdot \left( \frac{\sum_{k=1}^i (j_k^{\text{гар}} + \Delta j_k^{\text{тек}}) + \sum_{q=1}^e (j_q^{\text{гар}} + \Delta j_q^{\text{тек}})}{(d_{a(\text{вых.имп.})} / 2)} \right), \quad (5)$$

где  $d_{a(\text{вых.имп.})}$  – диаметр вершин зубьев выходного зубчатого колеса, мм.

Для совершенствования методов обработки данных с помощью предложенного и запатентованного магнитоэлектрического способа был разработан алгоритм обработки контролируемого сигнала, поступающего от первичных преобразователей в средство диагностирования. Алгоритм является основой для создания программного обеспечения средства диагностирования зубчатых передач (рисунок 4). Разработанная лабораторная установка и преобразовательный блок (ПБ), использующий датчики ПрП2 (по ТУ 17МО082.021), ЭВИТ-Ч2-08, ПЭВМ позволили реализовать алгоритм обработки контролируемого сигнала и усовершенствовать методы обработки поступающих данных.

Обработка информации осуществляется следующим образом: обнуляется количество подсчитываемых опорных импульсов в блоке 1, затем производится ожидание перехода состояния датчика выходных импульсов из 0 в 1 в блоках 2 и 3. После ожидания перехода организуется цикл по количеству выходных импульсов в блоке 4. Далее считывается состояние выходного датчика и опорного датчика в блоке 5. Если зафиксирован переход состояния опорного датчика из 0 в 1, то увеличивается на 1 количество опорных импульсов в блоках 6 и 7. Если зафиксирован переход состояния выходного датчика из 0 в 1, то

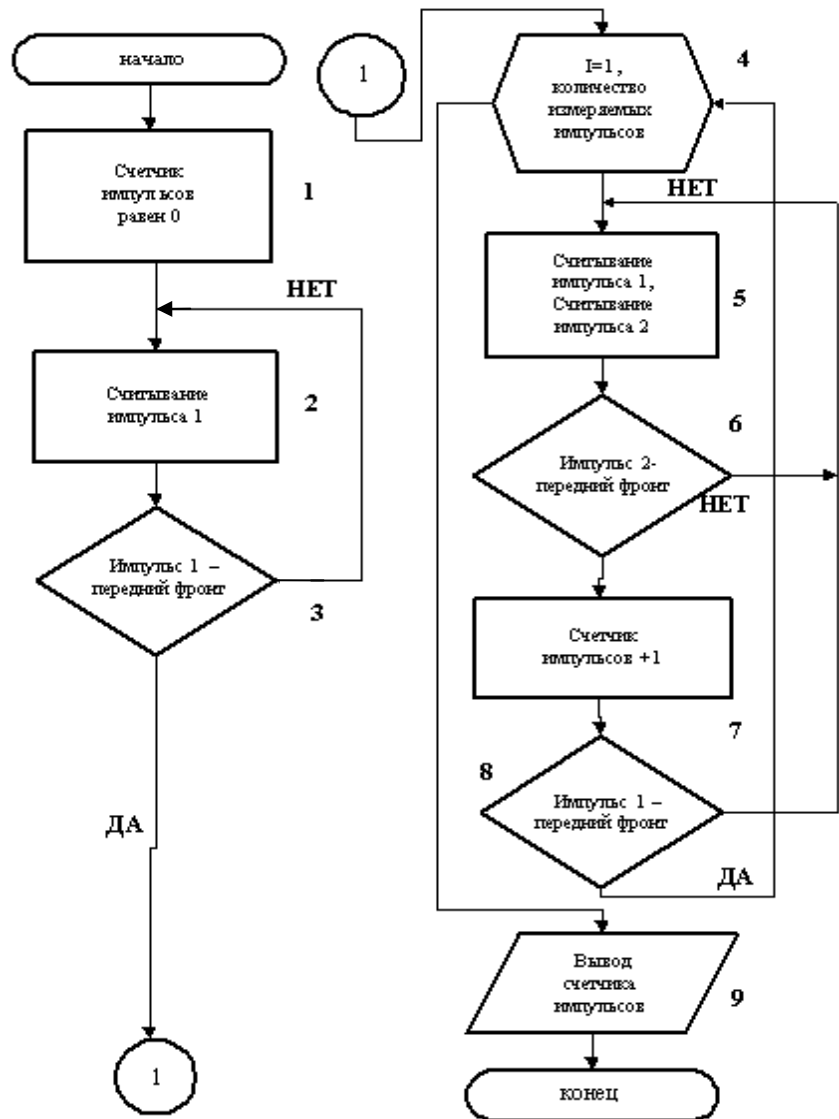


Рисунок 4 – Алгоритм обработки контролируемого сигнала

производится переход на следующую итерацию цикла по количеству выходных импульсов (блоки 8 и 4), иначе производится переход к считыванию нового состояния датчиков (блоки 8 и 5). По окончании итераций цикла по количеству выходных импульсов в блоке 4 производится вывод подсчитанного числа опорных импульсов (блок 9).

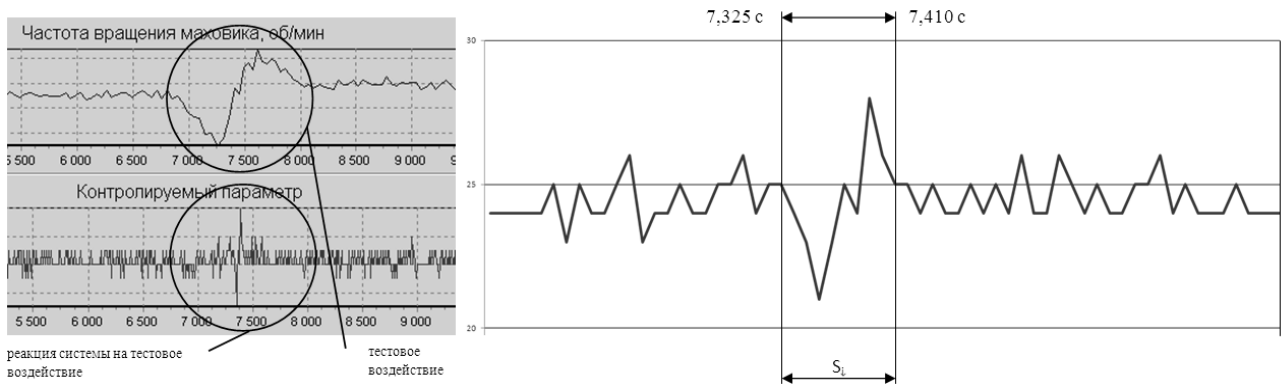
С использованием математического аппарата, алгоритмов и аппаратных средств разработано диагностическое обеспечение, состоящее из микропроцессорного блока, выполняющего функцию устройства сопряжения первичных преобразователей и ПЭВМ, и программного обеспечения, выполняющего функции подготовки диагностических данных, расчета диагностических параметров, постановки диагноза, визуализации диагностической информации, и позволяющее выработать рекомендации для повышения уровня технического состояния зубчатых передач механической трансмиссии.

**В четвертой главе** приведены результаты практических экспериментальных исследований по трансмиссиям стендового и промышленного объектов диагностирования. Цель проведения исследований состояла в оценке эффективности применения разработанного диагностического обеспечения при контроле зубчатых передач механических трансмиссий на основе критериев достоверности технического диагностирования (по ГОСТ 19919-74, ГОСТ 20911-89, КИ-13909-ГОСНИТИ), трудоемкости диагностирования (по ГОСТ 19919-74, ГОСТ 26656-85) и прогнозировании остаточного ресурса. В качестве объекта диагностирования была использована четырехступенчатая коробка передач автомобиля ГАЗ-52, вращающий момент к которой подводился посредством карданного вала от двигателя. Нагружение моментом сопротивления коробки передач осуществлялось с помощью порошкового тормоза ПТ-250, входной вал которого жестко (без люфта) соединялся с выходным валом коробки передач посредством фланцевого соединения. Маховые массы, закрепленные на обоих концах вала порошкового тормоза, имитировали нагрузку движущихся масс машины на коробку передач. На выходном валу тормоза закреплялась шестерня (источник выходного сигнала) с числом зубьев  $z_{(вых)} = 38$ . Маховик приводного двигателя выступал в качестве источника опорного сигнала  $z_{max} = 144$ . Фрагмент результатов эксперимента на стендовом объекте диагностирования приведен на рисунке 5.

При диагностировании зубчатых передач стендового объекта относительная погрешность  $\delta_{max}$  средства диагностирования составила 8,73 %. В качестве промышленного объекта диагностирования использовались тракторы МТЗ-1221. Испытание опытного образца средства диагностирования проводилось на тракторах с наработкой 267, 1646 и 2981 моточас. При диагностировании зубчатых передач промышленного объекта значение относительной погрешности при измерении суммарного углового зазора по диапазонам передач 1...6 не превышает 8,69 % при сравнении результатов диагностирования, полученных с применением разработанного средства диагностирования, и результатов, полученных с применением прибора КИ-13909-ГОСНИТИ.

Режимы тестовых воздействий, обеспечивающие регистрацию суммарного углового зазора, представляют собой комбинацию факторов варьирования.





Результаты эксперимента с использованием средства диагностирования, стенда и коробки передач ГАЗ-52 (передача 1); интервал времени однократного раскрытия суммарного углового зазора определяется по минимальной точке (21 импульса) и точке перехода системы в тяговый режим работы (28 импульсов),  $S_i = 3.2$  град.

**Рисунок 5 – Результаты эксперимента на стендовом объекте диагностирования**

В режимах управление осуществляется с помощью приводного вала  $n_{кв}$  ( $1100 \dots 2100 \text{ мин}^{-1}$ ) и момента сопротивления  $M_c$ , который определяется постоянным значением  $100 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Сопоставляя различные способы диагностирования временной трудоемкости для промышленного объекта ( $T_{с.д.} = 74,3 \text{ мин}$  и  $T_{ки-13909} = 108,1 \text{ мин}$ ), следует отметить, что наиболее трудоемким является способ с применением прибора КИ-13909-ГОСНИТИ. Экспериментальные исследования позволили сделать вывод о сокращении продолжительности мониторинговых мероприятий до 30 % и трудоемкости до 60 %.

В пятой главе представлен алгоритм технического диагностирования зубчатых передач, включающий в себя последовательность действий, необходимых и достаточных для выполнения контроля (по ГОСТ 20911-89), и позволяющий спрогнозировать остаточный ресурс, снизить трудоемкость диагностирования, повысить оперативность контроля и выработать рекомендации для повышения уровня технического состояния зубчатых передач диагностируемой кинематической цепи (рисунок 6).

Этапы алгоритма технического диагностирования: первый – идентификация объекта мониторинга; второй – подбор и расчет необходимой совокупности диагностических данных и параметров, уникальных для данного объекта; третий – формирование режимов тестовых воздействий; четвертый – реализация процедуры диагностирования; пятый – анализ диагностической информации; шестой – постановка диагноза технического состояния объекта мониторинга, выработка заключения и рекомендаций по дальнейшей эксплуатации объекта мониторинга.

Согласно полученным результатам исследований, исходя из трудоемкости работ, стоимости разработанного средства диагностирования, составившего 8041 рос. р. (796080 белорус. р.), продолжительности проведения диагностических мероприятий (74 мин) и с учетом того, что в процессе диагностирования задействован один специалист, экономическая эффективность использования разрабо-

танного диагностического обеспечения достигается в случае применения в парке машин МТЗ-1221 (более 500 единиц техники), находящихся на сервисном обслуживании организации «Заднепровский межрайагросервис» (г. Могилев, Республика Беларусь), и составляет более 320 тыс. рос. р. (32 млн белорус. р.) в год (в ценах 2010 г.).

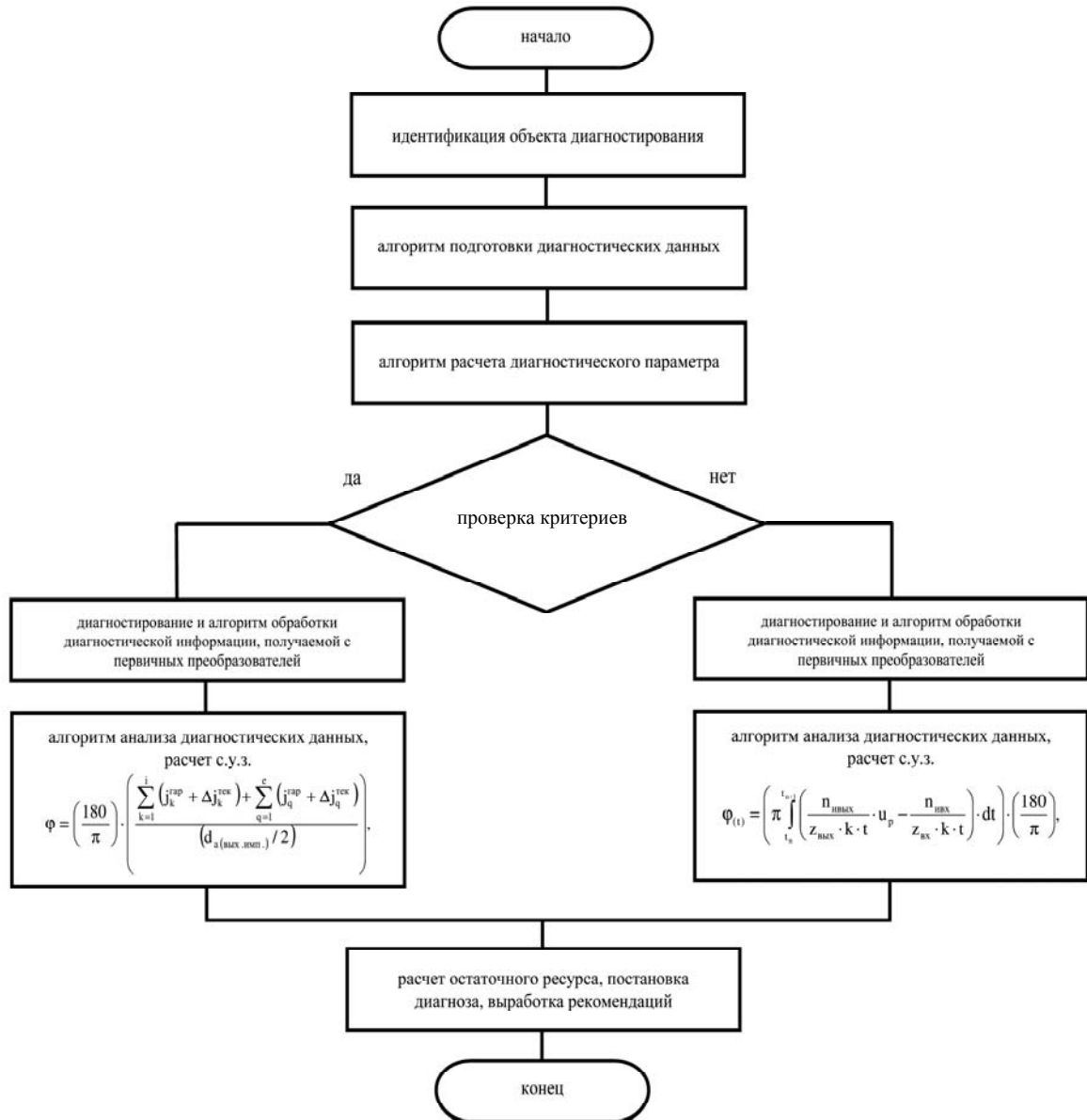


Рисунок 6 – Алгоритм технического диагностирования зубчатых передач

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Выявлена закономерность, положенная в основу разработанного и запатентованного магнитоэлектрического способа мониторинга, заключающаяся в том, что в тяговом режиме работы зубчатых передач кинематической цепи значение контролируемого сигнала определяется отношением произведения количества зубьев источника опорного сигнала и передаточного числа к количеству

зубьев источника выходного сигнала кинематической цепи, а в тормозном (тестовом) режиме работы зубчатых передач кинематической цепи значение контролируемого сигнала, характеризующееся разрывом и замыканием контакта в зацеплении (величиной выброса контролируемого сигнала), – производением геометрических параметров зубчатых передач и отношения произведения количества зубьев источника опорного сигнала и передаточного числа к количеству зубьев источника выходного сигнала кинематической цепи.

2. Получены зависимости величины контролируемого сигнала от геометрических параметров зубчатых передач, позволяющие определить значение контролируемого сигнала исходя из текущей величины износа боковой поверхности зубьев зубчатых передач, а также контролепригодность зубчатых передач кинематической цепи исходя из разработанных критериев глубины поиска места неисправности.

3. Разработан алгоритм обработки контролируемого сигнала, поступающего от первичных преобразователей. Алгоритм, основанный на принципе подсчета опорных импульсов в магнитоэлектрическом способе мониторинга, является базой для создания программного обеспечения средства диагностирования зубчатых передач. С помощью алгоритма разработано средство диагностирования, входящее в состав диагностического обеспечения и использующее индукционные датчики и ПЭВМ, состоящее из микропроцессорного блока, выполняющего функцию устройства сопряжения первичных преобразователей и ПЭВМ. Персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением выполняет функции подготовки диагностических данных, расчета суммарного углового зазора, постановки диагноза и визуализации диагностической информации.

4. Разработан алгоритм технического диагностирования зубчатых передач, позволяющий снизить трудоемкость диагностирования технического состояния зубчатых передач механической трансмиссии до 60 %, повысить оперативность контроля технического состояния (сократить время диагностирования до 30 % для промышленного объекта диагностирования МТЗ-1221), спрогнозировать остаточный ресурс зубчатых передач и выработать рекомендации для повышения уровня технического состояния зубчатых передач механической трансмиссии. Экономическая эффективность использования разработанного диагностического обеспечения достигается в случае применения в парке машин МТЗ-1221 (более 500 единиц техники), находящихся на сервисном обслуживании организации «Заднепровский межрайагросервис» (г. Могилев, Республика Беларусь), и составляет более 320 тыс. рос. р. (32 млн белорус. р.) в год (в ценах 2010 г.).

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### *Статьи в научных изданиях из перечня ВАК Российской Федерации*

1. Антипенко, Г. Л. Использование информационных технологий при диагностировании строительных и дорожных машин / Г. Л. Антипенко, А. Н. Максименко, Б. М. Моргалюк // Механизация строительства. – 2006. – № 2. – С. 6–9.

2. Выбор режимов тестового воздействия и прогнозирование работоспособности механических трансмиссий мобильных машин / А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик, В. В. Кутузов, А. Н. Федосов, В. П. Чикунов // Механизация строительства. – 2006. – № 12. – С. 10–13.

3. **Максименко, А. Н.** Основы реализации импульсного метода диагностирования трансмиссий строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик, В. В. Кутузов // Механизация строительства. – 2009. – № 11. – С. 12–16.

4. **Максименко, А. Н.** Реализация импульсного метода диагностирования трансмиссий СДМ / А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик, В. В. Кутузов // Механизация строительства. – 2010. – № 3. – С. 20–24.

### ***Статьи в научных изданиях из перечня ВАК Республики Беларусь***

1. Диагностирование строительных и дорожных машин с использованием информационных технологий / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, Б. М. Моргалик, В. В. Кутузов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2006. – № 3. – С. 38–47.

2. Формирование диагностических параметров оценки работоспособности трансмиссий при проектировании машин / А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик, А. М. Даньков, В. В. Кутузов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2008. – № 3. – С. 6–14.

3. Повышение точности оценки работоспособности механических трансмиссий импульсным способом / А. Н. Максименко, А. М. Даньков, Б. М. Моргалик, Т. Ю. Орлова, Е. А. Косенко // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2012. – № 1. – С. 59–67.

### ***Статьи в научных сборниках***

1. **Антипенко, Г. Л.** Диагностирование зубчатых зацеплений трансмиссий строительных и дорожных машин / Г. Л. Антипенко, Б. М. Моргалик // Перспективные технологии, материалы и системы : сб. науч. ст. конф., Могилев, 8 окт. 2001 г. / МГТУ; редкол. : И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2001. – С. 15–18.

2. **Моргалик, Б. М.** Математическое моделирование механической трансмиссии с учетом нелинейностей / Б. М. Моргалик ; МГТУ. – Могилев, 2002. – 5 с. : ил. – Деп. в БелИСА 04.07.02, № Д200260 // Кибернетика. – 2002. – № 7. – С. 87–91.

3. **Моргалик, Б. М.** Анализ показателей надежности тракторов МТЗ в гарантийный период и концепция сервисного обслуживания / Б. М. Моргалик ; МГТУ. – Могилев, 2002. – 14 с. : ил. – Деп. в БелИСА 02.07.02, № Д200259 // Машиностроение. – 2002. – № 7. – С. 91–105.

4. Прогнозирование работоспособности объекта по текущим значениям контролируемых параметров / А. Н. Максименко, Г. Л. Антипенко, Т. Н. Донец, Б. М. Моргалик, О. В. Борисенко // Интерстроймех-2002 : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 23–24 мая 2002 г. / МГТУ ; редкол. : И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2002. – С. 274–277.

5. **Антипенко, Г. Л.** Разработка алгоритма выявления дефекта зубьев механических трансмиссий / Г. Л. Антипенко, А. Н. Максименко, Б. М. Мор-

галик // Интерстроймех-2002 : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 23–24 мая 2002 г. / МГТУ ; редкол. : И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2002. – С. 242–245.

6. Создание диагностического комплекса для оценки состояния трансмиссий СДМ / Г. Л. Антипенко, А. Н. Максименко, В. Н. Маклаков, Б. М. Моргалик // Строительные, дорожные и подъемно-транспортные машины и оборудование : сб. науч. тр. молодых ученых к 40-летию кафедры «Строительные, дорожные, подъемно-транспортные машины». – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2004. – С. 38–41.

7. **Моргалик, Б. М.** Современные средства диагностики мобильных машин / Б. М. Моргалик, В. В. Кутузов // Студенческий вестник [Электронный ресурс]. – 2005. – № 10. – Режим доступа : [http : // www.bru.mogilev.by](http://www.bru.mogilev.by). – Дата доступа : 12.10.05.

8. **Максименко, А. Н.** Основы реализации импульсного метода диагностирования трансмиссий строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик, В. В. Кутузов // Интерстроймех-2009 : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Бишкек, 15–17 сент. 2009 г. / Кыргыз. гос. ун-т стр-ва транспорта и архитектуры им. Н. Исанова ; редкол. : М. А. Фазылов [и др.]. – Бишкек, 2009. – С. 172–176.

### *Материалы научных конференций*

1. **Антипенко, Г. Л.** Импульсный метод диагностирования зубчатых зацеплений трансмиссии / Г. Л. Антипенко, А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик // Новые конкурентоспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 18–19 мая 2000 г. / ММИ ; редкол. : И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2000. – С. 496.

2. **Антипенко, Г. Л.** Диагностирование зубчатых зацеплений трансмиссий строительных и дорожных машин / Г. Л. Антипенко, Б. М. Моргалик // Создание и применение высокоэффективных наукоемких ресурсосберегающих технологий, машин и комплексов : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25–26 окт. 2001 г. / МГТУ ; редкол. : И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2001. – С. 198.

3. **Моргалик, Б. М.** Прогнозирование остаточного ресурса и выявление дефектов зубчатых передач трансмиссии строительно-дорожных машин с помощью индукционных датчиков / Б. М. Моргалик // Потенциал науки – развитию промышленности, экономики, культуры, личности : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 5–8 февр. 2002 г. : в 2 ч. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол. : А. П. Аношко [и др.]. – Минск, 2002. – Ч. 1. – С. 201–205.

4. **Моргалик, Б. М.** Непрерывный контроль диагностических параметров механических трансмиссий СДМ / Б. М. Моргалик // Современные технологии, материалы, машины и оборудование: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 16–17 мая 2002 г. / МГТУ ; редкол.: И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2002. – С. 334.

5. **Максименко, А. Н.** Резервы повышения эффективности использования машин для зимнего содержания дорог / А. Н. Максименко, Г. Л. Антипенко, Б. М. Моргалик // Современные технологии, машины и материалы для зимнего содержания автомобильных дорог : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 13–14 февр. 2003 г. / МГТУ ; редкол. : И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2003. – С. 58–60.

6. **Антипенко, Г. Л.** Использование компьютерных технологий для диагностирования мобильных строительно-дорожных машин / Г. Л. Антипенко, А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик // Перспективные технологии, материалы и системы : сб. науч. тр. конф., Могилев, 23–24 мая 2003 г. / МГТУ ; редкол. : И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2003. – С. 7–12.

7. **Антипенко, Г. Л.** Компьютерная система диагностирования трансмиссий мобильных машин / Г. Л. Антипенко, А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик // Потенциал науки – развитию промышленности, экономики, культуры, личности : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 5–8 февр. 2004 г. / Беларус. нац. техн. ун-т ; редкол. : А. П. Аношко [и др.]. – Минск, 2004. – № 6. – С. 47–50.

8. **Моргалик, Б. М.** Методика определения суммарного зазора трансмиссий мобильных машин / Б. М. Моргалик, В. Н. Маклаков // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 20–22 октября 2004 г. / Беларус.-Рос. ун-т ; редкол. : И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2004. – С. 168–169.

9. **Моргалик, Б. М.** Методика диагностирования трансмиссий мобильных машин / Б. М. Моргалик, В. В. Кутузов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 21–22 апр. 2005 г. / Беларус.-Рос. ун-т ; редкол. : И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2005. – С. 253–254.

10. **Максименко, А. Н.** Выбор режимов тестового воздействия ДВС для оценки работоспособности механических трансмиссий машин / А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 20–21 апр. 2006 г. / Беларус.-Рос. ун-т ; редкол. : И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2006. – С. 52–53.

11. **Максименко, А. Н.** Метрологическое обеспечение импульсного метода диагностирования механических трансмиссий / А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 16–17 апр. 2009 г. / Беларус.-Рос. ун-т ; редкол. : И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2009. – С. 168–169.

### **Патенты**

1. Способ диагностирования зубчатых зацеплений механических передач : пат. 6802 Респ. Беларусь, МПК 7 С 1 G 01 М 13/02 / Г. Л. Антипенко, Д. Г. Антипенко, А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик ; заявитель Беларус.-Рос. ун-т. – № а 20020570 ; заявл. 02.07.02 ; опубл. 30.03.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 3. – С. 68.

2. Способ диагностирования зубчатых зацеплений механических передач : пат. 9279 Респ. Беларусь, МПК 7 С 1 G 01 М 13/02 / Г. Л. Антипенко, Д. Г. Антипенко, А. Н. Максименко, Б. М. Моргалюк ; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. – № а 20040773 ; заявл. 02.07.02 ; опубл. 30.06.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 6. – С. 84.