

Ульяновский государственный технический университет

Стенографический отчет

ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.003.02

Повестка дня:

**ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИИ ПЕЧЕНКИНЫМ МИХАИЛОМ ВЛАДИМИРОВИЧЕМ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ *КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК***

**«Многокоординатное формообразование фрезерованием
гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны»**

Специальность:

**05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-
технической обработки**

Официальные оппоненты:

Трубачев Евгений Семенович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструкторско-технологическая подготовка машиностроительных производств» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова».

Юрасов Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (ТулГУ)

Ульяновск - 2016

**ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.003.02
от 9 июня 2016 года**

на заседании присутствовали члены Совета:

- | | | | |
|-----|--|----------------------|------------------------------|
| 1. | Табаков В.П.,
(председатель
совета) | д.т.н.,
профессор | 05.02.07 – технические науки |
| 2. | Веткасов Н.И.,
(ученый секретарь
совета) | д.т.н.,
доцент | 05.02.07 – технические науки |
| 3. | Бобровский Н.М.
(зам. председателя
совета) | д.т.н.,
профессор | 05.02.08 – технические науки |
| 4. | Булыжев Е.М. | д.т.н.,
доцент | 05.02.08 – технические науки |
| 5. | Горшков Б.М. | д.т.н.,
профессор | 05.02.07 – технические науки |
| 6. | Денисенко А.Ф. | д.т.н.,
профессор | 05.02.07 – технические науки |
| 7. | Драчев О.И. | д.т.н.,
профессор | 05.02.07 – технические науки |
| 8. | Дьяконов А.А. | д.т.н.,
доцент | 05.02.08 – технические науки |
| 9. | Зибров П.Ф. | д.т.н.,
профессор | 05.02.08 – технические науки |
| 10. | Кирилин Ю.В. | д.т.н.,
доцент | 05.02.07 – технические науки |
| 11. | Киселев Е.С. | д.т.н.,
профессор | 05.02.08 – технические науки |
| 12. | Клячкин В.Н. | д.т.н.,
профессор | 05.02.07 – технические науки |
| 13. | Ковальногов В.Н. | д.т.н. | 05.02.07 – технические науки |
| 14. | Носов Н.В. | д.т.н.,
профессор | 05.02.08 – технические науки |
| 15. | Салов П.М. | д.т.н.,
профессор | 05.02.08 – технические науки |
| 16. | Унянин А.Н. | д.т.н.,
доцент | 05.02.07 – технические науки |
| 17. | Худобин Л.В. | д.т.н.,
профессор | 05.02.08 – технические науки |

Председатель Совета
д.т.н., профессор

Ученый секретарь Совета
д.т.н., доцент



(Handwritten signature of V.P. Tabakov)

(Handwritten signature of N.I. Vеткасов)

В.П. Табаков

Н.И. Веткасов

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.:

Уважаемые коллеги !

На повестке дня защита диссертации **Печенкина Михаила Владимировича** на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме: **«Многокоординатное формообразование фрезерованием зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны»**. Защита диссертации по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Официальные оппоненты:

Трубачев Евгений Семенович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструкторско-технологическая подготовка машиностроительных производств» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова».

Юрасов Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (ТулГУ).

Мы работаем без перерыва, поэтому все должны здесь присутствовать и никуда не уходить.

На заседании объединенного диссертационного совета Д 999.003.02 из 20 членов совета присутствуют 17 человек. Необходимый кворум имеем.

Членам совета повестка дня известна. Какие будут суждения по повестке дня? Утвердить? (принято единогласно).

По специальности защищаемой диссертации **05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки** (технические науки) на заседании присутствуют 9 докторов наук.

Наше заседание правомочно.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.:

Объявляется защита диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук **Печенкина Михаила Владимировича** по теме: **«Многокоординатное формообразование фрезерованием гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны»**.

Работа выполнена в Казанском национальном исследовательском техническом университете им. А.Н. Туполева-КАИ.

Научный руководитель – д.т.н., профессор кафедры «Технологии машиностроительных производств» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» Лунев Александр Николаевич.

Официальные оппоненты:

Трубачев Евгений Семенович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструкторско-технологическая подготовка машиностроительных производств» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова».

Евгений Семенович присутствует.

Юрасов Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Сергей Юрьевич на заседании тоже присутствует.

Письменные согласия на оппонирование работы от обоих оппонентов были своевременно получены.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (ТулГУ).

Слово предоставляется **ученому секретарю** диссертационного совета д.т.н. **Н.И. Веткасову** для оглашения документов из личного дела соискателя.

Ученый секретарь, д.т.н., профессор Веткасов Н.И.:

Уважаемые коллеги! В деле соискателя имеются следующие документы, представленные к защите (зачитывает):

- личный листок по учету кадров, из которого следует, что Печенкин Михаил Владимирович, 1982 года рождения закончил Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева по специальности «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» в 2004 году и закончил аспирантуру в 2007 году по специальности 05.02.07 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» в Казанском государственном техническом университете им. А.Н. Туполева. В настоящее время работает доцентом на кафедре «Технологии машиностроительных производств» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева;

- выписка из расширенного заседания кафедры «Технологии машиностроительных производств». На этом заседании было принято заключение по диссертации, в котором отмечается личное участие автора, степень обоснованности научных положений, степень научной новизны и как итог дается рекомендация о том, чтобы данная работа была защищена по специальности 05.02.07.

- нотариально заверенная копия диплома об окончании Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева;

- удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов со следующими оценками: английский язык – «хорошо», история философии и науки – «хорошо» и специальная дисциплина «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» - «хорошо»;

- список научных публикаций Печенкина Михаила Владимировича включает 12 опубликованных научных работ, из них по теме диссертации 10 работ, в том числе 3 научных публикации в журналах из перечня ВАК и 3 патента, из них 2 на изобретения;

- заявление соискателя, которое было представлено при подаче документов в диссертационный совет с подписью председателя диссертационного совета;

- протокол заседания о приеме диссертации к предварительному рассмотрению и заключение экспертной комиссии в составе Ковальногова В.Н., Денисенко А.Ф., Булыжева Е.М. о возможности защиты диссертации в нашем диссертационном совете и о соответствии требованиям ВАК по изложению материала в автореферате и о соответствии данной специальности;

- протокол заседания диссертационного совета о приеме диссертации к защите;

- отзыв научного руководителя по диссертационной работе;

- список рассылки автореферата, включающий в себя 70 адресов, в которые были направлены авторефераты;

- сведения о ведущей организации и оппонентах;

- отзывы ведущей организации и официальных оппонентов;

- отзывы на автореферат.

Все необходимые документы были вовремя опубликованы на сайте университета, в Интернете в соответствии с требованиями процедуры рассмотрения и защиты диссертаций.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.:

Вопросы к Николаю Ивановичу есть? (Нет).

К Михаилу Владимировичу по личному делу нет вопросов? (Нет).

Вам предоставляется слово для изложения диссертации.

Соискатель: Добрый день, уважаемые председатель, члены совета, оппоненты, гости.

Представляю Вам диссертационную работу на тему «Многокоординатное формообразование фрезерованием зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны» (*слайд 1*).

На слайде перечислены известные зубчатые передачи со скрещивающимися осями. Все зубчатые передачи, кроме рассматриваемой в работе, стандартизованы и ГОСТ'ом отнесены к передачам со скрещивающимися осями. На них имеются соответствующие ГОСТы, в том числе и на терминологию таких передач. На рассматриваемую в работе зубчатую передачу ГОСТ'ы отсутствуют, отсутствует устоявшаяся терминология, поэтому непонятно как ее называть (*Слайд 2*).

На данном слайде показаны сечения одного зуба, перпендикулярные оси вращения зубчатого колеса. Зубчатое колесо шириной 40 мм. Вот это сечение получено в горловом сечении, а другие два сечения располагаются на расстоянии 13 мм от горлового сечения. На слайде видно, что образующая боковой поверхности зуба меняет положение как по высоте зуба, так и по длине. Кроме того, кривизна боковой поверхности одного зуба меняется с выпуклой на вогнутую. Под гиперболоидной зубчатой передачей с зубьями двойной кривизны в работе понимается такая зубчатая передача, у которой начальная и делительная поверхность является однополостным гиперболоидом вращения, а кривизна боковой поверхности зуба меняется как по высоте зуба, так и по длине зуба (*Слайд 3*).

Конструктивные особенности рассматриваемой в работе зубчатой передачи в виде: 1) постоянно-меняющегося угла наклона образующих линий по длине зуба, вследствие чего ширина впадины и окружной модуль зуба вдоль образующей начального гиперболоида постоянно меняются; 2) изменяющееся положение образующих линий по высоте зуба; 3) знакопеременная кривизна боковой поверхности зуба не позволяют обработать боковую поверхность зуба известными методами копирования или обкатки (*Слайд 4*).

В главе 1 приведен анализ проблемы и постановка целей и задач исследования. Схема зацепления рассматриваемой зубчатой передачи была исследована профессором Матвеевым Г.А. Матвеевым Г.А. было определено, что боковая поверхность зуба имеет участки кривизны различного знака. Поэтому Матвеев Г.А. назвал такие поверхности зуба первичным и вторичным. Кроме того, в работах Матвеева Г.А. было рассмотрено зацепление рассматриваемых зубчатых передач. Было установлено, что имеет место четыре этапа контакта, на каждом из которых образующая линия одного зубчатого колеса движется по боковой поверхности другого зубчатого колеса (*Слайд 5*).

Также в работах Матвеева Г.А. было произведено сравнение некоторых качественных характеристик передачи. Матвеевым Г.А. было установлено, что к.п.д. выше по сравнению с винтовой цилиндрической передачей на 16%,

коэффициент перекрытия выше в 3 раза, вид контакта - линейный, а не точечный *(Слайд 6)*.

В работах Витренко В.О., Кириченко С.Г., Воронцова Б.С. были рассмотрены способы изготовления рассматриваемой зубчатой передачи. При этом боковую поверхность зуба в данных работах предполагается получать за счет поступательного перемещения инструмента вдоль прямолинейной образующей, а также вращения инструмента и заготовки в противоположные стороны. Однако, такая схема формообразования не содержит достаточных формообразующих движений, а именно, отсутствует дополнительный поворот заготовки вокруг оси производящего зубчатого колеса, что было указано и рассмотрено в работах Матвеева Г.А. *(Слайд 7)*.

В работах Борисова В.Д., Матвеева Г.А. были предложены различные приспособления для обработки боковой поверхности зуба рассматриваемой передачи, однако они удлиняли и усложняли кинематические цепи станка, снижали точность обработки. Кроме того, данные способы не получили практического применения *(Слайд 8)*.

Целью работы является формообразование зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной переменной кривизны на пятикоординатных станках с ЧПУ *(Слайд 9)*.

Задачами работы являются:

- 1) Разработать математическую модель формообразования зубьев с управлением ориентацией инструмента и управляющую программу для изготовления зубьев на пятикоординатном станке с ЧПУ;
- 2) Получить математическую зависимость для определения положения образующей линии боковой поверхности зубьев рассматриваемой передачи, позволяющую осуществлять геометрическое моделирование таких зубчатых колес, произвести модернизацию математической модели образующей линии кривыми дугой окружности и эллипса;
- 3) Разработать способ предварительного формообразования модульными дисковыми и пальцевыми фрезами и инструмент для профильной модификации зубьев *(Слайд 10)*.

В главе 2 приведены математические зависимости для расчета координат точек образующей линии, проведена модернизация образующей линии дугами окружности и эллипса, получена геометрическая модель зубчатого колеса.

Для получения математических зависимостей координат точек образующей линии рассмотрим две точки образующей линии точек этой линии M_1 и M_2 . Образующая линия жестко связана с производящим колесом 2, при этом боковая поверхность зуба формируется на колесе 1. Для упрощения отображения на слайде зубчатые колеса представлены своими половинами. Координаты точки образующей линии в относительном движении представлены зависимостями (2.1) и (2.2) *(Слайд 11)*.

В переносном движении координаты точки образующей линии M_1 боковой поверхности зуба представлены зависимостью (2.3). После

соответствующих преобразований матрица определения координат точек образующей линии в системе координат, связанной с производящим колесом, будет представлена зависимостью (2.4). Для получения математических зависимостей для расчета координат точек образующей линии в неподвижной системе координат используем принцип обращения движения, при этом гиперболоид, на котором формируются зубья, делаем неподвижным, а производящее зубчатое колесо вращали в противоположном направлении. Учитываем ряд условий, представленных на слайде (*Слайд 12*).

Получим математические зависимости 2.6-2.11 для расчета координат точек образующей линии в неподвижной системе координат, связанной с зубчатым колесом, на котором образуются зубья. При этом точки образующей линии по длине зуба формируют направляющую зуба (*Слайд 13*).

На слайде представлены математические зависимости, позволяющие модифицировать образующую дугами окружности. При этом, коэффициенты, входящие в формулы 2.12-2.14, определяются по соответствующим зависимостям 2.15-2.17. При этом отклонение боковой поверхности от главной поверхности зуба – расстояние A_1-A_2 - будет определять радиус величины модификации R (*Слайд 14*).

На слайде представлены математические зависимости для расчета координат точек образующей линии дугой эллипса, которые позволяют модифицировать боковую поверхность зуба. При этом отклонение боковой поверхности от главной поверхности зуба – расстояние A_1-A_2 - будет определять радиусы R_2 и r_2 (*Слайд 15*).

На данном слайде показан алгоритм геометрического моделирования зубчатого колеса. Геометрические модели зубчатых колес получим с помощью разработанных математических зависимостей – формул 2.4 и 2.6-2.11. Это позволило впервые получить геометрические модели таких зубчатых колес (*Слайд 16*).

В главе 3 представлена разработанная кинематика формообразования боковой поверхности зубьев при пятикоординатной обработке на станках с ЧПУ. Для определения ориентации инструмента при формообразовании зубьев осуществим моделирование с использованием ряда этапов:

- 1) сначала получим уравнения определения координат точек образующей линии при формообразовании боковой поверхности зуба;
- 2) получим поверхность, сформированную движением образующей линии;
- 3) получим поверхность, сформированную движением образующей линии, но ограниченную поверхностями вершин и впадин зубьев;
- 4) зная геометрические параметры инструмента определим точки оси фрезы и математические зависимости для определения положения инструмента при формообразовании зубьев.

Для получения математических зависимостей для определения положения образующей линии рассмотрим две точки образующей линии А и В. При этом образующая линия жестко связана с производящим колесом 2. Боковая поверхность зуба формируется на колесе 1. Получим уравнения определения координат точек образующей линии боковой поверхности зуба в цилиндрической системе координат, которые представлены зависимостями 3.1-3.4 (*Слайд 17*).

После соответствующих преобразований получим уравнения для расчета координат точек образующей линии в системе координат, связанной с гиперболоидом 2, то есть с производящим колесом в декартовой системе координат, представленные зависимостями 3.5-3.10. Для получения уравнений координат точек образующей линии в неподвижной системе координат, связанной с колесом на котором формообразуются зубья, используем условия, представленные на слайде (1-4), и принцип обращения движения (*Слайд 18*).

После соответствующих преобразований получим уравнения для расчета координат точек образующей линии – точек А и В в неподвижной системе координат, то есть связанной с колесом, на котором формообразуются зубья, представленные уравнениями с (3.11) по (3.16). Полученные уравнения расчета координат точек образующей линии определяют уравнение образующей линии и направляющих векторов, которые упрощенно представлены формулами с (3.17) по (3.19) (*Слайд 19*).

Движение образующей линии при формообразовании боковой поверхности зуба будет формировать линейчатую поверхность, однако боковую поверхность зуба будут формировать участки, ограниченные поверхностями вершин и ножек зубьев. С учетом условий 1-5, представленных на слайде, получим уравнения поверхности ножек зубьев – уравнение (3.22) и поверхности головок зубьев – уравнение (3.23) (*Слайд 20*).

Приравняем полученное ранее уравнение линейчатой поверхности параметру t_1 – формула (3.24), который для головок и ножек зубьев определим из уравнений (3.26) и (3.27) и, подставив в соответствующее уравнение (3.25), получим уравнения определения координат точек пересечения поверхностей, ограничивающих боковую поверхность зуба с поверхностями вершин и головок зубьев (*Слайд 21*).

Определим компоненты единичного вектора, касательного к линии ножек зубьев по соответствующим зависимостям с (3.28) по (3.30), представленные на слайде. Аналогичным образом определяются компоненты единичного вектора, касательного к линии головок зубьев (*Слайд 22*).

Определив компоненты единичного вектора, получим уравнение для единичного вектора, касательного к линии ножек зубьев, определяемое по уравнению (3.33). При этом единичный вектор нормали к боковой поверхности зуба будет определяться как векторное произведение единичного вектора касательной на единичный вектор образующей линии. Зная геометрические параметры инструмента, определим уравнения точек

V_f A_f фрезы, которые будут определять вектор ориентации инструмента, представленного зависимостью (3.35) (*Слайд 23*).

На данном слайде представлен алгоритм создания управляющей программы с использованием полученной модели многокоординатного формообразования. При этом для получения управляющих программ используем полученные в главе 3 диссертации зависимости (3.33)-(3.35) и осуществляем обработку зубчатого колеса с помощью полученной кинематики формообразования (*Слайд 24*).

В главе 4 представлен разработанный способ предварительного формообразования зубьев модульной дисковой и пальцевой фрезой, инструмент для профильной модификации зубьев, приведены результаты практического опробования и использования результатов диссертационного исследования. На данном слайде представлены формообразующие движения, совершаемые инструментом и заготовкой (*Слайд 25*).

При этом по полученному способу изготовления выбор модульной или дисковой фрезы осуществляется по зависимости (4.2). Приведен пример расчета приведенного числа зубьев и выбора номера фрезы. На способ изготовления получен патент на изобретение (*Слайд 26*).

На слайде представлены результаты полученного инструмента для профильной модификации зубьев. Отличительной особенностью этого инструмента является то, что режущие кромки инструмента модифицированы радиусом R , который включает в себя различные будущие погрешности изготовления зубчатого колеса, при этом модификация режущих кромок инструмента позволяет осуществлять преднамеренное отклонение боковой поверхности зуба от главной поверхности для компенсации действия факторов, отрицательно влияющих на работу зубчатой передачи. На инструмент получен патент на изобретение (*Слайд 27*).

На слайде приведены результаты апробации диссертационного исследования в производственных условиях. На слайде представлены результаты предварительного формообразования зубьев зубчатого колеса дисковой модульной фрезой. При этом выбор номера фрезы осуществлялся по полученной в патенте на изобретение зависимости. Дальше рассчитывали ориентацию инструмента по зависимостям, полученным в главе 3 диссертации. В результате было осуществлено предварительное формообразование зубьев на станке с ЧПУ (*Слайд 28*).

На данном слайде приведены результаты практической апробации результатов диссертационной работы на кафедре в КНИТУ-КАИ. Для обработки зубьев использовали имеющееся оборудование. Обработка поверхности однополостного гиперboloида вращения осуществлялась на токарном станке с ЧПУ, а предварительное и окончательное формообразование зубьев на станке с ЧПУ Fanuc Robodrill $\alpha 21$ по рассчитанной заранее траектории перемещения инструмента (*Слайд 29*).

Результаты диссертационного исследования переданы для практического использования на ООО «Адем-Центр», ПАО «Камаз», ОАО «Вакууммаш». По результатам практической апробации формообразования боковой поверхности таких зубьев было отмечено, что предварительное формообразование зубьев необходимо осуществлять с помощью разработанного способа предварительного формообразования и кинематики формообразования, что позволяет значительно сократить время предварительной обработки зубьев. Кроме того, при обработке боковой поверхности зуба концевой фрезой необходимо предварительно обработать область горлового сечения и далее производить обработку от горлового сечения к периферии зубчатого колеса (*Слайд 30*).

Основные выводы по работе представлены на данном слайде. С Вашего позволения, я их зачитывать не буду. Они представлены на слайде и в раздаточном материале. Спасибо за внимание. Доклад окончен (*Слайд 31*).

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Все, да? Спасибо. Вопросы пожалуйста, профессор Петр Федорович Зибров.

Зибров П.Ф.: У меня такой вопрос: у Вас сказано про переход окружности в эллипс, то есть сопряжение двух кривых при формообразовании зубьев?

Соискатель: При формообразовании зубьев получается линейчатая поверхность, а окружность или эллипс используется для профильной модификации зуба.

Зибров П.Ф.: Правильно. А эллиптическая составляющая где там, между собой они состыкуются? Где точки соприкосновения двух вот этих кривых эллипса и окружности Вам надо было посмотреть вторую производную. Когда они у Вас сопрягаются происходит разрыв второй производной или не происходит? У Вас есть математическая модель, это можно было сделать. Почему я это говорю, потому что точки разрыва второй производной дают удар, и необходимо оценить насколько это будет влиять при работе зубчатой передачи. Вот тут у Вас написано про толщину смазочной пленки, я этими вопросами занимался. Если удары силовые будут большие, то смазочная пленка будет разрываться, и вот здесь, как мне кажется, можно было, так как у Вас есть математическая модель, посчитать эти моменты.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Петр Федорович, выступление я прошу потом, а сейчас вопросы.

д.т.н., профессор Зибров П.Ф.: Смотрели ли Вы или нет изменение второй производной при сопряжении двух видов кривых?

Соискатель: Я понял Ваш вопрос. В данной работе профильная модификация зубьев не входила в цели и задачи исследования. Я исходил из того, что тяжело нагруженные зубья должны подвергаться профильной модификации, поэтому этот вопрос был рассмотрен приближенно и будет продолжен в дальнейшем.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Можно вопрос в продолжение? Скажите, пожалуйста, Вы под словом модификация понимаете замену образующей зуба. Слово «модификация», как мне кажется, не очень подходит для аналитики и геометрии. Модификация это изменение или добавление чего-либо. Вы что понимаете под словом модификация?

Соискатель: Можно слайд, где изображен инструмент? Почему я прошу слайд где инструмент, так как на этом слайде я отразил ГОСТ'ом приведенное определение. ГОСТ'ом под модификацией понимается отклонение боковой поверхности зуба от главной поверхности с целью компенсации факторов, отрицательно влияющих на зубчатую передачу.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Эти отклонения возникают только тогда, когда Вы одну прямую заменяете другой?

Соискатель: Я просто не понял, можно еще раз?

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Вот эти отклонения, о которых Вы сказали сейчас, они могут возникнуть только в том случае, когда есть какая-то одна кривая, которую Вы заменяете или дугой окружности или эллипсом?

д.т.н., профессор Носов Н.В. (реплика): Относительно какой поверхности делается модификация?

Соискатель: Относительно боковой поверхности зуба.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: А какая это поверхность?

Соискатель: Модифицируется небольшой участок головки зуба. Предварительная оценка, какой она должна быть, есть. В одном из слайдов это присутствует.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Вы сказали правильно: у головки зуба делается модификация и у ножки зуба.

Соискатель: И у ножки зуба.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Вы об этом ничего не сказали.

Соискатель: Да, при докладе не сказал.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: В продолжение вопроса профессора Петра Федоровича Зиброва: Вы какой-то анализ делали, что из этого лучше и как это дальше использовать?

Соискатель: Такой анализ я не производил. Как я уже сказал, профильная модификация зубьев была оценена приближенно, и этот вопрос в цели и задачи работы не входил. Я исходил из анализа литературных данных, а именно работы Генкина М.Д. и Рыжова М.А., есть работы Попова В.А., в которых говорится о том, что в тяжело нагруженных передачах производились сравнительные испытания передач, модифицированных дугами окружности и эллипса и модифицированных эвольвентой. В своих работах эти авторы утверждают о том, что модификация профиля зубьев дугами окружности и эллипса повышают качественные характеристики зубчатых передач по сравнению с его модификацией эвольвентой.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Что Вы понимаете под качественными характеристиками?

Соискатель: Под этим я понимаю долговечность передачи. При соприкосновении зубьев, если модификацию не производить, контакт зубьев выходит на кромку.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Как правильно это сказать?

Соискатель: В этом случае время работы такой передачи оказывается ограниченным, она выходит из строя раньше срока, и поэтому профильную модификацию зубьев необходимо осуществлять. И именно на это она и влияет, что и было указано, в том числе в работах Генкина М.Д., Рыжова М.А. и других.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Скажите, пожалуйста, Вы говорите о фрезеровании предварительном или дисковой фрезой или пальцевой фрезой. Фреза у нас концевая все-таки и это, наверное, не совсем корректно. А окончательное фрезерование?

Соискатель: Окончательное фрезерование осуществляется построчно концевой фрезой.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: То есть и предварительное и окончательное?

Соискатель: Имеется в виду, что модульная пальцевая фреза осуществляет предварительное формообразование, а далее используется концевая сфероконическая фреза.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Спасибо. Вопросы еще, пожалуйста, профессор Носов Николай Васильевич.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: У меня первый вопрос. Почему Вы не сказали какой класс точности? Получается черновое, получистовое, чистовое? А класс точности какой?

Соискатель: Можно на слайд выше. Я как раз по этому слайду и говорил, что на данную зубчатую передачу нет ГОСТ'ов, поэтому нельзя говорить о классе точности.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Вы можете сказать классы точности, чего Вы достигаете?

Соискатель: В данной работе мы не производили оценку параметров точности.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: А какой параметр оценивали, производительность? Здесь написано производительность, Вы ничего не сказали о ней.

Соискатель: В конце доклада я сказал о том, что при предварительном формообразовании следует использовать разработанный способ и это снижает время обработки.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: За счет чего?

Соискатель: За счет того, что используется дисковый инструмент, который имеет больше режущих кромок и съем металла им больше.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Вы говорите о дисковом инструменте?

Соискатель: Мы опробовали предварительное фрезерование зубьев дисковым инструментом, обрабатывали дисковой модульной фрезой.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: У Вас это оригинальная часть. Почему Вы

не привели чертеж дисковой фрезы, чертеж пальцевой фрезы? Они что, стандартные?

Соискатель: Дисковая модульная фреза она стандартная, и поэтому приводить ее чертеж смысла не было.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Вы сами ее рассчитывали или нет?

Соискатель: В разработанном способе изготовления приведена математическая зависимость как выбирать фрезу. Обычно она выбирается либо по числу зубьев нарезаемого колеса, либо по приведенному числу зубьев для косозубых колес. В способе изготовления используем формулу для приведенного числа зубьев и уже на основе приведенного числа зубьев выбирается инструмент, например фрезу $6\frac{1}{2}$ из набора фрез.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Хорошо. Взяли стандартизованную модульную фрезу. А как Вы осуществляете модификацию, если не изменяли геометрию?

Соискатель: В работе практическая модификация не была осуществлена, предложены лишь были и получены математические зависимости для осуществления модификации. Она была реализована только теоретически. В результате мы получили только не модифицированную зубчатую передачу.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: У Вас точки фрезы, когда Вы программируете обработку, принадлежат оси фрезы. Раскройте подробнее, где и какие точки принадлежат оси фрезы и как Вы программировали обработку на пятикоординатном станке через точки, расположенные на оси? Обычно режущая кромка является точкой, а не ось фрезы.

Соискатель: Мы получили зависимости для точек A_ϕ и B_ϕ оси фрезы, был получен вектор ориентации инструмента, который вводится в управляющую программу Siemens NX CAM в стратегию «фрезерная обработка, выбираемая пользователем», которая позволяет вводить изменение оси инструмента и получать управляющую программу. Так осуществлялась обработка зубьев.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: У Вас в выводах, вот первый вывод: разработка математической модели управления. Что это такое? Во втором выводе математическая зависимость. Математические модели в нашем понимании - это несколько иное. Может быть, было лучше сказать о математической зависимости управления? Что Вы имели в виду, когда говорили, что это модель управления?

Соискатель: Действительно, это математическая зависимость.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Это математические зависимости фактически.

Соискатель: Да, это комплекс математических зависимостей.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Вы назвали моделью. А экономически Вы просчитывали свои варианты?

Соискатель: Для того, чтобы экономически просчитать сложность была в том, чтобы определить объект сравнения. Объектом сравнения могут быть предыдущие технологии обработки таких зубьев. Если смотреть работы Матвеева, то такие зубья он предлагал получать с помощью специального приспособления.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Мы не о Матвееве Г.А. говорим, а о Вас. При смене с пальчиковой фрезы на дисковую тут ясно, что другие скорости, другие возможности. Вы какие возможности использовали?

Соискатель: В задачи работы входила разработка технологии формообразования таких зубьев. До этого такие зубчатые колеса не обрабатывались. Вопросы дальнейшей оптимизации и снижения времени обработки будут рассмотрены в продолжение данной работы, и в рамках данной работы они не рассматривались. Что касается экономической эффективности, она не оценивалась, но было произведено сравнение времени предварительной обработки концевой сфероконической фрезой и дисковой фрезой, и время обработки оказалось значительно меньшим.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Спасибо. Вопросы еще, пожалуйста, профессор Горшков Борис Михайлович.

д.т.н., профессор Горшков Б.М.: В Вашем докладе Вы не сказали об актуальности работы, насколько она важна, где она используется, где применяется? Это первый вопрос. Второй вопрос: чем Вы объясняете высокий к.п.д 98% с точки зрения Ваших математических моделей? Третий вопрос: Какое качество поверхности такой передачи, можно ли их шлифовать? Потому что они должны быть шлифованы по-видимому.

Соискатель: По первому вопросу об актуальности. Потребность в передаваемых мощностях для зубчатых передач непрерывно возрастает.

д.т.н., профессор Худобин Л.В. (реплика): Почему?

Соискатель: Потому что современное развитие машиностроения требует постоянно увеличивать удельную передаваемую мощность, то есть мощность, передаваемую на единицу массы и в авиастроении, и в транспортном машиностроении. Если говорить о транспортном машиностроении, то требование по экологичности - оно как раз зависит от металлоемкости. Контактные давления, которые возникают на боковых поверхностях зубьев при передаче вращения, приводят к тому, что необходимо либо увеличивать массу редуктора, либо применять новые перспективные материалы, использовать упрочнение боковой поверхности зубьев, либо использовать многопарные зацепления, у которых в контакте участвует несколько пар зубьев. Если посмотреть на ту передачу, которая рассмотрена в работе и приложить зубчатые колеса и посмотреть на них, то можно увидеть, что в контакте участвует несколько пар зубьев. Соответственно это и позволяет передавать большие мощности на единицу массы. Актуальность работы я вижу именно в этом. Второй вопрос, извините, я его немного подзабыл.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Спасибо. Вопросы еще, пожалуйста, профессор Горшков Борис Михайлович.

д.т.н., профессор Горшков Б.М.: Максимальный к.п.д. 98% чем объясняется? Вы частично сказали уже про коэффициент перекрытия.

Соискатель: Данные к.п.д. были получены Матвеевым Г.А. В работах Матвеева Г.А. и его учеников более высокий к.п.д. объясняется большим коэффициентом перекрытия, во-вторых, более благоприятными условиями смазки.

д.т.н., профессор Горшков Б.М.: С точки математической модели как можно объяснить высокий к.п.д.? Там, по-видимому, есть скорости относительного движения одной поверхности относительно другой. Они близки или разные получаются? Если высокий к.п.д., то малые скорости, малое трение.

Соискатель: Так как у этой передачи более благоприятные условия образования масляной пленки, то меньше трение и к.п.д. оказывается больше. Все эти данные были получены не мной, а Матвеевым Г.А.

д.т.н., профессор Горшков Б.М.: Можно ли шлифовать такую передачу, качество ее можно улучшить?

Соискатель: Вопросы отделочной финишной обработки таких зубьев были рассмотрены теоретически в первой главе диссертации. Конечно, у этой передачи из-за того, что боковая поверхность зуба меняет свое положение как по высоте, так и по длине зуба, знакопеременная кривизна, то методов обработки, которые мы можем использовать меньше. Но, тем не менее, есть многокоординатные шлифовальные станки, есть обрабатывающие центры, которые позволяют и фрезеровать и шлифовать, и эти зубья мы можем обработать на таких станках. Также можно использовать электрохимические методы обработки фасонным электродом-инструментом, который мы можем по геометрической модели получить. Таким образом, можно использовать перечисленные способы.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Спасибо. Вопросы еще, пожалуйста, профессор Худобин Леонид Викторович.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Михаил Владимирович, будьте любезны, скажите какие постоянные и переменные факторы учитываются в Ваших зависимостях? Перечислите, пожалуйста, что Вы учитываете?

Соискатель: Мы учитываем геометрические параметры, определяемые формой зуба. Учитываем то, что геометрия инструмента не изменяется в процессе резания, это допущение мы использовали при разработке модели.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Мне показалось, что весь математический аппарат, что Вы используете, это чисто аналитическая геометрия, да?

Соискатель: Это аналитические зависимости.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Эти зависимости получены аналитическим путем, понятно. Я и говорю, что это аналитическая геометрия. В общем-то, статика. Динамики нет что ли? Трение не учтено, силового фактора нет совсем. Как Вы говорите о каком-то там к.п.д., я не совсем понимаю.

Соискатель: Модель была получена на основе широко известных зависимостей, применимых к зубчатым передачам. Основным условием, которые учитывали при разработке модели, было получение таких зубьев, которые бы зацеплялись. Именно поэтому мы использовали производящее колесо.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Вы сами только что сказали, что Вы получили такую зубчатую передачу, которая обеспечивает лучшие условия для размещения смазки трущихся поверхностей. А за счет чего? Я понимаю,

Вы бы оперировали шероховатостью на микроуровне, но Вы же все на макроуровне работаете. Как же быть с трением, с динамикой?

Соискатель: Параметры по к.п.д. были получены Матвеевым Г.А., в цели работы это не входило. Если говорить о качестве поверхностного слоя, то в работе эта оценка не вошла, но буквально вчера были получены данные по шероховатости. И если можно, я могу их продемонстрировать.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Как-то учитывалась шероховатость во всем том, что Вы нам представили?

Соискатель: В тех математических зависимостях, которые я представил, шероховатость не учитывалась, но она учитывается при модификации зубьев. При модификации зубьев мы учитываем, компенсируем модификацией зубьев шероховатость, которая у нас будет или которую мы получили.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Где хоть один параметр шероховатости?

Соискатель: Перелистайте ниже (*перелистываются слайды презентации*). Вот как раз при модификации боковой поверхности зубьев мы и учитываем параметр шероховатости, представленный на слайде. Именно для этого делается модификация – для компенсации.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: То есть Вы вводите в правую часть уравнения какой-то параметр. Это среднее статистическое отклонение что ли, что это, R_a или что?

Соискатель: Да, именно параметр R_a шероховатости боковой поверхности зуба.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Леонид Викторович, все? Вопросы еще. Пожалуйста, д.т.н., доцент Унянин Александр Николаевич.

д.т.н., доцент Унянин А.Н.: При модификации присутствуют такие параметры, как допуск на предельное смещение средней плоскости, допуск на отклонение шага. А откуда можно ее взять для этой передачи?

Соискатель: Для этой передачи взять их не можем, но поэтому я и говорил, что это оценочный параметр. Мы их взяли для других зубчатых передач со скрещивающимися осями, на них ГОСТ'ы есть, и эти параметры можно найти.

д.т.н., доцент Унянин А.Н.: Расчет по зависимости 4.3 Вы производили, я не вижу окончательных расчетов? Где-то символы, где-то цифры.

Соискатель: Именно на слайде это не представлено, но в диссертации присутствует пример расчета радиуса модификации, оценочный пример расчета.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Так еще вопросы, пожалуйста, профессор Бобровский Николай Михайлович.

д.т.н., профессор Бобровский Н.М.: Прошу прощения, я мысль Леонида Викторовича продолжу. Вот этот параметр, учитывающий шероховатость боковой поверхности зубьев, это или R_a или коррелирующий коэффициент R_a откуда он вообще, его происхождение? Это раз. И второе: Шероховатость она в границах доли микрометра, а остальные: допуск на отклонение шага и т.д. это более десятки микрометров. Насколько этот параметр учитывается и как измеряется шероховатость боковой поверхности зуба?

Соискатель: По поводу того, что это за параметр, то это я уже сказал, что этот параметр, учитывающий шероховатость – параметр R_a , он конечно значительно меньше, чем те параметры, которые учитываются при модификации режущей кромки инструмента. А по поводу того, как он измеряется, то буквально вчера получены были результаты обмера шероховатости, покажите, пожалуйста на экран (*демонстрируется дополнительный слайд с результатами контроля шероховатости боковой поверхности зубьев*). Его измеряли на 3D координатно-измерительной машине Alicona Infinity Focus, она входит в реестр средств измерений. Шероховатость получилась 0,63 мкм.

д.т.н., профессор Худобин Л.В. (реплика): Сколько?

Соискатель: 0,63 мкм. 623 нанометра, если перевести в микрометры, то получится 0,63 мкм.

д.т.н., профессор Бобровский Н.М.: Прибор у Вас есть в наличии?

Соискатель: У нас его на кафедре нет, но я сотрудничаю с метрологической компанией, с которой в перспективе будем осваивать методику измерений, и у меня есть наработки, как это делать для этих зубчатых колес. Методика разрабатывается.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Вопросы еще? Пожалуйста, профессор Худобин Леонид Викторович.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Михаил Владимирович, но ведь эти 0,63 мкм это вовсе не Ваши. Это уже полученные на готовом зубчатом колесе, так ведь, да? Какую же долю в этих 0,63 мкм играют эти Ваши зависимости? Может быть ничтожную, по сравнению с динамическими факторами, которые действовали при изготовлении зубчатого колеса, а может быть наоборот, доминирующую. О чем это говорит, что Вы получили 0,63 мкм? По-моему, ни о чем в связи с Вашими аналитическими связями.

Соискатель: Можно попросить передать заготовку, вот эту заготовку принесите, пожалуйста (*демонстрируется заготовка зубчатого колеса с обработанным зубом зубчатого колеса*). До того, как разработать те, математические зависимости для формообразования таких зубьев, которые в третьей главе диссертации были сделаны, осуществлялось пробное формообразование таких зубьев и даже визуально видно, что шероховатость больше.

д.т.н., профессор Киселев Е.С. (реплика): Позвольте, но это же заготовка, это не готовое зубчатое колесо, это заготовка для последующей обработки концевой фрезой.

Соискатель: Это уже обработанные концевой фрезой зубья.

д.т.н., профессор Киселев Е.С.: Это Вы модульной фрезой из набора взяли и обработали, а на самом деле профиль вон какой получается. Какие там 0,63 мкм?

Соискатель: Вот эта деталь была получена концевой фрезой (*демонстрируется другое, отличное от предыдущего зубчатое колесо с обработанными зубьями*). За счет того, что ориентировали инструмент по программе и те микронеровности, которые оставались концевой фрезой на финишных операциях боковой поверхностью фрезы снимали. Деталь получена на станке Micron UCP 800.

д.т.н., профессор Киселев Е.С.: Где вторая пара, покажите.

Соискатель: Вторую пару пока не доделал.

д.т.н., профессор Киселев Е.С.: У нее на глазок видно, профиль разный.

Соискатель: А он и должен быть разный. Есть пара других зубчатых колес другого модуля.

д.т.н., профессор Киселев Е.С.: Правильно. Посмотрите какая там шероховатость. Там 0,63 мкм и близко нет.

Соискатель: До того, как разработать кинематику, были обработаны те предыдущие зубья. Тот подход, который мы разработали в третьей главе диссертации, к тем зубьям мы не применяли, а эти мы обработали на станке концевым инструментом. Есть фото и видео, пожалуйста.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Александр Анатольевич хотел вроде, да? Пожалуйста, доцент Дьяконов Александр Анатольевич.

д.т.н., доцент Дьяконов А.А.: Михаил Владимирович, Вы постоянно говорите про модификацию, которая приводит к увеличению долговечности и ресурса передачи. То, что Вы провели эту модификацию, насколько долговечность увеличилась?

Соискатель: Я до этого уже сказал, в работе только теоретические зависимости были получены, практически модификация не осуществлялась. Это не входило в цели задачи исследования. Поэтому насколько повысится долговечность этих колес после модификации, можно будет судить только после проведения каких-то испытаний зубчатой пары. В данный момент этих испытаний не было. Но теоретические все работы, теоретические исследования показывают о том, что профильная модификация увеличивает долговечность.

д.т.н., доцент Дьяконов А.А.: Второй вопрос: У Вас указано, что экспериментальные исследования Вы проводили в NX. Для чего Вы аналитику и алгоритм обработки зачем тогда разрабатывали?

Соискатель: В NX'е, имея геометрическую модель, можно получить управляющую программу, но не во всех случаях. Именно поэтому в программах подготовки управляющих программ «защита» возможность использования аналитических, математических зависимостей для формообразования зубьев. Вот такой пример: лопатки ГТД, имея геометрическую модель, обработать вроде можно. Но, тем не менее, в NX'е существует специальный модуль, специальная подпрограмма для обработки таких сложно-фасонных поверхностей. Для того, чтобы эффективно обработать такие зубья и вообще получить такие зубья, необходимо было разработать математические зависимости, которые вводили в САМ-систему в специальный модуль 5-ти осевой обработки, задаваемый пользователем.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Профессор Салов Петр Михайлович, пожалуйста.

д.т.н., профессор Салов П.М.: У меня три вопроса очень коротких. Рассматривали ли методы со смещением от горлового сечения, может быть мы ушли от двойной кривизны? Это первый вопрос. Второй вопрос: почему Вы в своем докладе не говорите о телесности эксперимента, может это бы существенно упростило понятия Вашего вопроса? И третий вопрос: как собирается Ваша зубчатая пара?

Соискатель: Первый вопрос относительно ухода от горлового сечения?

д.т.н., профессор Салов П.М.: Да, смещение горлового сечения за пределы заготовки.

Соискатель: Я конечно не совсем понял, что Вы имеете в виду. Если говорить об упрощении технологии изготовления, то спироидные, гипоидные, винтовая зубчатая передача они получены за счет этих упрощений. Из однополостного гиперболоида вращения в случае винтовой передачи берется окологорловое сечение, и он упрощается с однополостного гиперболоида вращения до цилиндра. И многопарность зацепления уходит – в случае винтовой передачи контакт происходит в точке.

д.т.н., профессор Салов П.М.: А контакт всегда происходит в точке. Потому что чистого гиперболоида не бывает, как только передаем перемещение - все, форма гиперболоида не работает.

Соискатель: Я согласен, что контакт происходит в точке.

д.т.н., профессор Салов П.М.: Поэтому и я задал второй вопрос, так как учитывается всегда телесность. Ответьте мне, пожалуйста, на последний вопрос: как собирается зубчатая пара?

Соискатель: Вопросы сборки зубчатой пары в работе не были рассмотрены, цели и задачи были совершенно другими.

д.т.н., профессор Салов П.М.: Радиальная или осевая сборка у Вас?

Соискатель: Радиальная.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Вопросы еще? Пожалуйста, д.т.н. Ковальногов Владислав Николаевич.

д.т.н. Ковальногов В.Н.: Целью своей работы Вы продекларировали осуществление практического формообразования зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной переменной кривизны. В этой связи корректно ли будет сказать, что в результате Вашей работы впервые в мире реализовано такое формообразование?

Соискатель: Вопрос я понял. Тот богатый, обширный обзор, который как я считаю, провел, используя и отечественные литературные источники и западные, позволяют утверждать, что да, они были впервые изготовлены за счет тех математических зависимостей и за счет тех способов изготовления.

д.т.н. Ковальногов В.Н.: Почему Вы в заключении по работе об этом не сказали?

Соискатель: С замечанием согласен, моя недоработка есть.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Еще вопросы? Пожалуйста, д.т.н., доцент Булыжев Евгений Михайлович.

д.т.н., доцент Булыжев Е.М.: Я не очень хорошо понял. Скажите вот 98% это очень хороший показатель к.п.д., а вот практически эти результаты были подтверждены или нет? Нарисована пара и показано да, это пара дает 98% к.п.д. Это же не сложно проверить.

Соискатель: Проверить наверное не сложно, но я уже говорил, что в цели и задачи это не входило.

д.т.н., доцент Булыжев Е.М.: Скажите, а вот сам профиль, он кем предложен и когда? Профиль колес имеется в виду зубчатых колес.

Соискатель: По тому обзору литературных данных, который мною произведен, Матвеевым Г.А. в 1950-х годах теоретические исследования производились по данной передаче, но изготовить их не удалось. Насколько я знаю из общения с Георгием Александровичем Матвеевым, был определенный интерес по этим зубчатым колесам как раз у Камаза, но дальше не продвинулся, так как практически формообразовать зубья не удалось. Физические модели, которые были получены Матвеевым Г.А., есть в Казанском сельхозинституте. Они были получены из дерева, и буквально вручную он их делал, доводил. Изготовить он их тогда не мог, так как те движения формообразования на классических станках не позволяли их изготовить. Изготовить он их не смог.

д.т.н., доцент Булыжев Е.М.: Хорошо, это у нас. А за рубежом что делают, такие делаются или нет?

Соискатель: За рубежом мне известны данные о том, что в Японии их пытались изготовить, но из-за технологических сложностей не смогли.

д.т.н., доцент Булыжев Е.М.: То есть Вашу работу можно считать в каком-то смысле пионерной, да? В результате можно все-таки изготовить эти колеса, да?

Соискатель: Именно так, работа по сути первая, и именно многие нерешенные вопросы, которые есть по этой передаче, они будут продолжением работы в дальнейшем. А именно в этой работе как раз и ставилась задача впервые их формообразовать, получить, изготовить.

д.т.н., доцент Булыжев Е.М.: Жалко конечно, что Вы не смогли пару собрать, было бы конечно более выигрышно всё.

Соискатель: Пара есть, просто там шероховатость больше, Вы можете их между собой собрать (*передается пара зубчатых колес*).

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Александр Николаевич, у Вас еще вопрос? Пожалуйста, д.т.н., доцент Унянин Александр Николаевич.

д.т.н., доцент Унянин А.Н.: Ваши зависимости описывают поверхности после отделочной, окончательной обработки, так? Но Вы ее не проводили. Учитывают ли Ваши зависимости припуск на обработку, можете Вы получить тот профиль, который должен быть после предварительной обработки?

Соискатель: Конечно можем. Мы в геометрической модели закладываем этот припуск и рассчитываем ориентацию инструмента с учетом этого припуска.

д.т.н., доцент Унянин А.Н.: Я не видел этого в зависимостях.

Соискатель: Вопрос был задан: можно ли это сделать? На что я ответил, что можно. Но в тех зависимостях, что в работе приведены, это не учтено.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Так, еще вопросы. Вопросов нет. Мы работаем больше часа. Будем делать перерыв?

Все нормально? Слово предоставляется научному руководителю, доктору технических наук, профессору Луневу Александру Николаевичу.

Научный руководитель, д.т.н., профессор Лунев А.Н.: Я прошу прощения, я не захватил с собой отзыв, но я его помню, так как сам писал.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Александр Николаевич, если есть необходимость, можете взять этот отзыв.

Научный руководитель, д.т.н., профессор Лунев А.Н.: Это я просто на всякий случай, чтобы в камеру было видно, что я с отзывом. Во-первых, мне приятно, что возникла такая интересная дискуссия. Я сам восемь лет отработал в экспертном совете в ВАКе, правда по специальности «авиационная ракетная техника». Там всегда отмечается атмосфера дискуссии, когда уважаемые члены совета спорят с друг другом, разбираются и, я думаю, придут к правильному выводу. Так вот, Михаил Владимирович окончил наш университет, после окончания университета поступил в аспирантуру, которую закончил в 2007 году. Произошел перерыв с момента окончания аспирантуры до защиты. Это было связано с трудностями практической реализации тех моделей, которые он придумал, это действительно очень тяжелая реализация. Сама идея гиперболоидной передачи родилась в стенах нашего университета в 1950-х годах прошлого века, ей более 50-ти лет. И как Вы уже обратили внимание, ни в ГОСТ'ах, нигде нет отражения этой передачи. Действительно, она не нашла применения в промышленности потому что ее нельзя было практически реализовать. На тот момент в России и за рубежом не существовало такого оборудования, ни таких станков, даже теории не было, как же ее делать. Михаил Владимирович за эту цель взялся, к 2007 году он теоретические модели сделал, им было получено пару изобретений, но отсутствовала практическая реализация, отсутствовало оборудование. Наш Университет получил грант большой в этих годах, Вы знаете, выиграна инновационная программа. И в рамках этой программы были закуплены многокоординатные станки с ЧПУ, и только тогда началась практическая реализация. Михаил Владимирович принял в ней самое активное участие, Вы можете посмотреть, практически все его работы сделаны без соавторов. Это говорит только о том, что он сам полностью «пахал» по этой модели, на этой работе. Он проявил упорство, целеустремленность, хорошие знания теории поверхностей и действительно аналитической геометрии. И, конечно, 90 % работы - это аналитическая геометрия. Но это все-таки не специальность «моделирование», потому что здесь технология, а именно как ориентируется режущий инструмент и он должен менять свое положение в процессе обработки. Вопрос многокоординатного формообразования это конечно отдельный, тяжелый ряд задач, который только сейчас начинает развиваться, и многие задачи, которые раньше не могли быть решены, сейчас решаются с

помощью многокоординатного оборудования. И здесь Михаил Владимирович проявил свои успехи. И я считаю, что то, что он сделал, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата наук и по научной новизне, и по актуальности, и по практической реализации, которая в этой работе достигнута. Этой работой интересуются и в авиационной промышленности, где очень важно отношение той передаваемой мощности к весу (удельная мощность). Вы знаете, что в космическо-ракетной технике килограмм спутника, запущенного в космос, стоит столько же, сколько килограмм золота, примерно одинаково. Поэтому эти граммы, которые мы можем выиграть на передаваемой мощности, они очень существенны. Интересуется и Камаз, ему тоже выгодно в новой спортивной и в других видах техники идти дальше в развитии этой передаваемой мощности, ну и другие предприятия. Спасибо, если есть вопросы, я готов на них ответить.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Не надо.

Научный руководитель, д.т.н., профессор Лунев А.Н.: Почему же, дискуссии приветствуются, даже между членами совета и руководителем. Спасибо.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Слово Николаю Ивановичу Веткасову для оглашения заключения организации, где выполнялась работа, и отзыва ведущей организации.

Ученый секретарь, д.т.н., доцент Веткасов Н.И.: В деле имеется заключение Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева, где выполнялась диссертация, в котором отмечается личное участие автора в получении научных результатов. Отмечается степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов, степень научной ценности и новизны полученных результатов, практическая значимость работы и отмечается, что работа достаточно хорошо апробирована в публикациях, патентах на изобретения и материалах конференций, в которых участвовал соискатель. В результате заключения делается вывод, что работа Михаила Владимировича Печенкина соответствует положению о присуждении ученых степеней, что тема диссертационной работы полностью соответствует специальности 05.02.07 и рекомендуется к защите по данной специальности. Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Технологии машиностроительных производств» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева.

(Заключение прилагается)

Имеется отзыв ведущей организации – Тульского государственного университета. Отзыв подписан заведующим кафедрой «Технологии машиностроения», доктором технических наук, профессором Маликовым А.А. и заслуженным деятелем науки и техники Российской Федерации, доктором технических наук, профессором Ямниковым А.С. и утвержден проректором по научной работе, доктором технических наук, профессором Кухарем В.Д. Отзыв положительный. Также как и в заключении Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева, отмечается актуальность темы диссертационной работы, оценка новизны диссертационной работы, степень обоснованности, достоверность полученных результатов, практическая значимость результатов работы и отмечаются результаты полученные лично соискателем, публикации и апробация работы. Вместе с тем, приводятся ряд замечаний, которые я с Вашего позволения зачитаю.

1. На стр. 10 диссертации приведены различные конструктивные особенности и способы осуществления профильной и продольной модификации зубьев. Может быть, стоило приводить все возможные конструктивные особенности и способы профильной и продольной модификации зубьев зубчатых колес, а не только их часть?

2. На с. 30 представлена необоснованная бездоказательная критика существующих работ, затрудняющая понимание высказываний автора из-за неуказания ФИО авторов критикуемых работ.

3. На с.31 имеется странное заявление автора: «В работе [26], по заверениям автора, изготовлены зубчатые колеса на гиперболоидной заготовке. Однако, элементарный визуальный анализ изготовленных зубчатых колес показывает, что зубчатые колеса формообразованы только на окологорловой части однополостного гиперболоида. Известно, что аппроксимацией окологорловой части однополостного гиперболоида вращения цилиндром получают винтовые зубчатые колеса с точечным характером контакта». Непонятно, как это он визуальным анализом определил способ формообразования зубьев?

4. На стр. 44 диссертации, рис. 2.1, ось z зубчатого колеса направлена вертикально, а на стр. 55, рис. 2.6, ось z направлена горизонтально. Может стоило привести направление осей координат к единообразию?

5. Во второй главе диссертации в формулах тригонометрических функций произвольные значения углов (без указания размерности) складываются или вычитаются из фиксированных значений прямых углов или 180^0 , что не вполне корректно.

6. В пункте 4.2 диссертации «Оценочный расчет времени предварительного формообразования зубьев дисковой модульной фрезой на станках с ЧПУ» и п. 4.4 «Опробование и внедрение результатов диссертационного исследования» приведены количественные данные снижения времени обработки зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны при предварительном и чистовом фрезеровании зубьев. Однако, было бы

целесообразным подкрепить эти данные снижением себестоимости изготовления в конкретных цифрах.

В заключении отмечается, что работа представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной задачи формообразования гиперболоидных зубчатых колес с зубьями двойной кривизны на многокоординатных станках с ЧПУ и соответствует Положению о присуждении ученых степеней.

(Заключение прилагается)

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Слово для ответов на замечания по отзыву ведущей организации предоставляется соискателю. Пожалуйста, Михаил Владимирович.

Соискатель:

Что касается отзыва ведущей организации, а именно замечание о сокращении себестоимости обработки. Значительное сокращение себестоимости обработки зубьев будет достигнуто за счет предварительного формообразования зубьев с использованием разработанного способа изготовления и тех зависимостей по расчету траектории перемещения инструмента, которые получены в диссертации.

На замечание о том, что трудно определить автора работ, я отметил, что в тех работах, где присутствуют иные авторы, в диссертации указана ссылка и вклад авторов. Сотрудничество с соавтором двух моих статей носило консультационный характер по системе NX, то есть математические зависимости были получены мною, а он лишь консультировал меня по тому программному инструменту NX, как его использовать.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П. (реплика): В автореферате написаны все глаголы во множественном числе.

Соискатель:

Здесь, наверное, имелись в виду глаголы «выполним», «производим». Были произведены опечатки.

Остальные замечания ведущей организации носят рекомендательный характер, либо связаны с неточностями, орфографическими ошибками, которые не ставят под сомнения результаты, полученные в работе, поэтому я с ними согласен.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Спасибо. На автореферат диссертации поступило 13 отзывов, все положительные. Будем зачитывать полностью или послушаем обзор, который Николай Иванович

сделал? (Предлагается ограничиться обзором поступивших на автореферат отзывов).

Слово для обзора отзывов, поступивших на автореферат диссертации, предоставляется **ученому секретарю совета.**

Ученый секретарь зачитывает обзор отзывов на автореферат

(Отзывы прилагаются)

Как уже сказал Владимир Петрович, на автореферат поступило 13 отзывов, все отзывы положительные. Я зачитаю с Вашего позволения организацию, которая прислала отзыв, авторов отзыва и содержание замечаний.

1. Отзыв ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», подписанный заведующим кафедрой «Технология машиностроения», доктором технических наук, профессором Криони Н.К. и заслуженным деятелем науки и техники РФ, доктором технических наук, профессором кафедры «Технология машиностроения» Мухиным В.С. Замечаний нет.

2. Отзыв ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», подписанный заслуженным работником высшей школы РФ, заведующим кафедрой «Станки и инструменты», доктором технических наук, профессором Артамоновым Е.В. Замечания: 1. На рисунке 4 желательнее было бы ось Y_1 показать графически. 2. Деформации при изгибе зуба зубчатого колеса под нагрузкой, определяемые приближенно по формуле №30, более точно можно определять с применением метода конечных элементов. 3. В автореферате следовало бы указать номер патента на полезную модель.

3. Отзыв ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», подписанный и.о. заведующего кафедрой «Технология машиностроения», кандидатом технических наук, доцентом Некрасовым Р.Ю.; профессором кафедры «Станки и инструменты», доктором технических наук Утешевым М.Х. Замечаний нет.

4. Отзыв ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.), подписанный профессором кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника», доктором технических наук Игнатьевым А.А.; ведущим специалистом НПФ «Грандиент-с» при СГТУ имени Гагарина Ю.А., доктором технических наук, профессором Погораздовым В.В. Замечания: 1. Был ли смысл вводить новое понятие (зубчатые колеса с двойной кривизной) на фоне известных конических и гипоидных передач с круговыми зубьями и плоских передач с эвольвентно-арочными зубьями. На поверхностях зубьев этих известных передач отсутствуют точки, в которых можно провести хотя бы одну прямую, лежащую на рассматриваемой поверхности, что и является признаком поверхности двойной кривизны. 2. Уместнее было иметь в виду

не гиперболоидную поверхность заготовки, а поверхность гиперболоида в качестве начальной или делительной (с.3). 3. Допущена неточность в формулировке пятой решенной автором задачи (с.4), искажающая ее смысл. 4. Упоминание о разработанной фрезерной оправке (с.16) слишком тривиально для демонстрации экспериментальной части диссертации. 5. Трудно поверить в серьезность намерения ПАО «КАМАЗ» использовать данную передачу в качестве главной для грузового автомобиля, особенно при отсутствии полной ясности в возможности массовой производительной обработки ее функциональных поверхностей после термообработки. 6. Не в полной мере использованы современные возможности компьютерного моделирования геометрических событий (схема срезания слоев, форма получаемого профиля, технологические неровности на обработанной поверхности, форма припуска и т.д.) в процессах предварительного и окончательного формообразования рассматриваемых поверхностей.

5. Отзыв ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.), подписанный доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры «Технология машиностроения» Васиным А.Н. Замечания: 1. Из автореферата не ясно – проверялись ли разработанные соискателем математические модели на адекватность? 2. Из автореферата не ясно, какой элемент Тшт.к. удалось уменьшить и соответственно за счет чего – то ли T_0 снижается за счет увеличения режимов резания, то ли за счет оптимизации траектории движения режущего инструмента, то ли Тшт.к. снижается за счет уменьшения $T_{п.з.}$ – времени наладки оборудования, либо за счет каких факторов?

6. Отзыв ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), подписанный заведующим кафедрой «Технология машиностроения», доктором технических наук, профессором Гузеевым В.И.; доцентом кафедры «Технология машиностроения», кандидатом технических наук Батуевым В.В. Замечания: 1. Вызывает сомнение используемый в гл.4 и Заключение термин – «пальцевая фреза». 2. В автореферате не отражена причина значительной разницы во времени при обработке зубчатого колеса дисковой модульной фрезой и такого же зубчатого колеса концевой фрезой.

7. Отзыв ФГБОУ ВПО «Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева», подписанный заведующим кафедрой «Технология машиностроения», доктором технических наук, профессором, Житниковым Ю.З. Замечания: 1. Следовало бы дать сравнительный анализ требований чертежа по точности изготовления гиперболоидных зубчатых колес и при изготовлении по предлагаемой технологии на многокоординатных станках ЧПУ. 2. Отсутствуют сведения как математические выражения, полученные в работе, используются при составлении программ управления ЧПУ.

8. Отзыв ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», подписанный профессором кафедры

«Технология машиностроения», доктором технических наук Мокрицким Б.Я. Замечания: 1. В пункте 1 раздела «Заключение» так и не выражено то главное, за что следует присудить ученую степень, не отражен вклад в решение народнохозяйственной проблемы. 2. Указанные результаты внедрения не отражены экономическими показателями.

9. Отзыв ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени Б.Н. Ельцина», подписанный профессором кафедры «Технологии машиностроения», старшим научным сотрудником, доктором технических наук Красильниковым А.Я. Замечания: 1. В автореферате не приведены единицы измерения физических величин, входящих в формулы. На стр.8 в формулах (4) приведен коэффициент «С». Данный коэффициент рассчитывается по выражениям (5) и (6). В выражении (5) коэффициент «В» согласно формулы (6) безразмерный, а коэффициенты «S» и « $R_2 \cos \alpha_n$ » имеют размерности (см. выражение (5)). Исходя из этого непонятно какая размерность у коэффициента «С». 2. Стр.14 в выражении (26) используется снова коэффициент «С», но рассчитывается по выражению, отличающемуся от формулы (5). Это не корректно. 3. Какова точность получаемых колес при разработанном автором способе формообразования зубьев по таким показателям как кинематическая точность, плавность работы, контакта зубьев?

10. Отзыв ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», подписанный заведующим кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты», доктором технических наук, доцентом Хандожко А.В. Замечания: 1. Желательно было бы более четко дать оценку точности получаемого профиля зуба или зацепления в целом. Из текста автореферата неясно как оценить эту точность и какие критерии (параметры, частные или интегральные) для этого следует использовать. 2. Вывод 4 (с.18) содержит утверждение о возможности учета в конструкции инструмента погрешности зуба колеса, в том числе шероховатость профиля зуба. Из текста автореферата неясно как это можно сделать.

11. Отзыв ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», подписанный заведующим кафедрой «Технология машиностроения», доктором технических наук, профессором Братан С.М.; кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Технология машиностроения» Новиковым П.А. Замечания: 1. В автореферате автор указывает, что «В разделе 2.2 получены математические зависимости образующих линий в виде дуг окружностей и эллипсов, однако не указано какую погрешность вносят указанные упрощения по отношению к заданной точности зубчатого зацепления. 2. В автореферате не показано, какова точность зубчатого зацепления рассматриваемых гиперболоидных зубчатых колес с зубьями двойной кривизны (при отсутствии ГОСТа на данные зацепления, хотя бы в привязке к коническим передачам с круговым зубом). 3. Из раздела 4 автореферата не ясно, какой дискретностью должен обладать станок с ЧПУ для реализации обработки ранее указанных зубчатых колес.

12. **Отзыв ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»**, подписанный кандидатом технических наук, доцентом Соболевым А.Н. Замечания: 1. В автореферате не обосновано влияние тепловых погрешностей в процессе формообразования на станке с ЧПУ на точность изготовления гиперболоидных зубчатых колес. 2. Мало отражены вопросы нормирования точности и контроля изготовления зубчатых колес, рассмотренного типа.

13. **Отзыв ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»**, подписанный заведующим кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты», доктором технических наук, профессором Поповым А.Ю.; кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Реченко Д.С. Замечаний нет.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Слово для ответа на замечания по отзывам на автореферат предоставляется соискателю. Пожалуйста, Михаил Владимирович.

Соискатель:

По поводу замечаний на автореферат. Замечания Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. об использовании понятия. В работе было использовано понятие «гиперболоидные зубчатые передачи с зубьями двойной кривизны», которые образуются на делительных и начальных поверхностях однополостной гиперболоид вращения. Те передачи, которые перечислены в замечании, а именно конические, гипоидные и другие, у них начальные и делительные поверхности не являются однополостным гиперболоидом вращения. Вместе с тем, отсутствие устоявшейся терминологии лишь говорит о том, что передача новая, перспективная и требует уточнения в ГОСТ как называть такие передачи.

Следующее замечание Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. о том, что не ясно, проверялись ли модели на адекватность. В диссертации было осуществлено управление траекторией перемещения инструмента, по сути это геометрическая модель. Был разработан комплекс математических зависимостей. При написании диссертации мною не было найдено понятия «геометрическая модель формообразования». По своей сути в работе использовано прямое математическое описание, основанное на годами апробированных, используемых, проверенных зависимостях для зубчатых передач, примененных к рассматриваемой передаче. Эти зависимости при одних и тех же исходных данных позволяют получать один и тот же результат, поэтому адекватность не проверялась.

Замечание Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. по поводу снижения времени предварительной обработки. Я об этом уже говорил, а именно о том, что был использован

инструмент, у которого большее количество режущих кромок, он позволяет снимать больший объем металла и имеющий большую стойкость. Аналогичное замечание присутствует в замечании Южно-Уральского государственного университета.

Замечание Брянского государственного технического университета о том, что при учете погрешностей зубчатого колеса не учитывается шероховатость. Она учитывается в формуле (28) на странице 14 автореферата.

Замечание Ковровской государственной технической академии о том, что отсутствуют сведения о том, как математические модели используются при составлении управляющих программ. Я уже отвечал на этот вопрос: математические зависимости использовались при создании управляющей программы в САМ-системе, а конкретно в группе операций многоосевой обработки, в операции «Фрезерная операция, задаваемая пользователем».

Замечание из отзыва Севастопольского государственного университета о том, что в математических зависимостях образующих линий в виде дуг окружностей и эллипса не указано, какую погрешность вносят эти упрощения по отношению к заданной точности. При обсуждении работы я говорил о том, что данные модификации образующей, которые в некоторой литературе используются в виде термина «предискажения», вносимые в виде отклонений от главной поверхности с целью компенсации действия факторов, неблагоприятно влияющих на работу зубчатой передачи.

Остальные замечания носят либо рекомендательный характер, либо связаны с оформительскими ошибками, я учту их в дальнейшей работе и с ними я согласен.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Хорошо, спасибо. Слово предоставляется официальному оппоненту доктору технических наук, профессору Трубачеву Евгению Семеновичу.

д.т.н., профессор Трубачев Е.С.:

Уважаемый председатель, уважаемые члены совета. В начале своего выступления я небольшое время уделю представлению себя, кроме официального, которое прозвучало. Я представляю научную школу в области зубчатых передач и редукторостроения, традиционную для нашего вуза – Ижевского государственного технического университета им. Калашникова. И именно с этой позиции, с позиции специалиста-зубчатника я анализировал работу, и с этих позиций она особенно интересна. Общеизвестно, что совершенствование схем и методов зубообработки – формообразования зубьев, главным образом ведется в расчете на использование имеющегося или перспективного зубообрабатывающего оборудования и инструмента. Я не буду перечислять примеры, скажу лишь, что здесь и зубофрезерные станки, и инструменты. При этом традиционные производящие поверхности винтовые, плоские, цилиндрические и прочие. Весь комплекс этого

инструмента и оборудования исходя из которого, как правило, идет совершенствование методов формообразования зубьев, накладывают и на процессы проектирования передач и на процессы формообразующих движений инструмента ограничения, которые стали привычной частью математических моделей соответствующих методик. В то же время производственники, технологи с 90-х годов прошлого века с вождением смотрели на появляющиеся и получающие все большее распространение многокоординатные станки. Но поскольку сложилось такое мнение, что если Вы хотите занять на предприятии проблемы, то возьмите зубообработку себе на шею, так как это комплекс проблем кадровых, инструментальных и не очень понятный производственникам. Многокоординатные станки с их распространением и развитием технологических возможностей становятся более понятней производственнику, чем использование зубообрабатывающих станков и инструментов. И такая экстремистская точка зрения о том, что не надо нам зубообработки - мы сейчас на многокоординатном станке воспроизведем любую поверхность звучит вполне серьезно как минимум с 90-х годов прошлого века. И это, отчасти, правда. Довольно часто имеется в виду, что можно воспроизвести любую поверхность в том числе и зубчатую, заданную большой сводкой уравнений или численно заданную сеткой точек, но концевой сферической фрезой достаточного малого радиуса построено. При этом формируется по высоте зуб таким какой он должен быть – любым, говорят нам технологи. Разумеется, такая технология не очень конкурентоспособна с теми технологиями, которые обычно при зубообработке применяют. И этот факт отражается тем, что с 90-х годов зубообработка не умерла. Рынок ее, что касается инструментов, станков, ныне здравствует и даже развивается. Тем не менее, это желание производственников решить проблему зубообработки сложных зубчатых поверхностей с помощью многокоординатной обработки никуда не делась и, более того, все больше усиливается благодаря возможностям и станков, и соответствующих CAD/CAM систем, возможностям использования концевой инструмента малого диаметра и собственно всем тем тенденциям, которые широко известны в технологической среде. Но имеется некоторый разрыв, о нем я уже сказал: обрабатывать концевым инструментом бескорыстно хочется за один проход, не делать много строчек, плодя некую огранку на зубьях, а сделать концевым инструментом за один проход. Но не так все просто для зубчатых колес, у которых зубья имеют довольно сложную форму, в частности на такую форму, на которую обратил внимание Михаил Владимирович. Он уже в названии работы отразил сложность формы поверхности двойной кривизны, а именно и в продольном, и в поперечном направлении зубья этих экзотических зубчатых передач обладают двойной кривизной, то есть представляют сложность для однопроходной обработки зубьев. Разработке математических моделей, позволяющих перейти от поверхностей зубьев к управляющей программе для многокоординатной обработке, и посвятил свою работу Михаил Владимирович Печенкин. Но я

сразу подчеркну, что не только о модели речь идет, но еще и методе и алгоритме ее реализации на многокоординатном станке, и это приближает работу к специальности, которую он выбрал для защиты работы. С Вашего позволения я отзыв читать полностью не буду, а только основные моменты.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Надо зачитать основные моменты.

д.т.н., профессор Трубачев Е.С.: В первой главе как раз Михаил Владимирович обосновывает то, что я сказал, что именно этот объект разработки, а именно зубчатые передачи с гиперболоидной делительной поверхностью, являются особенно интересными с точки зрения реализации формообразования их зубьев на многокоординатных станках. Кроме того, он поставил себе задачу к требованиям к разрабатываемым моделям и методам, а именно нацеленность на интеграцию с CAD/CAM системами с последующим кодированием программ обработки зубьев. Во второй главе диссертант разработал модели боковой поверхности зубьев, а именно модели образующей – прямой или, при необходимости модификации поверхностей зубьев, кривой второго порядка и моделью сложного движения – вращения вокруг оси парного колеса и согласованного с этим вращения – движением вдоль образующей делительной поверхности парного колеса. Модификация – это традиционный для зубчатых зацеплений прием, используемый для снижения чувствительности зубчатой передачи к действию погрешностей. Конечно применение ее, и это звучало в дискуссии, не бесплатно и с точки зрения качества передачи вопрос меры: насколько эту модификацию предпринять, какие условия для правильного и рационального выбора степени модификации и ее формы: эллиптической или дугой окружности с тем, чтобы не испортить эту передачу, а ее улучшить. Испортить конечно можно и увеличением динамики передачи и концентрации нагрузки, но как мне представляется, для Михаила Владимировича это были вопросы подчиненные, относящиеся скорее к качеству передачи, чем собственно к вопросам формообразования зубьев. Третья глава посвящена диссертантом, главным образом, адаптации математической модели формируемого зуба к заданию параметров установки и движению концевой инструмента на пятикоординатном станке с ЧПУ. По сути, необходимо было от боковой поверхности зубьев перейти к параметрам концевой инструмента и параметрам траектории его движения, которые потом должны быть закодированы в управляющей программе. При этом диссертант делает важное допущение о том, что линия касания к производящей поверхности и образующая боковой поверхности зубьев отличаются друг от друга пренебрежимо мало. В четвертой главе приводится разработанный автором способ предварительного формообразования рассматриваемых зубьев модульными и дисковыми пальцевыми фрезами. Тут, с одной стороны, есть некое противоречие: диссертант в первую очередь разрабатывает модели и

разрабатывает способ в первую очередь с помощью концевой инструмента, а в качестве предварительного нарезания использует дисковый инструмент, дисковый модульный инструмент, признавая косвенно тем самым, что концевой инструмент обладает несколько сниженной производительностью, по крайней мере, при удалении больших объемов материала. Это в самом деле так. В разных технологиях это довольно распространенный прием, в том числе в технологии зубообработки, когда мы более простым и более жестким инструментом снимаем основную часть припуска, а затем малую часть припуска формируем более точным способом. С Вашего позволения я оглашу замечания по работе.

1. Де-факто принятое в третьей главе работы допущение о том, что производящая линия, используемая в математической модели зуба, оказывается близкой к профилю производящей поверхности, к сожалению, не получило должного аналитического или численного обоснования. Полагаю, что здесь Михаил Владимирович поступил как технолог-производственник, а не как специалист по моделированию, поскольку с точки зрения моделирования следовало бы это либо аналитически, либо численно оценить.

д.т.н., профессор Худобин Л.В. (реплика): Прошу прощения, нельзя отвлекаться от отзыва.

д.т.н., профессор Трубачев Е.С.: Прошу прощения. Виноват, принято.

2. Остались не сформулированными в явном виде условия сопряженности (обеспечения касания главных поверхностей зубьев при заданном передаточном отношении во всех фазах зацепления) зубчатых колёс, формируемых по предложенной схеме.

3. При оценке необходимой модификации автор алгебраически складывает технологические погрешности и изгибные деформации зубьев (с. 86, формула (4.25)) – это приём для пространственного зацепления требует более строгого обоснования (справедливости ради, следует отметить, что при этом автор претендует на оценку уровня или порядка требуемой локализации контакта, следовательно речь идёт о приближённой оценке).

4. Вычисляя изгибную деформацию зуба (с. 88), автор считает зуб балкой, но балкой зуб является с большой долей условности, с большими поправками в модель, и в теории зубчатых передач известны подходы к учёту этого обстоятельства для разных видов зубчатых колёс (наиболее основательно этот вопрос рассмотрен в трудах проф. Э. Л. Айрапетова). Оправданием для сделанного автором упрощения также является приближённость оценки.

5. В работе имеются неудачные фразы и неточные формулировки, например:

– анализ ряда конструктивных и технологических особенностей зубчатых передач (1-я глава) во многом дан без конкретизации того, к каким видам

- зубчатых передач он относится, а, между тем, указанные особенности далеко не всегда являются общими для всех зубчатых передач;
- с. 48, последний абзац – «прямолинейной образующей линии»;
 - с. 74, 1-й абзац – требует пояснения фраза "инструмент не интерферирует с соседним зубом";
 - с. 76, 1-й абзац: "переменного окружного шага и модуля" – вероятно, имеется в виду "переменного вдоль образующей делительного (или начального) гиперболоида";
 - с. 88, в формуле (4.28) для момента инерции зуба-балки его длина принята равной ширине венца, но зуб в рассматриваемой передаче практически всегда будет косым (иметь наклон по отношению к образующей поверхности впадин);
 - с. 90 и рис. 4.7: термин "торцовое биение гиперболоида вращения" – у используемого гиперболоида вращения нет торцовых или близких к торцовым участков.

Отмеченные недочёты не являются определяющими в оценке работы, они либо относятся не к защищаемым положениям, а к вопросам, имеющим подчинённое или вспомогательное значение, или являются совершенно негрубыми, не мешающими восприятию сути, ошибками оформительского плана.

Раздел отзыва о соответствии диссертации критериям положения зачитывать?

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Зачитывайте, только без комментариев.

д.т.н., профессор Трубачев Е.С.: В целом диссертация Печенкина М. В. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, обладающую внутренним единством и оформленную в виде специально подготовленной рукописи. Диссертация и автореферат написаны грамотным русским техническим языком. Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями. В материалах диссертации содержатся сведения о практическом использовании полученных автором результатов, что подтверждается реализацией формообразования зубьев зубчатых колес на основе заготовки вида однополостной гиперболоид вращения на пятикоординатном станке с ЧПУ. Оформление диссертации качественное и соответствует установленным требованиям. Диссертация хорошо проиллюстрирована.

Основные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в период с 2005 по 2014 гг. в 10 научных трудах, 3 из которых относятся к рецензируемым изданиям по перечню ВАК, получено 2 патента на изобретение, 1 патент на полезную модель. Содержание автореферата полностью отражает основные положения, выводы и рекомендации диссертации.

При использовании материалов, принадлежащих другим ученым, Печенкин М. В. ссылался на автора и источник заимствования. Автором отмечено, что участие соавтора Абзалова А. Р. в написании 2-х научных статей носило консультативный характер.

В диссертации Печенкина М. В. изложена новая научно обоснованная технологическая разработка, имеющая существенное значение для развития страны – усовершенствованный метод фрезерования зубьев, нарезаемых с использованием пятикоординатного станка с ЧПУ на колёсах с гиперболическими делительными поверхностями и обладающих изменяющейся кривизной в продольном и профильном направлениях.

По актуальности темы, научной новизне и обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, научной и практической значимости полученных результатов можно сделать вывод о том, что представленная диссертация отвечает критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Печенкин М. В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Спасибо, садитесь. Соискатель, пожалуйста, на замечания отвечайте.

Соискатель: По замечанию первого официального оппонента о том, что остались не сформулированы в явном виде условия сопряжения зубьев при передаточном отношении, то как я уже говорил при докладе, условие сопряжения зубьев во всех фазах контакта исследовалось в работах Матвеева Г.А., в цели и задачи работы не входило. Условие сопряжения для тех моделей, которые были мною разработаны, обеспечивалось тем, что образующую линию рассчитывали как для одного зубчатого колеса, так и для сопряженного другого зубчатого колеса, этим и обеспечивалось сопряжение. Дополнительно проверяли условие сопряжения имитационными методами. В имитационном видео как раз показано, что эти поверхности зацепляются.

По поводу замечания о том, что не оценено, как производящая линия инструмента близка по отношению к образующей линии, с этим замечанием согласен.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П. (реплика): Михаил Владимирович, если согласны, то продолжайте.

Соискатель: Я согласен, но хотел пояснить о том, что буквально вчера мы получили результаты обмера зубьев, и они подтвердили, что производящая линия оказывается близкой к образующей линии. По поводу остальных замечаний первого оппонента - они носят рекомендательный характер, либо оформительский характер, поэтому я с ними согласен.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П. Евгений Семенович, Вас удовлетворяют ответы?

д.т.н., профессор Трубачев Е.С.: Да, я удовлетворен ответами.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П. Слово предоставляется официальному оппоненту кандидату технических наук, доценту Юрасову Сергею Юрьевичу. Пожалуйста.

к.т.н., доцент Юрасов С.Ю.: Уважаемые члены диссертационного совета, уважаемые коллеги. В продолжении разговора, начатого первым оппонентом Трубачевым Е.С., хочу привести такой пример. С точки зрения производственной, с точки зрения потребителей, Камаз выдал сейчас техническое задание нашему университету на проектирование конических зубчатых колес и технологии их изготовления без последующей механической обработки прецизионной штамповкой и калибровкой, что по сути является отчасти авантюрной задачей, отчасти уже решенной западными фирмами. Такие колеса мы уже держали в руках, видели. Подобные разработки, технологии они непрерывно совершенствуются и направлены на решение комплекса вопросов, связанные с эксплуатационными показателями шестерен, работающие в мостах большегрузов с их ходимостью, ресурсом, себестоимостью обработки – вот основные положения, которые интересуют современное производство и конечного потребителя. Все эти показатели в интегрированной сумме дают себестоимость автомобиля и себестоимость его удельной эксплуатации: «километр-рубль-километр», то есть эти показатели. На мой взгляд, диссертация Печенкина в этом смысле приближена к таким задачам в плане производительности обработки таких экзотических передач, так как он уходит от обработки не производительным концевым инструментом в обработку на обрабатывающих центрах более производительным дисковым инструментом стандартной конструкции. Поэтому задача на мой взгляд актуальная, а передача интересная. Почему они не распространены автор указал – из-за технологических сложностей изготовления таких передач. Но тем не менее, такие работы на мой взгляд необходимы, нужны, так как расширяют знания в этой области и возможности применения этих передач в технических изделиях. С Вашего позволения, я зачитаю пункты отзыва, которые позволяют оценить эту работу. Печенкин в своей работе разработал и применил моделирование формообразования боковой поверхности зубьев зубчатых колес нарезанием их на заготовках однополостной гиперboloид вращения и произвел моделирование боковой поверхности зубьев на многокоординатных станках с ЧПУ. В настоящее время это является актуальной производственной задачей, так как непрерывно растут требования по технико-экономическим показателям, в том числе в конкурентной автомобильной среде. Им была предложена технологическая

реализация этих новых конструкций зубчатых передач с заявленными высокими качественными эксплуатационными характеристиками. Степень обоснованности положений, выводов и рекомендаций достигается базированием исследований на общепризнанных законах и правилах теории зубчатых зацеплений, теории резания материалов, технологии механической обработки; использованием известных и проверенных практикой методов математического моделирования, математики и информатики. Теоретические положения диссертации подтверждаются приведенными в диссертации результатами практического эксперимента по формообразованию зубьев гиперболических зубчатых колес на станках с ЧПУ, результатами внедрения. Судя по практической реализации обработки зубьев, модели и методы формообразования показали свою работоспособность при практической реализации фрезерования зубьев гиперболических зубчатых колес двойной кривизны. Диссертантом был сделан достаточно широкий, глубокий обзор авторов, проектировщиков передач и технологических схем обработки. В заключении обзора существующих схем диссертант отмечает, что в настоящее время задача формообразования зубьев на заготовках вида «однополостной гиперболической вращения» не решена и мало исследована. Поэтому из предварительных положений и в результате выполнения работы им были выдвинуты приведенные пункты научной новизны, которые я Вам уже озвучил. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается использованием строго математического аппарата, известных методов теории зубчатых зацеплений, компьютерного моделирования и решением на их основе технологической задачи обработки зубьев на заготовке вида однополостной гиперболической вращения на станках с ЧПУ. Результаты работы не противоречат работам других авторов, а практический эксперимент и результаты внедрения подтвердили, что зубья зубчатых колес на заготовке вида «однополостной гиперболической вращения» могут быть изготовлены на универсально-фрезерных станках с ЧПУ. Использование диссертантом широко применяемых в машиностроении методов компьютерного моделирования посредством модулей программного продукта Siemens NX с одновременной проверкой полученных моделей имитационным моделированием позволяют утверждать о высокой достоверности научных положений, выводов и рекомендаций. По поводу программных комплексов, тот же Камаз выдвигает при выполнении научно-исследовательских работ, НИОКР обязательное требование, чтобы эти исследования проводились и потом выходные результаты были реализованы на базе программного обеспечения Siemens NX. То есть это корпоративный продукт, которая большая корпорация Siemens поставляет автомобильной корпорации целый комплекс связанных продуктов, и это требование со стороны Камаза как заказчика обязательно есть. Поэтому это тоже говорит в пользу диссертанта, его работы. Позвольте зачитать замечания по диссертации и автореферату.

1. На стр. 10 автором указывается на важность осуществления модификации зубьев, то есть осуществления как профильной, так и продольной модификации, однако в работе была затронута только профильная модификация и не рассмотрена продольная модификация зубьев.
2. При оценке величины профильной модификации зубьев (формула 4.25) на стр. 86 не учтены многие факторы, такие как деформации валов и опор и некоторые другие, способствующие оказать значительное влияние на выход пятна контакта зубьев на кромку.
3. В общей характеристике работы не раскрыты «высокие качественные характеристики» зубчатой передачи, нет полноценного сравнения с уже существующими передачами на скрещающихся осях.
4. Оценочное сравнение времени предварительного формообразования зубьев зубчатых колес на заготовке вида «однополостной гиперблоид вращения» и гипоидных зубчатых колес, проведенное в главе 4, целесообразно было бы развить в сравнение себестоимости обработки вышеперечисленных зубчатых колес.

Несмотря на указанные недостатки, работе может быть дана положительная оценка. В заключение можно отметить, что в диссертации Печенкина М.В. изложено научно-обоснованное техническое решение задачи формообразования зубьев зубчатых колес на заготовке вида «однополостной гиперблоид вращения». Представленная работа отвечает критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Печенкин М.В. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Спасибо большое, присаживайтесь. Слово для ответа на замечания оппонента предоставляется соискателю.

Соискатель: По поводу замечания второго оппонента относительно модификации, я уже сказал, что это была приближенная оценка, и в цели и задачи работы это не входило. Этот вопрос я учту в дальнейшем. Остальные замечания носят рекомендательный характер, оформительский характер и других серьезных замечаний, ставящих под сомнение работу в отзыве второго оппонента нет, и с остальными замечаниями я согласен.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Спасибо большое. Теперь переходим к выступлениям. Кто хочет выступить? Пожалуйста, профессор Зибров Петр Федорович.

д.т.н., профессор Зибров П.Ф.: Уважаемые коллеги, уважаемый председатель, уважаемые присутствующие. Я первым задал вопрос, так как

ностальгия: с 1970 по 1978 год я преподавал теорию механизмов и машин. Тогда она была вся графическая, а я перешел на логическую, потому что закончил механико-математический факультет и знал математику. А с 1978 года по настоящее время я занимаюсь математическим моделированием и высшей математикой. И вот здесь возникали интересные вопросы про коэффициент перекрытия: 6,6 у рассматриваемой передачи (*показывает коэффициент перекрытия на соответствующем слайде*) и 2,3 у винтовой (*показывает коэффициент перекрытия на соответствующем слайде*). Коэффициент перекрытия такой большой за счет того, что линия кривая, если у большинства зубчатых передач она прямая, то здесь она переменной кривизны и она длиннее, чем заготовка. И отсюда получился такой эффект, это один из интереснейших моментов. Контакт не точечный, как кинематическая пара второго рода из ТММ, а здесь ленточный, и отсюда передаваемые мощности больше, потому что зона контакта больше, а давление меньше. А отсюда и толщина смазки, так как при точечном зацеплении площадь контакта меньше, то выдавливается смазка гораздо быстрее. И было бы интересно продолжить эту работу по временным зависимостям, как таковые они не участвуют в полном объеме и здесь время вытеснения смазки из зоны контакта гораздо больше, чем там при точечном контакте. Поэтому и слой толще, а это улучшает работу кинематической пары. Есть моменты, которые мне понравились, и я увидел полезность работы. Да, действительно в прошлом веке такие передачи делать было сложно, потому что не было оборудования. Появилось оборудование, и Михаил Владимирович как раз для него предложил технологию. Конечно, есть вопросы к соискателю, но это начало, потому что в дальнейшем, имея такие преимущества, можно этим заниматься и получать более высокие результаты. Так как я занимался шероховатостью, то я посмотрел там как раз интересный момент. На одной из впадин между зубьями очень хорошо обработана одна поверхность. Здесь есть своя особенность. Учитывая, что линейчатый вид контакта, они сами притираются между собой и эту шероховатость с точки зрения контактной пластической деформации выглаживают. Я не случайно задавал вопрос про вторую производную, потому что вторые производные это удары. Здесь если смотреть с точки зрения к.п.д., то я рассматриваю к.п.д. как функцию. Если мы их проинтегрируем, то там будут иметь место другие вещи, которые будут свидетельствовать о том, что эти вот явления, о которых я говорил, они будут нивелироваться за счет динамики. То есть здесь целое поле для дальнейших исследований, и это как раз один из показателей, что работа актуальна, что первый этап сделан правильно. У него математические модели пока что аналитические, динамика есть немножко, но на уровне первых производных, а надо и вторые производные рассмотреть и провести компьютерное моделирование всех процессов, и тогда можно увидеть это наглядно и дать технологические рекомендации для улучшения процесса изготовления таких

полезных передач. Работа мне понравилась, я буду голосовать «за». Соискателя поддерживаю, желаю дальнейших успехов.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Спасибо, Петр Федорович. Желающие есть? Пожалуйста, профессор Горшков Борис Михайлович.

д.т.н., профессор Горшков Б.М.: Уважаемые коллеги, передача, по моему, является очень интересной. Нам конечно не сказали всего: где они применяются и используются. Скорее всего, судя по тому, что было сказано, это авиация и космонавтика, то есть там, где нужно передавать очень большие моменты при малых габаритах. Пересечение осей дает как раз малые габариты. Например, когда от скоростного двигателя необходимо передать мощность для поворота управляемых рулевых двигателей. Мне было несколько непонятно, когда говорят, что таких передач не существует, их просто нет. Но ведь таблица (слайд 2) говорит о том, что эта передача есть, она исследовалась, она предложена. Матвеев Г.А. - автор этой передачи, и она имеет к.п.д. очень высокий. При этом передача очень эффективная, у нее очень высокий коэффициент перекрытия. Мне также приходилось читать 15 лет ТММ, и мы были с одной кафедры с Петром Федоровичем. Я могу сказать следующее, что если говорить об эвольвентном зацеплении, например, о прямозубых передачах, то коэффициент перекрытия от 1,2, то это уже считается хорошей передачей. Если показывать это на пальцах, то два зуба находятся в контакте и третий входит частично, поэтому такая передача может передать небольшой момент, так как возникает опасность поломки зуба и т.д. Потому что зуб это как балка, работающая на изгиб и, конечно, эвольвентные зубья в машиностроении используются. Здесь же коэффициент 6,6 из-за того, что находятся в зацеплении не один зуб и не два зуба. И не только Петр Федорович говорит о том, что линия зацепления изменилась, там еще и профиль изменился и контакт изменился. Поэтому одновременно в зацеплении находится не один зуб, и не два, ни три, а больше. Поэтому эффективность передачи резко возрастает, она конечно перспективная. Поэтому очень приятно слышать о том, что диссертант продолжил начинания 1950-х годов, создал математическую модель, которая позволяет подойти к управлению обработкой таких профилей такого сложного характера на станках, имеющих 5 управляющих координат. Это является продолжением и дополнением работы. Здесь также рассматривался вопрос, можно ли шлифовать этот зуб, но пока такого инструмента не существует. Но, вероятно, он будет создан. Работа интересная, если она найдет применение в дальнейшем, то такие технологии, я думаю, будут разработаны. Мне же видится, что можно не только обрабатывать зуб, но его можно отливать, можно использовать пластические материалы при изготовлении такой передачи. И это даст возможность передавать не колоссальные моменты, которые заложены для металла, а для пластика

можно будет создать передачу очень маленького размера с хорошими передаточными отношениями. Поэтому работа мне понравилась, много она вызвала вопросов. Но направление, которым он занимается интересное, я буду голосовать «за». Спасибо.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Спасибо. Кто еще желает выступить? Пожалуйста, профессор Худобин Леонид Викторович.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.:

Уважаемые коллеги, я начну с контрнаступления. Так вот, меня не убедил совершенно вопрос о коэффициенте полезного действия. О каком коэффициенте полезного действия можно говорить, если математические модели построены на формальных основах, которые дает аналитическая геометрия? До оценки коэффициента полезного действия 0,98 еще очень много работы предстоит и теоретической, практической и бог знает еще какой. Поэтому я считаю, что соискатель напрасно взялся за попытку количественной оценки коэффициента полезного действия, никто с него это не требовал. Он разрабатывал чрезвычайно сложную технологическую задачу, создавал основы будущей технологии изготовления таких зубчатых колес. Он как Гагарин в свое время, говорил букву «а», а вот дальше по алфавиту будут идти дальнейшие исследования. И вот когда эти исследования выйдут на развитие следующих стадий, тогда можно будет об этом говорить. Еще один вопрос: я все ждал: скажет соискатель какая область применения этих зубчатых колес? Вот Борис Михайлович говорит: «Шлифовать еще не научились». Это значит, что предполагается использовать незакаленные зубчатые колеса. А если это незакаленные зубчатые колеса, нешлифованные колеса, не подвергнутые абразивной обработке и не подвергнутые термообработке, то это очень резко, наверное, снижает область применения этих зубчатых колес и их к.п.д. Но вот теперь я разругался, а теперь начну хвалить и здорово хвалить, потому что работа эта мне очень понравилась. Но ведь это же нужно, чтобы научный руководитель и соискатель затратили несколько лет в ожидании когда появится возможность хотя бы предварительной реализации того, что они сделали. В наших условиях вузовских я не знаю, что это за божественные условия. У нас тут шкуру бы пять раз спустили почему аспирант, окончивший давно аспирантуру, до сих пор не защищается. А они ждали этого момента. И наконец появились многокоординатные станки, и открылась возможность попробовать реализовать эту технологию. Здорово, молодцы, и то, что нам докладывали это результат многолетнего труда, это не три и не четыре года, как работают аспиранты, а тут, наверное больше десяти лет. Сколько, Александр Николаевич?

Научный руководитель, д.т.н., профессор Лунев А.Н. (реплика):
Десять лет.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Это и видно. И еще один момент, последний. Ведь мы с Вами обсуждаем не только научно-исследовательскую работу, но и квалификационную работу, и вот с этой точки зрения уважаемый соискатель выглядел блестяще: он прекрасно владеет материалом, которым он располагает, знает предысторию. Может быть, не настолько литературно блестяще выражается, дискутируя, но, по сути, мне кажется, чрезвычайно убедительно, молодец. А все остальные параметры оценки его диссертации: актуальности, научной новизны, полезности и т.д. здесь явно на лицо. И все это позволяет мне с уверенностью поддержать эту работу и проголосовать «за».

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Спасибо, Леонид Викторович. Николай Васильевич, Вы хотите выступить? Пожалуйста, профессор Носов Николай Васильевич.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Я хотел сказать сразу, что эта работа мне понравилась. Она действительно затронула очень многие моменты зубопроектирования. Хотя о самой методике проектирования ничего не было сказано. А это большое темное пятно для проектирования и я считаю, что соискатель прекрасно с этим справился, то есть первая половина мне абсолютно понравилась. Я бы сказал несколько замечаний по второй половине, которая касается как раз обработки таких зубчатых колес. Да, сложная тема, да интересная тема, но надо и поставить ее технологически эту тему. Вначале условия должно быть какой класс точности я должен достичь, дальше какими методами я это должен достичь, какими инструментами. Потому что выбраны не оптимальные параметры того фрезерования, они может быть угаданы, но не выбраны правильно. Поэтому говорить много о производительности, что она повысилась, но не сказано какими методами это достигнуто, ну и соответственно себестоимость. Интересный вопрос про модификацию, мне раньше доводилось этим заниматься. И ее можно выполнить двумя способами: кинематически выполнить эту модификацию или инструментом, проектированием инструмента. Мне кажется, что соискателю в качестве пожелания нужно заострить внимание на проектировании таких инструментов, которые бы одновременно модифицировали и головку, и ножку зуба. Такие инструменты созданы, они есть, они существуют для других зубчатых колес. Хотелось бы видеть законченность в технологическом плане, и вот ее я немножко не увидел. Законченность была бы, допустим, выпуск инструмента, создание технологии. Начало хорошее, все говорит о хорошем положении диссертанта в своем развитии, но я так думаю, что диссертант чуть-чуть поторопился. Потому что не работал, не работал и тут вдруг такое счастье, что можно

получить это. Все-таки, чуть-чуть недоработанность в технологическом, в инструментальном чувствуется. Но, в любом случае, работа выполнена большая, сам диссертант выглядит прекрасно. Я соглашаюсь Леонид Викторович с Вами, поэтому буду голосовать «за». Спасибо.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Так, еще есть какие-нибудь предложения? Замечания есть? Соискателю предоставляется заключительное слово.

Соискатель: Хочу поблагодарить совет за организацию работы, за доброжелательность. Хочу поблагодарить руководителя, ведь благодаря не только моей настойчивости, но и его настойчивости по истечении стольких лет я выхожу на защиту. Что касается замечаний, то для меня они важны, ценны, я для себя вижу много нового в Ваших замечаниях. Вопрос фрезерования, вопрос обработки таких зубьев достаточно сложный и вопрос фрезерования это один из этапов. В своей дальнейшей работе я продолжу все те технологически нерешенные вопросы, о которых здесь было сказано. Спасибо.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Спасибо. Переходим к голосованию. По составу счетной комиссии поступили следующие предложения: избрать в состав счетной комиссии Ковальногова Владислава Николаевича, Денисенко Александра Федоровича и Булыжова Евгения Михайловича.

Нормально, кто за данный состав? Так, все, единогласно. Давайте так. Счетной комиссии, пожалуйста, подходите, забирайте все инструменты, Вам необходимые. Для голосования делаем технический перерыв. Тише, тише. Прошу, пожалуйста, проголосовали и никуда не разбегаться. Пожалуйста, побыстрее, чтобы мы продолжили работу.

(Счетная комиссия организует тайное голосование)

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Так, у нас Все у нас на месте сидят, ни кого не потеряли? Слово предоставляется председателю счетной комиссии Денисенко Александру Федоровичу.

Оглашается протокол счетной комиссии.
(Протокол счетной комиссии прилагается).

Кто за? (Все).

Кто против? (Нет).

Кто воздержался? (Нет).

Протокол счетной комиссии утверждается единогласно.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Таким образом, на основании результатов тайного голосования (за - 17 , против - нет, недействительных бюллетеней - нет) объединенный диссертационный совет Д 999.003.02 на базе Ульяновского государственного технического университета и Тольяттинского государственного университета признает, что диссертация **М.В. Печенкина** соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842, с изменениями и дополнениями, и представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, заключающейся в разработке способа и технологии формообразования зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны, имеющее существенное значение для развития технологии механической обработки. Диссертационный совет присуждает **Печенкину Михаилу Владимировичу** ученую степень кандидата технических наук по специальности **05.02.07 - Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)**.

Переходим к проекту заключения, который Вам раздали. Примем его за основу, если нет возражений. Нет, да? Принимается. Какие будут замечания, дополнения к проекту заключения?

(Обсуждение проекта).

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.:

Еще есть замечания, предложения? (Нет). Если нет, тогда проголосуем. Принимаем заключения в целом с учетом редакционных замечаний, нет возражений?

Кто за? (Все).

Кто против? (Нет).

Кто воздержался? (Нет).

Принимается единогласно.

(Заключение диссертационного совета объявляется соискателю)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.003.02
НА БАЗЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет» и федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет» по диссертации

НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело N _____

решение диссертационного совета от 09.06.2016 г. № _____

О присуждении Печенкину Михаилу Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Многокоординатное формообразование фрезерованием зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны» по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки принята к защите 01.04.2016 г., протокол №17 объединенным диссертационным советом Д999.003.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения (ФГБОУ) высшего образования (ВО) «Ульяновский государственный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32 и ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации, 445667, Самарская область, г. Тольятти, ул. Белорусская, д.14, приказ о создании диссертационного совета №123/нк от 17 февраля 2015 года.

Соискатель Печенкин Михаил Владимирович, 1982 года рождения, в 2004 году окончил ГОУ ВПО «Казанский государственный технический университет имени А.Н. Туполева».

В 2007 году окончил очную аспирантуру ГОУ ВПО «Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева».

Работает доцентом кафедры «Технологии машиностроительных производств» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Технологии машиностроительных производств» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Лунев Александр Николаевич, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» Министерства образования и науки Российской Федерации, кафедра «Технологии машиностроительных производств», профессор кафедры.

Официальные оппоненты:

Трубачев Евгений Семенович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», кафедра «Конструкторско-технологическая подготовка машиностроительных производств», заведующий кафедрой;

Юрасов Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», кафедра «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», доцент кафедры

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» в своем положительном заключении, подписанном Ямниковым Александром Сергеевичем (д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, кафедра «Технология машиностроения», профессор кафедры), Маликовым Андреем Андреевичем (д.т.н., профессор, кафедра «Технология машиностроения», заведующий кафедрой), утвержденном Кухарем Владимиром Денисовичем (д.т.н., профессор, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет») – указала, что диссертация Печенкина Михаила Владимировича на тему «Многокоординатное формообразование фрезерованием гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны», представленная к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки», является научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научные результаты, развивающие теорию и практику технологии машиностроения и, в частности, обработку зубьев зубчатых колес.

Соискатель имеет 12 опубликованных научных работ, из них по теме диссертации 10 работ, в том числе 3 статьи объемом 2,5 печатных листа в рецензируемых научных изданиях по Перечню ВАК. Получены 2 патента на изобретение и 1 патент на полезную модель. Соискателю Печенкину М.В. принадлежит 100% полученных результатов, а именно: разработка математических моделей и кинематических схем многокоординатного формообразования гиперболоидных зубчатых колес с зубьями двойной кривизны, получение математической зависимости для расчета координат точек образующей линии зубчатого колеса и модернизация образующей линии дугами окружности и эллипса, разработка способа предварительного формообразования зубьев модульными дисковыми и пальцевыми фрезами и

инструмента для профильной модификации зубьев. Участие соавтора Абзалова А.Р. в двух научных статьях носило консультативный характер.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Печенкин М.В. Профильная модификация зубьев гиперболоидной передачи/ М.В. Печенкин //Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н.Туполева – 2007. - №2. - С. 29-32
2. Печенкин М.В., Абзалов А.Р. Расчет положения производящих линий при формообразовании боковой поверхности зубьев гиперболоидной передачи/ М.В. Печенкин, А.Р. Абзалов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. [Электронный журнал], URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2014/6/1137.pdf> (дата обращения: 07.06.2016).
3. Печенкин М.В., Абзалов А.Р. Кинематика формообразования боковой поверхности зубьев гиперболоидной передачи концевым инструментом/ М.В. Печенкин, А.Р. Абзалов // Фундаментальные исследования. - 2014. - № 12 (часть 11). - С. 2310-2314, URL: <http://www.rae.ru/fs/pdf/2014/12-11/36686.pdf> (дата обращения: 07.06.2016)
4. Гребенчатая фреза: пат. 2323069, Рос. Федерация: МПК В23F5/20 / Печенкин М.В.; заявитель и патентообладатель Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. - 2006120217/02, заявл. 20.12.2007, опубл. 27.04.2008, Бюл. № 12.
5. Способ изготовления гиперболоидных зубчатых колес: пат. 2341357, Рос. Федерация: МПК В23F1/06 / Печенкин М.В.; заявитель и патентообладатель Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. -2007105650/02, заявл. 05.02.2007, опубл. 20.12.2008, Бюл. № 35.
6. Печенкин М.В. Гиперболоидная зубчатая передача. пат. № 87112, Рос. Федерация: МПК В23F1/06 / Печенкин М.В.; заявитель и патентообладатель: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. - 2009118790/22, заявл. 18.05.2009, опубл. 27.09.2009, Бюл. № 27.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Отзыв ведущей организации – ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», подписанный Ямниковым Александром Сергеевичем, заслуженным деятелем науки и техники РФ, доктором технических наук, профессором кафедры «Технология машиностроения», заведующим кафедрой, доктором технических наук, профессором кафедры «Технология машиностроения», Маликовым Андреем Андреевичем утвержденном проректором по научной работе, доктором технических наук, профессором Кухарем Владимиром Денисовичем. Отзыв положительный. Замечания: 1. На стр. 10 диссертации приведены различные конструктивные особенности и способы осуществления профильной и продольной модификации зубьев. Может быть стоило приводить все возможные конструктивные особенности и способы профильной и продольной модификации зубьев зубчатых колес, а не только их часть? 2. На с. 30 представлена необоснованная

бездоказательная критика существующих работ, затрудняющая понимание высказываний автора из-за неуказания ФИО авторов критикуемых работ. На с.31 имеется странное заявление автора: «В работе [26], по заверениям автора, изготовлены зубчатые колеса на гиперболоидной заготовке. Однако, элементарный визуальный анализ изготовленных зубчатых колес показывает, что зубчатые колеса формообразованы только на окологорловой части однополостного гиперболоида. Известно, что аппроксимацией окологорловой части однополостного гиперболоида вращения цилиндром получают винтовые зубчатые колеса с точечным характером контакта». Непонятно как это он визуальным анализом определил способ формообразования зубьев? 4. На стр. 44 диссертации, рис. 2.1, ось z зубчатого колеса направлена вертикально, а на стр. 55, рис. 2.6, ось z направлена горизонтально. Может стоило привести направление осей координат к единообразию? 5. Во второй главе диссертации в формулах тригонометрических функций произвольные значения углов (без указания размерности) складываются или вычитаются из фиксированных значений прямых углов или 180^0 , что не вполне корректно. 6. В пункте 4.2 диссертации «Оценочный расчет времени предварительного формообразования зубьев дисковой модульной фрезой на станках с ЧПУ» и п. 4.4 «Опробование и внедрение результатов диссертационного исследования» приведены количественные данные снижения времени обработки зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны при предварительном и чистовом фрезеровании зубьев. Однако, было бы целесообразным подкрепить эти данные снижением себестоимости изготовления в конкретных цифрах. **Отзыв первого официального оппонента**, подписанный заведующим кафедрой, доктором технических наук, профессором кафедры «Конструкторско-технологическая подготовка машиностроительных производств» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова» Трубачевым Е.С. Отзыв положительный. Замечания: 1. Де-факто принятое в третьей главе работы допущение о том, что производящая линия, используемая в математической модели зуба, оказывается близкой к профилю производящей поверхности, к сожалению, не получило должного аналитического или численного обоснования. Остались не сформулированными в явном виде условия сопряжённости (обеспечения касания главных поверхностей зубьев при заданном передаточном отношении во всех фазах зацепления) зубчатых колёс, формируемых по предложенной схеме. 2. При оценке необходимой модификации автор алгебраически складывает технологические погрешности и изгибные деформации зубьев (с. 86, формула (4.25)) – это приём для пространственного зацепления требует более строгого обоснования (справедливости ради, следует отметить, что при этом автор претендует на оценку уровня или порядка требуемой локализации контакта, следовательно речь идёт о приближённой оценке). 3. Вычисляя изгибную деформацию зуба (с. 88), автор считает зуб балкой, но балкой зуб является с большой долей

условности, с большими поправками в модель, и в теории зубчатых передач известны подходы к учёту этого обстоятельства для разных видов зубчатых колёс (наиболее основательно этот вопрос рассмотрен в трудах проф. Э. Л. Айрапетова). Оправданием для сделанного автором упрощения также является приближённость оценки. 4. В работе имеются неудачные фразы и неточные формулировки, например:

– анализ ряда конструктивных и технологических особенностей зубчатых передач (1-я глава) во многом дан без конкретизации того, к каким видам зубчатых передач он относится, а, между тем, указанные особенности далеко не всегда являются общими для всех зубчатых передач;

– с. 48, последний абзац – «прямолинейной образующей линии»;

– с. 74, 1-й абзац – требует пояснения фраза "инструмент не интерферирует с соседним зубом";

– с. 76, 1-й абзац: "переменного окружного шага и модуля" – вероятно, имеется в виду, "переменного вдоль образующей делительного (или начального) гиперболоида";

– с. 88, в формуле (4.28) для момента инерции зуба-балки его длина принята равной ширине венца, но зуб в рассматриваемой передаче практически всегда будет косым (иметь наклон по отношению к образующей поверхности впадин);

– с. 90 и рис. 4.7: термин "торцовое биение гиперболоида вращения" – у используемого гиперболоида вращения нет торцовых или близких к торцовым участков. **Отзыв второго официального оппонента**, подписанный кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» Набережночелнинского института ФГАОУ ВО «Казанского (Приволжского) федерального университета Юрасовым С.Ю. Отзыв положительный. Замечания: 1. На стр. 10 автором указывается на важность осуществления модификации зубьев, то есть осуществления как профильной, так и продольной модификации, однако в работе была затронута только профильная модификация и не рассмотрена продольная модификация зубьев. 2. При оценке величины профильной модификации зубьев (формула 4.25) на стр. 86 не учтены многие факторы, такие как деформации валов и опор и некоторые другие, способствующие оказать значительное влияние на выход пятна контакта зубьев на кромку. 3. В общей характеристике работы не раскрыты «высокие качественные характеристики» зубчатой передачи, нет полноценного сравнения с уже существующими передачами на скрещающихся осях. 4. Оценочное сравнение времени предварительного формообразования зубьев зубчатых колес на заготовке вида «однополостной гиперболоид вращения» и гипоидных зубчатых колес, проведенное в главе 4 целесообразно было бы развить в сравнение стоимости предварительной обработки вышеперечисленных зубчатых колес. **Отзыв ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»**, подписанный заведующим кафедрой «Технология машиностроения»,

доктором технических наук, профессором Криони Н.К. и заслуженным деятелем науки и техники РФ, доктором технических наук, профессором кафедры «Технология машиностроения» Мухиным В.С. Отзыв положительный, замечаний нет. **Отзыв ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»**, подписанный заведующим кафедрой «Станки и инструменты», доктором технических наук, профессором, Артамоновым Е.В. Отзыв положительный, замечания: 1. На рисунке 4 желательнее было бы ось Y_1 показать графически. 2. Деформации при изгибе зуба зубчатого колеса под нагрузкой, определяемые приближенно по формуле №30, более точно можно определять с применением метода конечных элементов. 3. В автореферате следовало бы указать номер патента на полезную модель. **Отзыв ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»**, подписанный и.о. заведующего кафедрой «Технология машиностроения», кандидатом технических наук, доцентом Некрасовым Р.Ю.; доктором технических наук, профессором кафедры «Станки и инструменты» Утешевым М.Х. Отзыв положительный, замечаний нет. **Отзыв ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.)**, подписанный доктором технических наук, профессором кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника» Игнатъевым А.А.; ведущим специалистом НПФ «Грандиент-с» при СГТУ имени Гагарина Ю.А., доктором технических наук, профессором Погораздовым В.В. Отзыв положительный, замечания: 1. Был ли смысл вводить новое понятие (зубчатые колеса с двойной кривизной) на фоне известных конических и гипоидных передач с круговыми зубьями и плоских передач с эвольвентно-арочными зубьями. На поверхностях зубьев этих известных передач отсутствуют точки, в которых можно провести хотя бы одну прямую, лежащую на рассматриваемой поверхности, что и является признаком поверхности двойной кривизны. 2. Уместнее было иметь в виду не гиперболоидную поверхность заготовки, а поверхность гиперboloида в качестве начальной или делительной (с.3). 3. Допущена неточность в формулировке пятой решенной автором задачи (с.4), искажающая ее смысл. 4. Упоминание о разработанной фрезерной оправке (с.16) слишком тривиально для демонстрации экспериментальной части диссертации. 5. Трудно поверить в серьезность намерения ПАО «КАМАЗ» использовать данную передачу в качестве главной для грузового автомобиля, особенно при отсутствии полной ясности в возможности массовой производительной обработки ее функциональных поверхностей после термообработки. 6. Не в полной мере использованы современные возможности компьютерного моделирования геометрических событий (схема срезания слоев, форма получаемого профиля, технологические неровности на обработанной поверхности, форма припуска и т.д.) в процессах предварительного и окончательного формообразования рассматриваемых поверхностей. **Отзыв ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет**

имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.), подписанный доктором технических наук, профессором кафедры «Технология машиностроения» Васиным А.Н. Отзыв положительный, замечания: 1. Из автореферата не ясно – проверялись ли разработанные соискателем математические модели на адекватность? 2. Из автореферата не ясно, какой элемент Тшт.к. удалось уменьшить и соответственно за счет чего – то ли T_0 снижается за счет увеличения режимов резания, то ли за счет оптимизации траектории движения режущего инструмента, то ли Тшт.к. снижается за счет уменьшения $T_{п.з.}$ – времени наладки оборудования, либо за счет каких факторов? **Отзыв ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ),** подписанный заведующим кафедрой «Технология машиностроения», доктором технических наук, профессором Гузеевым В.И.; кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Технология машиностроения» Батуевым В.В. Отзыв положительный, замечания: 1. Вызывает сомнение используемый в гл.4 и Заключение термин – «пальцевая фреза». 2. В автореферате не отражена причина значительной разницы во времени при обработке зубчатого колеса дисковой модульной фрезой и такого же зубчатого колеса концевой фрезой. **Отзыв ФГБОУ ВПО «Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева»,** подписанный заведующим кафедрой «Технология машиностроения», доктором технических наук, профессором Житниковым Ю.З. Отзыв положительный, замечания: 1. Следовало бы дать сравнительный анализ требований чертежа по точности изготовления гиперболоидных зубчатых колес и при изготовлении по предлагаемой технологии на многокоординатных станках ЧПУ. 2. Отсутствуют сведения как математические выражения, полученные в работе, используются при составлении программ управления ЧПУ. **Отзыв ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»,** подписанный доктором технических наук, профессором кафедры «Технология машиностроения» Мокрицким Б.Я. Отзыв положительный, замечания: 1. В пункте 1 раздела «Заключение» так и не выражено то главное, за что следует присудить ученую степень, не отражен вклад в решение народнохозяйственной проблемы. 2. Указанные результаты внедрения не отражены экономическими показателями. **Отзыв ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени Б.Н. Ельцина»,** подписанный старшим научным сотрудником, доктором технических наук, профессором кафедры «Технологии машиностроения» Красильниковым А.Я. Отзыв положительный, замечания: 1. В автореферате не приведены единицы измерения физических величин, входящих в формулы. На стр.8 в формулах (4) приведен коэффициент «С». Данный коэффициент рассчитывается по выражениям (5) и (6). В выражении (5) коэффициент «В» согласно формулы (6) безразмерный, а коэффициенты «S» и « $R_2 \cos \alpha_n$ » имеют размерности (см. выражение (5)). Исходя из этого непонятно какая размерность у коэффициента «С». 2. Стр.14 в выражении (26) используется

снова коэффициент «С», но рассчитывается по выражению, отличающемуся от формулы (5). Это не корректно. 3. Какова точность получаемых колес при разработанном автором способе формообразования зубьев по таким показателям как кинематическая точность, плавность работы, контакта зубьев? **Отзыв ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»**, подписанный заведующим кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты», доктором технических наук, доцентом Хандожко А.В. Отзыв положительный, замечания: 1. Желательно было бы более четко дать оценку точности получаемого профиля зуба или зацепления в целом. Из текста автореферата неясно как оценить эту точность и какие критерии (параметры, частные или интегральные) для этого следует использовать. 2. Вывод 4 (с.18) содержит утверждение о возможности учета в конструкции инструмента погрешности зуба колеса, в том числе шероховатость профиля зуба. Из текста автореферата неясно как это можно сделать. **Отзыв ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»**, подписанный заведующим кафедрой «Технология машиностроения», доктором технических наук, профессором Братан С.М.; кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Технология машиностроения» Новиковым П.А. Отзыв положительный, замечания: 1. В автореферате автор указывает, что «В разделе 2.2 получены математические зависимости образующих линий в виде дуг окружностей и эллипсов...», однако не указано какую погрешность вносят указанные упрощения по отношению к заданной точности зубчатого зацепления. 2. В автореферате не показано, какова точность зубчатого зацепления рассматриваемых гиперболических зубчатых колес с зубьями двойной кривизны (при отсутствии ГОСТа на данные зацепления, хотя бы в привязке к коническим передачам с круговым зубом). 3. Из раздела 4 автореферата не ясно, какой дискретностью должен обладать станок с ЧПУ для реализации обработки ранее указанных зубчатых колес. **Отзыв ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»**, подписанный кандидатом технических наук, доцентом Соболевым А.Н. Отзыв положительный, замечания: 1. В автореферате не обосновано влияние тепловых погрешностей в процессе формообразования на станке с ЧПУ на точность изготовления гиперболических зубчатых колес. 2. Мало отражены вопросы нормирования точности и контроля изготовления зубчатых колес, рассмотренного типа. **Отзыв ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»**, подписанный заведующим кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты», доктором технических наук, профессором Поповым А.Ю; кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Реченко Д.С. Отзыв положительный, замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью, научным и практическим опытом в области исследования по теме диссертации, наличием публикаций по теме диссертации в рецензируемых

научных изданиях, а также способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что она достаточно широко известна своими достижениями в данной области науки, что подтверждается выполняемыми научными исследованиями и соответствующими публикациями ее сотрудников.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработан** комплекс математических зависимостей управления траекторией перемещения оси фрезы при пятикоординатном фрезеровании зубьев зубчатых колес с гиперболоидными делительными поверхностями на станках с ЧПУ;
- **предложена** технология двуступенчатой обработки зубьев зубчатых колес с гиперболоидными делительными поверхностями, включающая в себя предварительное формообразование впадины зубьев модульной дисковой или пальцевой фрезой, выбираемой по разработанной математической зависимости и окончательное формообразование зубьев концевой сфероконической фрезой;
- **доказана** целесообразность и перспективность использования результатов диссертационной работы при разработке технологических процессов обработки зубьев зубчатых колес с гиперболоидными делительными поверхностями;
- **введено** новое понятие: гиперболоидная зубчатая передача с зубьями двойной переменной кривизны - зубчатая передача, зубья которой образуются на заготовке вида «однополостной гиперболоид вращения», при этом боковые поверхности зубьев меняют свою кривизну как по высоте, так и по длине зуба.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **применительно к проблематике диссертации результативно** (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс существующих методов формообразования сопряженных боковых поверхностей образующей линией для зубьев зубчатых колес с гиперболоидными делительными поверхностями;
- **изложены** аргументы обоснования выбора объекта исследования, для которого технология фрезерования зубьев является проблемной стороной – зубчатые колеса с гиперболоидными делительными поверхностями с существенно изменяющейся знакопеременной кривизной зубьев как в продольном, так и в поперечном направлениях;
- **раскрыты** особенности объекта технологической разработки, заключающиеся в невозможности применения традиционных схем формообразования для фрезерования зубьев зубчатых колес с гиперболоидными делительными поверхностями;
- **изучен** процесс и разработан комплекс математических зависимостей для осуществления многокоординатного фрезерования зубьев зубчатых колес с

гиперboloидными делительными поверхностями, расширяющие представление о формообразовании таких зубчатых колес;

- **проведена** модернизация математической зависимости для расчета координат точек образующей зубьев, позволяющая осуществлять профильную модификацию зубьев геометрических моделей зубчатых колес с гиперboloидными делительными поверхностями дугами окружности или эллипса.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- **разработаны и внедрены** на ООО «АДЕМ-Центр», г. Москва, ПАО «Камаз», г. Набережные Челны математические зависимости образования сопряженных поверхностей зубьев, позволившие получить геометрические модели и осуществить зубофрезерование опытных образцов зубчатых колес с гиперboloидными делительными поверхностями; переданы для внедрения и осуществлено апробирование предварительного зубофрезерования зубчатых колес с гиперboloидными делительными поверхностями на АО «Вакууммаш», г. Казань;

- **определены** перспективы практического использования предложенной двуступенчатой технологии фрезерования зубьев зубчатых колес с гиперboloидными делительными поверхностями, обеспечивающей увеличение производительности обработки;

- **создан** способ предварительного фрезерования зубьев и инструмент для профильной модификации зубьев зубчатых колес с гиперboloидными делительными поверхностями;

- **представлен** алгоритм разработки управляющих программ с использованием полученной математической модели многокоординатного фрезерования зубьев и рекомендации выбора схемы и стратегии фрезерования зубьев зубчатых колес с гиперboloидными делительными поверхностями.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- для **экспериментальных работ** результаты получены с использованием современного оборудования и программного обеспечения;

- **теория** построена на известных, экспериментально проверенных данных и не противоречит работам других авторов;

- **идея базируется** на изучении опыта обработки зубьев зубчатых колес и анализе объекта технологической разработки, позволивших выбрать принципиальный подход к формированию зубьев – аналитический метод расчета траектории перемещения инструмента, нацеленный на интеграцию с CAD/CAM-системами;

- **использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации, программный комплекс Siemens NX.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в научных экспериментах; разработке комплекса математических зависимостей многокоординатного фрезерования; опытной реализации

многокоординатного фрезерования на станке с ЧПУ; обработке и интерпретации экспериментальных данных; подготовке всех публикаций и апробации результатов исследований на международных и всероссийских конференциях.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследований и основной идейной линией, взаимосвязью поставленных задач и полученных выводов.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842, с изменениями и дополнениями и представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, заключающейся в разработке способа и технологии формообразования зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны, имеющее существенное значение для развития технологии механической обработки.

На заседании 09.06.2016 диссертационный совет принял решение присудить Печенкину Михаилу Владимировичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали «за» - 17, «против» - нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: На этом защита окончена. Есть ли замечания по процедуре защиты? (Нет). Поздравляем соискателя с успешной защитой. Благодарю диссертационный совет за работу.

(Заседание объявляется закрытым)

Председатель

диссертационного совета

Д 999.003.02

д.т.н., профессор

Ученый секретарь

диссертационного совета

Д 999.003.02

д.т.н., доцент



В.П. Табаков

Н.И. Веткасов