

**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. № 18

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 не указания 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 скрещивающихся 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 желательно 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» Игнатьевым 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 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. **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 гиперболических 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 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. **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 гиперболоидных 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 гиперboloидными делительными поверхностями на станках с ЧПУ;
- **предложена** технология двуступенчатой обработки зубьев зубчатых колес с гиперboloидными 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 гиперboloидными делительными поверхностями;
- **введено** новое понятие: гиперboloидная зубчатая передача с зубьями двойной переменной кривизны - зубчатая передача, зубья которой образуются на заготовке вида «однополостной гиперboloид 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 гиперboloидными делительными поверхностями;
- **изложены** аргументы обоснования выбора объекта исследования, для которого технология фрезерования зубьев является проблемной стороной – зубчатые колеса с гиперboloидными 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 гиперболоидными 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 гиперболоидными 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 гиперболоидными делительными поверхностями; переданы для внедрения и осуществлено апробирование предварительного зубофрезерования зубчатых колес с гиперболоидными делительными поверхностями на АО «Вакууммаш», г. Казань;

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

- **создан** способ предварительного фрезерования зубьев и инструмент для профильной модификации зубьев зубчатых колес с гиперболоидными 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 гиперболоидными 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  
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