

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Грубки Р.М. на тему «Теоретические основы повышения точности обработки цилиндрических колес путем ориентированной многокоординатной пространственной модификации зубьев», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения

### 1. Актуальность темы исследования

Зубчатые передачи - довольно сложные и трудоемкие в изготовлении изделия, широко используемые в приводах различных машин и механизмов. От качества изготовления зубчатых передач во многом зависят такие важнейшие показатели как работоспособность, надёжность, металлоёмкость, себестоимость и другие технико-экономические характеристики.

Развитие и усовершенствование зубчатых зацеплений связано с применением новых материалов, покрытий, новых видов термообработки и упрочнения, новых способов достижения геометрической точности зубьев. В связи с практически исчерпанными резервами повышения эффективности «традиционных» зубчатых зацеплений актуальным становится создание зубчатых передач новых типов путем совершенствования их конструкции и геометрии, а именно – проектирование и производство зубчатых передач с пространственной модификацией зубьев, способных компенсировать перемещения, вызванные наличием погрешностей изготовления, монтажа и деформаций элементов зубчатых передач в процессе эксплуатации.

Зубчатый венец с модифицированными зубьями можно нарезать на универсальном зуборезном оборудовании стандартным режущим инструментом только с определенной степенью приближения к теоретически спроектированному, поскольку элементы такого зубчатого венца не могут быть изготовлены без отклонений при использовании конструктивно-технологического подхода в проектировании и изготовлении цилиндрических эвольвентных зубчатых колес. Уровень этих отклонений определяется тщательной проработкой технологического процесса и возможностями производства. А геометрическую точность зубьев в данном диссертационном исследовании предложено обеспечивать за счет пространственного подхода в решении технологических задач и аналитического определения параметров процесса формообразования.

Сдерживающим фактором широкого применения цилиндрических колес с пространственной модификацией зубьев в промышленности является отсутствие общих принципов и рекомендаций по выполнению конструкторско-технологической подготовки производства этих изделий, апробированных методик расчета и технологий их изготовления. Разработка и совершенствование теории передач такого типа и технологии их изготовления являются актуальными задачами.

При этом необходимыми являются:

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Вх. № 16 / 125  
« 27 » 04 20 20 г.

- проведение широкого спектра теоретических и экспериментальных исследований, направленных на создание методологии проектирования пространственно-модифицированных зубчатых венцов цилиндрических колес;
- создание универсального математического описания, как геометрий боковой поверхности зубьев, так и процессов, происходящих во время формообразования зубчатых венцов;
- создание технологического обеспечения для повышения точности многокоординатного фрезерования пространственно-модифицированных зубьев цилиндрических колес методами копирования и обкатки;
- разработка основ контроля пространственно-модифицированных зубчатых венцов цилиндрических колес.

Поэтому, представленная диссертационная работа, посвященная повышению точности многокоординатного фрезерования пространственно-модифицированных зубьев цилиндрических колес, зацепления на основе которых способны компенсировать комплекс перемещений, вызванных наличием погрешностей изготовления, монтажа и деформаций элементов зубчатых передач в процессе эксплуатации, за счет пространственного подхода к решению технологических задач и аналитического описания взаимосвязи элементов процесса формообразования безусловно является актуальной, полезной и своевременной, а цель и задачи исследования вполне достижимы при современном уровне развития машиностроения.

## 2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Представленная диссертационная работа Грубки Р.М. содержит введение, шесть разделов, заключение, список литературы, 11 приложений с расчетами, обобщающими и подтверждающими теоретические выкладки и содержащими анализ экспериментальных данных. Общий объем работы 406 страниц, при этом основной текст изложен на 291 странице.

Обоснованность и достоверность научных положений, результатов исследования и выводов, подтверждается глубоким анализом литературных источников, на основании которого сформулированы цель и задачи исследования, применением современных методов теоретических исследований с учетом общепринятых теорий или обоснованных новых предложений, достаточным объемом экспериментальных исследований.

Обоснованность результатов теоретических исследований формообразования зубчатых венцов с комплексной пространственной геометрией зубьев подтверждается достаточно хорошими показателями точности изготовления модифицированных зубчатых колес в соответствии с представленными соискателем методами на существующем универсальном зуборезном оборудовании стандартным режущим инструментом. Для подтверждения представленных в работе зависимостей выполнено экспериментальное определение толщины зубьев с комплексной

пространственной модификацией в зависимости от их высоты и координаты по длине зуба обработкой в САД измерительной информации, полученной в результате 3-D сканирования, при этом, максимальное значение относительной погрешности измеренных толщин зубьев не превышает 8 %, что является вполне приемлемым для технологии изготовления показателем.

Кроме того, обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается использованием при решении поставленных задач комплекса методов и научных положений технологии машиностроения, теории резания, теории механизмов и машин, аналитической геометрии в пространстве и на плоскости; для решения тригонометрических уравнений и систем нелинейных уравнений, получены аналитические решения и/или применены методы численного поиска решений. Результаты теоретических исследований получены с необходимой точностью и подтверждены результатами экспериментальных исследований. Расчеты выполнены на ПК с применением пакетов прикладных программ.

Исходя из вышесказанного, очевидно, что научные положения, выводы и рекомендации работы достаточно хорошо обоснованы.

### **3. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций.**

Диссертационная работа содержит научную новизну и практическую значимость. Научная новизна, сформулированная соискателем не вызывает сомнений, поскольку результаты исследования достаточно полно представлены в 34 публикациях в профильных изданиях и неоднократно представлялись на научно-технических конференциях, где получили одобрение ведущих ученых и специалистов машиностроительной отрасли.

Теоретические исследования автора могут иметь весьма весомую значимость при реализации их на практике. Так в результате выполнения теоретических исследований геометрической точности зубьев установлено, что их точность зависит от вида траектории относительного перемещения режущего инструмента.

Отклонения координат по толщине зуба при обработке червячной фрезой в среднем не превышают при перемещении:

- по пространственной относительной траектории - максимальные  $\pm 9,3\%$ ; в пределах активной боковой поверхности зубьев -  $\pm 6,3\%$ ;
- по линейной траектории - максимальные  $\pm 10,6\%$ ; в пределах активной боковой поверхности зубьев -  $\pm 8\%$ .

Перемещение режущего инструмента по пространственной траектории относительного перемещения позволяет повысить геометрическую точность нарезаемых зубьев на 21,2%, а максимальные отклонения снижаются на 12,3% по сравнению с линейной траекторией относительного перемещения режущего инструмента, что является вполне существенным и значимым результатом при достижении точности зубчатых колес с модифицированными зубьями при их изготовлении.

Научные положения, выводы и рекомендации подтверждаются достаточно хорошей сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований. Анализ диссертации и автореферата позволил установить, что соискатель в своих исследованиях достаточно корректно использует математический аппарат, основные положения теории резания и технологии машиностроения; экспериментальные исследования выполняются с использованием методов планирования, а обработка экспериментальных данных выполняется с использованием статистических методов. Исследования выполнялись с применением современного технологического оборудования, стандартного режущего инструмента, а также с применением интересного подхода и задействования прогрессивных на сегодняшний день технологий 3-D сканирования.

Результаты работы внедрены в учебный процесс и в производство на промышленных предприятиях ДНР и Российской Федерации: ООО «Донвентилятор» (г. Ростов-на-Дону, Россия), ООО «Горловский энергомеханический завод» (г. Горловка, ДНР), ООО «НПО «Группа компаний машиностроения и приборостроения» (г. Брянск, Россия), АО «ФЕОДОСИЙСКИЙ ОПТИЧЕСКИЙ ЗАВОД» (г. Феодосия, Россия), ООО «ОЗЕРЯНОВСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД «ТЕХНОЛОГИЯ» (г. Горловка, ДНР). Это также является подтверждением достоверности результатов исследования и эффективности применения представленных автором методик на практике в процессе производства.

Все это, на мой взгляд, подтверждает достоверность и новизну научных положений, выводов и рекомендаций.

#### **4. Замечания.**

1. В диссертации имеется ряд сокращений и аббревиатур, некоторые из которых широко применяются на практике и известны. Но некоторые требуют описания, которое в ряде случаев в работе отсутствует. Исходя из этого, целесообразно было бы в диссертации привести перечень обозначений и сокращений.

2. Какая из кривых, представленных на рис. 3.5, соответствует сечению боковой поверхности модифицированного зуба, а какая является кривой нарезаемой эвольвенты? Насколько существенны расхождения этих кривых?

3. Автор отмечает: «Координаты точек пересечения прямолинейных участков двух соседних режущих кромок определяются по зависимостям (4.8).» (стр. 201). Неясно, что имеется в виду под пересечением участков двух соседних режущих кромок.

4. П. 4.3.3 не изложено как определялись начальные параметры траектории относительного перемещения режущего инструмента.

5. На стр. 237 отмечается, что профиль зуба, который можно получить предложенным автором способом обработки, отличается от теоретического профиля, и в случае значительного отклонения необходимо корректировать исходный производящий контур в соответствии с геометрией нарезаемых зубьев. Каково предельное превышение этих отклонений, когда профиль зуба

уже не соответствует заданному? Есть ли четко обозначенные критерии для такой оценки?

6. Выполнялась ли оценка целесообразности выбора того или иного измерительного средства - 3-D сканер или координатно-измерительная машина с точки зрения точности выполняемых измерений?

7. В работе целесообразно было указать, из какого литературного источника назначались режимы резания стр. 269 при обработке зубчатого венца с пространственно-модифицированными зубьями и учитывались ли при этом особенности геометрии боковой поверхности зубьев?

8. В приложениях к работе целесообразно было привести данные по оценке геометрической точности нарезания зубьев методом копирования.

9. В работе целесообразно было рассмотреть вопрос определения параметров сечения среза для предложенных способов обработки пространственно-модифицированных зубьев методом обкатки.

### 5. Заключение.

Несмотря на указанные замечания, диссертация Грубки Р.М. является целостной научно-исследовательской работой, содержит обоснованные научные положения, выводы, рекомендации, имеет научную новизну и практическую ценность в области технологии машиностроения, тема исследования актуальна. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций также не вызывает сомнения и заслуживает положительной оценки.

Содержание диссертации в полной мере отражено в автореферате и полностью соответствует паспорту специальности 05.02.08 – Технология машиностроения.

Представленная диссертационная работа соответствует требованиям, установленным п. 2.1 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Грубка Роман Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 - Технология машиностроения.

Официальный оппонент, доктор технических наук (специальность 05.02.08 - Технология машиностроения), профессор, заведующий кафедрой «Начертательной геометрии и графики» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» 350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, тел.: +7(861) 221-58-24, E-mail: mail@kubsau.ru

 Серга Г.В.

Согласен на автоматизированную  
обработку персональных  
данных



  
Серга Георгий Васильевич  
Зам. начальника  
отдела кадров  
О.А. А. ДРАЗАКОВА

