

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Бирюкова С.С. «Разработка метода и средств поддержки технологического синтеза прямозубых конических передач в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 - «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

**Актуальность избранной темы.** В современных условиях для изготовления прямозубых конических передач требуются производительные способы обработки, одним из которых является штамповка. При подготовке производства передачи необходимо учитывать неизбежное влияние погрешностей, которые могут привести к кромочному контакту и поломке зубьев. Минимизация влияния таких погрешностей в прямозубых конических передачах достигается в том числе за счет локализации контакта. При использовании высокоточного оборудования для обработки зубчатых колес возникает задача расчёта наладок станка, либо геометрии инструмента для обеспечения требуемой степени локализации. С этой целью применяются различные автоматизированные системы технологической подготовки производства. Решение задачи получения заданного локализованного пятна контакта в прямозубой конической передаче требует разработки универсальной математической модели модифицированного зацепления.

Актуальной задачей при подготовке производства зубчатых колёс является расчёт распределения припусков на заготовке. В частности, при изготовлении заготовок методом штамповки в закрытом штампе необходима разработка математической модели распределения припуска под финишную обработку.

Рассматриваемая диссертационная работа Бирюкова С.С. посвящена решению задачи разработки метода и средств поддержки технологического синтеза прямозубых конических передач и встраивание их в систему технологической подготовки производства конических зубчатых передач. Решаемая в диссертационной работе задача является актуальной, имеющей важное научно-техническое значение.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, рекомендаций и выводов, сформулированных в работе,** достаточно высокая и подтверждена принятием к использованию.

**Достоверность материалов диссертационного исследования** подтверждается использованием результатов работы:

- разработаны 3D-модели прямозубых конических колес в двух вариантах: для финишной обработки и для предварительной обработки с учётом припуска под калибровку, что подтверждено актом с рекомендацией к внедрению на ПАО «КАМАЗ» для подготовки производства прямозубых конических передач дифференциала заднего моста.

- подтверждены положительные результаты испытания штампованных зубчатых колес в рамках НИОКиТР «Прецизионная штамповка конических шестерен», о чем свидетельствует соответствующий акт испытаний.

- разработано и используется в Конструкторском отделе трансмиссии ПАО «КАМАЗ» программное обеспечение «Contour», реализующее предложенный метод технологического синтеза прямозубых конических передач, изготавливаемых методом прецизионной штамповки, о чём свидетельствует заключение на программное обеспечение.

**Научная новизна** работы состоит:

1) в выявленных взаимосвязях между характеристиками зацепления и контакта в прямозубой конической передаче и параметрами её технологического синтеза на этапе технологической подготовки производства. Их особенность заключается в обеспечении локализованного контакта в передаче для снижения влияния погрешностей изготовления, сборки и эксплуатации;

2) в методе технологического синтеза прямозубых конических передач, разработанном на основе выявленных взаимосвязей. Это метод входит в автоматизированную систему технологической подготовки производства. Метод позволяет получать 3D-модели зубчатых колёс с необходимой степенью локализации контакта, рассчитывать характеристики зацепления передачи под нагрузкой и получать 3D-модели заготовок зубчатых колёс с требуемым распределением припуска под калибровку;

3) в разработанном эвристическом алгоритме решения задачи условной оптимизации контактного давления. Он позволяет получить значения параметров модификации при минимизации максимального контактного давления и локализованном контакте в конической передаче. Алгоритм отличается тем, в нём учитывается назначение параметров модификации.

**Оценка содержания работы.** Диссертационная работа выполнена на современном уровне, изложена на 143 страницах машинописного текста,

включающего введение, четыре главы, основные выводы, список литературы из 103 наименований и трёх приложений, в одном из которых содержатся акт об использовании результатов диссертационного исследования на промышленном предприятии.

**В первой главе** проведено исследование характеристик зацепления и контакта прямозубой конической передачи, проведён анализ систем конструкторско-технологической подготовки производства конических передач и методов решения задачи расчёта максимального контактного давления в передаче. На основании проведенного анализа автор принимает обоснованное решение о разработке метода технологического синтеза прямозубых конических передач и программного средства его поддержки.

**Во второй главе** разработан метод технологического синтеза прямозубых конических передач. Разработанный метод включает в себя математическую модель модифицированного зацепления, в которой поверхности зубьев построены на основе конических эвольвентных поверхностей. В результате модификации в передаче обеспечивается локализованный контакт с требуемыми положением и размерами пятна контакта. Для проверки отсутствия кромочного контакта предложен алгоритм анализа характеристик зацепления модифицированной эвольвентной прямозубой конической передачи без нагрузки. Разработана математическая модель распределения припуска для финишной обработки.

**В третьей главе** разработаны методики, применяемые при взаимодействии с автоматизированной системой технологической подготовки производства. Представлена методика подбора параметров модификации геометрической модели при получении локализованного контакта. Разработан эвристический алгоритм условной оптимизации для получения значений параметров синтеза, при которых достигается минимум контактного давления в зубчатой передаче, а кромочный контакт отсутствует. Представлена методика поддержки производства прямозубых конических передач для проведения технологического синтеза передачи. Разработанная методика подбора параметров распределения припуска позволяет получить такие значения параметров управления припуском, при которых обеспечивается достаточное распределение припуска в заготовке для заполнения формы готового зуба.

**В четвертой главе** представлены практические аспекты реализации. Приведено описание и особенности реализации программного средства в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства. Выполнена оценка эффективности работы эвристического алгоритма оптимизации. Представлены примеры выполнения методики

подбора значений параметров распределения припуска. Автором приведены особенности внедрения разработанного программного средства технологического синтеза прямозубых конических передач на ПАО «КАМАЗ» в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства и результаты экспериментальной проверки.

**Замечания по диссертационной работе.** Положительно оценивая работу в целом, необходимо сделать ряд замечаний:

1. В диссертации не указаны сведения о возможности интегрирования разработанного программного обеспечения в конкретные автоматизированные системы подготовки производства

2. При расчете моделей зубчатых колес в качестве исходной информации необходим ручной ввод параметров модификации. В работе отсутствует информация о том, возможно ли построение геометрическими связи между исходными параметрами передачи и 3D-моделью зубчатых колёс, при которой изменение 3D-модели будет приводить к автоматическому пересчету параметров модификации.

3. В диссертации не указано, какие работы необходимо провести в технологических бюро цехов, чтобы использовать предложенную систему.

4. В работе не сформулированы рекомендации по дальнейшей модификации разработанного метода синтеза прямозубых конических передач.

Отмеченные замечания не изменяют общей положительной оценки диссертации, не снижают научной ценности и практической значимости выполненного диссертационного исследования, а свидетельствуют скорее о перспективности и целесообразности продолжения работы в этом направлении.

**Заключение.** Представленная к защите диссертационная работа Бирюкова С.С. является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе проведенных автором исследований изложено научно обоснованное решение актуальной задачи сокращения сроков технологической подготовки производства прямозубых конических передач и повышения качества шестерен за счет разработки метода и программных средств технологического синтеза прямозубых конических передач образующих подсистему в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП), что имеет существенное значение для развития машиностроительной отрасли страны.

Рассматриваемая диссертационная работа представляет собой научный интерес тем, что тематика ее исследования может иметь перспективное продолжение. Диссертационная работа Бирюкова С.С. обладает внутренним

единством, содержит новые научные положения и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях (общее количество публикаций - 22), из них 3 статьи в журналах из перечня ВАК РФ. Опубликованные работы достаточно точно отражают результаты исследований, представленных в диссертации.

Диссертационная работа соответствует пункту 12 паспорта специальности 2.3.3 «Методы создания специального математического и программного обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПШ и др., включая управление исполнительными механизмами в реальном времени».

Автореферат отражает основное содержание работы.

В целом работа отвечает всем требованиям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней (утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сделанные замечания не снижают достигнутые в диссертации положительные результаты. Все это дает мне основание считать работу выполненной. Автор работы, Бирюков Сергей Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Доцент кафедры технологии машиностроения,  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский  
государственный университет им. Н.П. Огарёва» (ФГБОУ ВО «МГУ им.  
Н.П. Огарёва»)  
к.т.н., доцент

Калякулин Сергей Юрьевич

15 мая 2024 г.

Руководитель Высшей школы развития  
научно-образовательного потенциала  
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»

Сенин П.В.

Адрес: 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68.  
Тел.: +7 (8342) 24-37-32  
E-mail: mrsu@mrsu.ru

Подпись *С.В. Каминский* заверено  
Начальник управления кадров  
Департамента по управлению делами ректора  
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. ОГАРЁВА»  
*С.В. Каминский*