

## **Отзыв официального оппонента на диссертацию**

Бирюкова Сергея Сергеевича

### **Разработка метода и средств поддержки технологического синтеза прямозубых конических передач в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

**Актуальность темы работы.** Технологическая подготовка составляет значительный объём затрат как при запуске изделия в производство, так и при выпуске продукции в потоке, особенно при постоянно изменяющихся конструктивных параметрах. Автоматизация подготовительных процессов производства позволяет достигнуть сокращения затрат на освоение новой продукции и обеспечения требований к её качеству. Внедрение нового высокопроизводительного оборудования, субтрактивных и формативных технологий требует нового подхода к организации автоматизированной системы технологической подготовки производства. Комплексные технологические процессы получения зубчатых колёс с локализацией контакта требуют нового подхода к модели получения поверхности зубчатого колеса. Появление новых инструментов для получения и преобразования геометрической модели изделия, а также систем технологического проектирования, использующих искусственный интеллект и большие массивы данных, позволяет реализовать высокопроизводительные автоматизированные системы технологической подготовки производства. Но, в любом случае, использование этих систем требует детальной проработки объекта проектирования.

Таким образом, задача технологического синтеза прямозубых зубчатых конических передач является актуальной для предприятий различных отраслей промышленности.

**Достоверность и новизна результатов.** Достоверность вывода 2 диссертационного исследования подтверждается тщательно выполненным обзором по выбранной теме в главе 1 работы.

Достоверность вывода 3 подтверждается разработанной модифицированной математической моделью прямозубой конической передачи и аналитически и логически найденными автором параметрами модификации.

Достоверность вывода 4 подтверждается материалами главы 3 на основе алгоритма стратегии подбора параметров модификации. Необходимость выбора эвристического алгоритма условной оптимизации детально обоснована автором в той же главе.

Достоверность вывода 5 подтверждается в главе 3 обоснованной автором методикой подбора параметров управления распределённым припуском.

Достоверность вывода 6 подтверждается заключением на программное обеспечение “*Contour*”, утверждённым главным конструктором ПАО «КАМАЗ».

Достоверность вывода 7 подтверждается количеством положительных результатов при изготовлении передачи и приведенным в приложении к научно-квалификационной работе актом о результатах испытаний.

Достоверность вывода 8 подтверждается результатами экспериментальной проверки теоретических и экспериментальных исследований автора в условиях предприятия на основании акта, подписанного зам. главного технолога ПАО «КАМАЗ».

**Ценность для науки и практики.** Научная новизна работы заключается в следующем:

— в установленных связях между характеристиками зацепления и контакта в прямозубой конической передаче и параметрами технологического синтеза передачи на этапе технологической подготовки производства, особенностью которых является обеспечение локализованного контакта в передаче с целью снижения влияния погрешностей изготовления, сборки и эксплуатации.

— в разработанном, на основе установленных взаимосвязей, методе технологического синтеза прямозубых конических передач, который является частью подсистемы в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства. Разработанный метод отличается возможностью получения трёхмерных моделей зубчатых колёс с требуемым локализованным контактом, проведения расчёта характеристик зацепления передачи под нагрузкой и получения трёхмерных моделей заготовок зубчатых колёс с требуемым распределением припуска для финишной операции штамповки.

— в разработанном эвристическом алгоритме решения задачи условной оптимизации по выбору значений параметров модификации для получения локализованного контакта и минимизации максимального контактного давления в зубчатой передаче. Отличительной особенностью алгоритма является то, что в алгоритме учитывается назначение параметров модификации.

Практическая значимость заключается в разработанном средстве поддержки технологического синтеза прямозубой конической передачи в составе АСТПП, которое содержит:

1. Методику подбора параметров модификации для получения локализованного контакта.
2. Методику подбора значений параметров распределения припуска для финишной операции штамповки.
3. Методику технологического синтеза зубчатого зацепления.
4. Программное обеспечение подсистемы АСТПП, которое позволяет анализировать характеристики зацепления и контакта, рассчитывать модифицированные трёхмерные модели зубчатых колёс, проводить оптимизацию максимального контактного давления в передаче, рассчитывать трёхмерные модели заготовок с припуском под калибровку.

**Оценка содержания диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы (103 наименования) и приложений. Работа

содержит 143 страницы сквозной нумерации, включая 70 рисунков, 9 таблиц и 4 страницы приложений.

**В первой главе** автором выполнен анализ существующих автоматизированных систем конструкторско-технологической подготовки производства конических передач, рассмотрены методы решения контактных задач, установлена необходимость разработки метода и программных средств технологического синтеза прямозубых конических передач. Автором отмечено, что, производство зубчатых передач характеризуется высокой трудоёмкостью, связанной с геометрическим и прочностным расчётом передачи, а также с её изготовлением. В ходе конструкторского синтеза прямозубой конической передачи получают её чертёж, в котором не регламентирована точная форма боковой поверхности зубьев. Рассмотрены недостатки эвольвентного зацепления.

В главе показано, что для изготовления прямозубых конических передач методом штамповки требуется математическая модель распределения припуска под финишную обработку. Определены этапы технологической подготовки производства прямозубых конических передач (см. рисунок 1) методом штамповки.

**Во второй главе** представлен метод технологического синтеза прямозубых конических передач в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства.

Приведено описание математической модели модифицированного зубчатого зацепления с локализованным контактом, предложены параметры модификации для изменения геометрической модели зубчатых колёс, описана математическая модель распределения припуска под финишную операцию штамповки. Для устранения кромочного контакта в прямозубой конической передаче предложена модель модифицированного зацепления. Модифицированные боковые поверхности построены на основе конических эвольвентных поверхностей. В главе расчёт необходимого припуска проведен

для изготовления прямозубых конических колес методами штамповки. Штамповка зубчатых колёс проводится в несколько этапов. Финишным этапом прецизионной штамповки является холодная калибровка в замкнутом штампе.

В главе предложена математическая модель, описывающая форму трёхмерных моделей заготовок под калибровку с учетом требуемого припуска, что позволяет технологу формировать трехмерные модели заготовок с учетом необходимого припуска под калибровку.

**В третьей главе** разработаны методики, применяемые при взаимодействии с программным средством в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства. Для выбора одного набора значений параметров модификации, автор предлагает определять такие значения параметров, при которых контактное давление в передаче будет минимальным, а пятно контакта будет локализовано. Для этого поставлена и решена задача условной оптимизации контактного давления: найти минимум целевой функции.

Для решения этой задачи определения пятна контакта предложен эвристический алгоритм условной оптимизации максимального контактного давления в передаче, учитывающий назначение параметров модификации и обеспечивающий получение решения, близкого к оптимальному. Разработана стратегия подбора параметров оптимизации.

Для моделирования распределения припуска разработана методика управления припуском путем подбора значений параметров распределения припуска, которая выполняется итерационно.

Разработана методика технологического синтеза передачи. Цель методики состоит в получении трёхмерных моделей зубчатых колёс по их чертежам для подготовки производства прямозубой конической передачи. В результате выполнения методики технолог получает оптимизированные трёхмерные модели зубчатых колёс с учетом локализации контакта и трехмерные модели заготовок зубчатых колёс с учетом припуска под холодную калибровку.

**В четвёртой главе** приведены особенности реализации программного средства поддержки технологического синтеза прямозубых конических передач в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства, приведены особенности его экспериментальной проверки.

Описано программное средство поддержки технологического синтеза прямозубых конических передач в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства. Разработанное программное средство автоматизирует этапы процесса технологической подготовки производства прямозубых конических передач и реализует предложенный метод их технологического синтеза. Описан пример функционирования разработанного программного средства поддержки технологического синтеза прямозубых конических передач. Приведено описание экспериментальной проверки результатов работы в ПАО «КАМАЗ».

#### **Замечания по работе:**

1. Подрисуночные надписи рисунков 3.2 , 3.3 , 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 не соответствуют требованиям ГОСТ 19.701-90 (ИСО 5807-85)
2. При подборе параметров эвристической оптимизации в названии разделов приводится обозначение параметра, и далее, в разделе не упоминается его название, это затрудняет понимание работы.
3. Схема алгоритма на рис. 3.8 содержит неточности и не соответствует требованиям ГОСТ 19.701-90.
4. Схема на рис. 3.9 состоит из трёх не связанных между собой схем, если имеются подпрограммы, то их необходимо выделить в отдельно обозначенную часть схемы в соответствии с ГОСТ 19.701-90.
5. Описанное абстрактным текстом на стр. 105 взаимодействие разработанного ПО с *PDM* системой лучше представить в виде схемы или диаграммы, что позволит выполнить практическую реализацию полученных автором результатов.
6. В выводах по работе автором не приведены числовые данные по найденным значениям площади контакта и величине припуска. Также, в

работе отсутствует сравнительный анализ результатов, полученных автором по разработанной методике с результатами использования других методик.

7. Ценность результатов работы снижает отсутствие у автора свидетельств на результаты интеллектуальной деятельности, например, свидетельства на регистрацию программы.

### Заключение

Диссертация Бирюкова С.С является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы обоснованы. Работа базируется на достаточном числе исходных данных, экспериментальных результатах и теоретических расчетах. Она написана доходчиво и оформлена в соответствии с требованиями по оформлению текстовых документов. По каждой главе и работе в целом сделаны чёткие выводы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертационная работа полностью отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Бирюков Сергей Сергеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 — Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Официальный оппонент:  
профессор кафедры технологии  
машиностроения БГТУ им. В. Г. Шухова,  
д-р техн. наук, профессор

  
подпись

Чепчуров Михаил Сергеевич

06.06.2024

Подпись Чепчура М. С. Удостоверяю \_\_\_\_\_ Давыденко Татьяна Михайловна, проректор по научной и инновационной деятельности, д.п.н., профессор  
М.П.

