

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и цифровому  
развитию ФГБОУ ВО «Владимирский  
государственный университет им. Александра  
Григорьевича и Николая Григорьевича  
Столетовых»,  
д.ф.-м.н., доцент Кучерик Алексей Олегович



« 06 » 2024г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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 учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

#### Актуальность темы работы

Прямозубые конические передачи широко распространены в промышленности и занимают около 20% от всех видов передач, используемых в машиностроении. При подготовке производства передач трудоёмкими задачами является синтез и анализ передачи. Итоговую форму зубьев в передаче определяют с помощью различных автоматизированных систем технологической подготовки производства. Такие системы позволяют провести технологический синтез передачи, т.е. подобрать наладки зуборезного оборудования, при которых обеспечиваются локализованный контакт, и позволяют рассчитать форму поверхности зубьев, которую требуется изготовить, с учётом требуемых эксплуатационных характеристик. Как правило, в автоматизированных системах технологической подготовки производства зубчатых колёс проводится модификация поверхности зуба с целью снижения негативного влияния погрешностей, возникающих при изготовлении, сборке и эксплуатации передачи, т.е. локализация контакта. Итоговая форма зуба в зубчатой передаче зависит от способа изготовления передачи, имеющегося на производстве оборудования, квалификации технолога и условий эксплуатации передачи.

Для изготовления прямозубой конической передачи методом штамповки требуется расчёт 3D-моделей зубчатых колёс с локализацией контакта. Имеющиеся в настоящее время на отечественных заводах автоматизированные системы технологической подготовки производства прямозубых конических передач не предназначены для конкретной технологии обработки резанием на станках с жесткими кинематическими связями. Поэтому поставленная соискателем задача разработки метода и средств поддержки технологического синтеза прямозубых конических передач в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства является актуальной.

## **Степень обоснованности и достоверность научных результатов исследования**

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечиваются теоретическими исследованиями базирующихся на известных научных положениях, выбором методов, адекватных поставленным цели и задачи исследования, анализом работ ведущих исследователей данной проблемы, согласованностью теоретических и практических результатов исследования.

Достоверность основных положений диссертационного исследования подтверждается результатом применения разработанного программного средства и методик при подготовке 3D-моделей прямозубых конических колёс на ПАО «КАМАЗ». Успешность испытания штампованных зубчатых колёс, изготовленных по 3D-моделям, подтверждается соответствующим актом.

## **Научная новизна результатов и основных положений диссертационного исследования**

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- в выявлении связи между характеристиками зацепления и контакта в прямозубой конической передаче и параметрами технологического синтеза передачи на этапе технологической подготовки производства;
- в методе технологического синтеза прямозубых конических передач в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства. Его отличительной особенностью является: расчёт 3D-модели прямозубой конической передачи с требуемым локализованным контактом; возможность расчёта характеристик зацепления передачи под нагрузкой; расчёт 3D-модели заготовок зубчатых колёс с необходимым распределением припуска для заключительной операции штамповки;
- в эвристическом алгоритме, который решает задачу условной оптимизации максимального контактного давления в передаче.

## **Значимость полученных результатов для науки и практики**

Практическая значимость работы заключается в разработанном программном обеспечении поддержки технологического синтеза прямозубой конической передачи в структуре автоматизированной системы технологической подготовки производства. Оно включает:

- программное обеспечение, позволяющее проводить технологический синтез прямозубой конической передачи на этапе подготовки производства;
- методику, которая применяется технологом при взаимодействии с автоматизированной системой технологической подготовки производства. Предложенные соискателем методики предназначены для определения значений параметров модификации для получения локализованного контакта, подбора значений параметров распределения припуска, технологического синтеза прямозубых конических передач.

## **Содержание работы**

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 143 страниц сквозной нумерации, включая 70 рисунков, 9 таблиц и 4 страницы приложений.

**В первой главе** проведен анализ научно-технической проблемы, рассмотрены существующие автоматизированные систем конструкторско-технологической подготовки производства прямозубых конических передач и выявлены их недостатки.

**Во второй главе** соискателем представлен разработанный метод технологического синтеза прямозубых конических передач. В главе предложена математическая модель модифицированного прямозубого конического зацепления, которая позволяет получить



локализованный контакт. Введены параметры управления модификацией. Описан алгоритм расчёта характеристик зацепления без нагрузки, которые позволяют проверить выход контакта на кромку и оценить работоспособность передачи. Рассмотрен процесс построения 3D-модели боковой поверхности зубьев с модификацией.

**В третьей главе** автором описаны различные методики, встроенные в автоматизированную систему, для применения технологом на этапе подготовки производства. Для выбора начальных значений модификации предложена методика расчета значений параметров модификации геометрической модели для локализации контакта. Их можно использовать в качестве начального приближения при оптимизации контактных давлений. Сформулирована задача оптимизации максимального контактного давления в передаче. Для её решения разработан эвристический алгоритм, который позволяет учесть назначение параметров модификации и получить значения, при которых обеспечивается минимальное контактное давление в передаче при отсутствии кромочного контакта.

Одним из важных этапов технологической подготовки производства является расчет формы трёхмерных моделей заготовок под финишную операцию штамповки. В работе представлена методика подбора параметров управления припуском, основанная на математической модели распределения припуска перед холодной калибровкой в замкнутом штампе. Она позволяет технологу получить параметры, при которых в заготовке обеспечивается достаточно металла для заполнения формы готового зуба при штамповке.

Предложена методика, предназначенная для технологического синтеза передачи на этапе технологической подготовки производства. Она дает возможность технологу получить оптимизированные трёхмерные модели прямозубой конической передачи с учетом модификации и трёхмерные модели заготовок зубчатых колёс с припуском под калибровку.

**В четвёртой главе** приведены особенности реализации разработанного программного средства для технологического синтеза в составе АСТПП. Проведено сравнение эффективности разработанного эвристического алгоритма с другими методами. Выявлено, что при оптимизации контактного давления с помощью предложенного эвристического алгоритма достигается снижение контактного давления в среднем на 18 %. Проведено описание апробации разработанного программного средства, которое подтверждает возможность его использования при подготовке производства прямозубых конических передач.

#### **Рекомендации по использованию результатов работы**

Полученные результаты работы могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях, занимающихся изготовлением прямозубых конических шестерен методами штамповки.

#### **Замечания по диссертационной работе**

- Недостаточно обоснован выбор параметров модификации поверхности зуба. В тексте отсутствует сравнение с существующими параметрами модификации из других систем и возможности их использования.
- Предложенный в работе метод технологического синтеза предназначен для изготовления методом штамповки, однако в работе не приведена информация о применимости данного метода для других методов изготовления.
- Не в полной мере раскрыта взаимосвязь разработанного метода и программного средства и элементами существующей автоматизированной системы технологической подготовки производства на предприятии. Не приведена структура автоматизированной

системы на предприятии, куда планируется осуществлять встраивание разработанной системы.

- Не описаны количественные результаты сокращения трудоёмкости от внедрения разработанной системы.
- На некоторых рисунках, например на рисунке 3.10 с методикой технологического синтеза передачи, присутствует мелкий текст, который затрудняет чтение.

Отмеченные выше замечания не снижают практической и научной значимости работы.

#### **Заключение по диссертационной работе**

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой решена задача сокращения сроков технологической подготовки производства прямозубых конических передач и повышения качества шестерен в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства, имеющей существенное значение для машиностроения, соответствует паспорту специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами», (п.12 – «Методы создания специального математического и программного обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСПП и др., включая управление исполнительными механизмами в реальном времени»). Научные положения, выводы и рекомендации, приведенные соискателем в диссертации, являются обоснованными и достоверными. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание работы.

По своей актуальности, новизне, научно-практической значимости диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней (п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в ред. Постановлений Правительства РФ № 335 от 21.04.2016, от 01.10.2018 № 1168)), а ее автор **Бирюков Сергей Сергеевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Отзыв на диссертационную работу Бирюкова С.С., рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Автоматизация, мехатроника и робототехника» ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (протокол №12 от 22 мая 2024г.).

Заведующий кафедрой «Автоматизация, мехатроника и робототехника» Владимирского государственного университета им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

Кандидат технических наук, доцент

Денисов Максим Сергеевич

Доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация, мехатроника и робототехника»

Коростелев Владимир Федорович

600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ФГБОУ ВО Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,  
Тел. (4922) 53-25-75

E-mail: [oid@vlsu.ru](mailto:oid@vlsu.ru), сайт: <http://www.vlsu.ru>

