

На правах рукописи



Астапова Ирина Вадимовна

**МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБОРНЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ
С ПОВОРОТНЫМИ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ РЕЙКАМИ**

Специальность 2.5.5. Технология и оборудование механической и
физико-технической обработки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тула - 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тульский государственный университет» г.Тула

Научный руководитель	Доктор технических наук, профессор Борискин Олег Игоревич
Официальные оппоненты	Хандожко Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО "Брянский государственный тех- нический университет», профессор Киреев Виталий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», доцент
Ведущая организация	ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Защита состоится «26» апреля 2022 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.417.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» по адресу: 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92, ауд. 9-101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» и на сайте:

https://tsu.tula.ru/science/dissertation/diss-212-271-01/Astapova_IV/

Автореферат разослан 1 марта 2022 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Черняев Алексей Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Эффективным способом повышения нагрузочной способности и долговечности зубчатых передач является увеличение твердости рабочих поверхностей зубчатых колес. Кроме того на современном этапе развития машиностроения и приборостроения возрастают требования к точности зубчатых колес, являющихся наиболее ответственными деталями большинства узлов и механизмов. В результате этого значительно возрастают требования к жесткости зуборезного оборудования и стойкости и точности зуборезного инструмента.

Для обработки мелко модульных колес из стали, чугуна, неметаллических материалов, цветных металлов, а также колес из стали (40Х, 35ХМ, 18ХГТ и т.д.) до модуля примерно 2,5 мм в массовом производстве, а также нарезания зубьев закаленных цилиндрических колес большего модуля широкое распространение получили твердосплавные червячные фрезы.

До недавнего времени проектирование червячных фрез велось с использованием приближенных методов. Основы этих методов были заложены в работах А.Н. Грубина, В.М. Матюшина, М.С. Полоцкого, В.Ф. Романова, Г.Н. Сахарова, И.И. Семенченко, И.А. Фрайфельда, Ю.В. Цвиса, В.А. Шишкова и др.

Современной тенденцией является использование теоретически точных методов при проектировании, предложенных в работах А.Н. Борисова, О.И. Борискина, В.А. Гречишникова, Г.Н. Кирсанова, В.В. Клепикова, С.И. Лашнева, Б.А. Перепелицы, П.Р. Родина, А.В. Цепкова, М.И. Юликова и др.

Перспективным направлением для червячных фрез является использование в качестве режущих элементов поворотных реек. Однако при их повороте на 180° возникают погрешности профиля инструмента, переносимые на обрабатываемую деталь. Поэтому существующие конструкции таких фрез используются только для черновой или получистовой обработки, достигая класса точности В, С и D по ГОСТ 9323-2015.

В соответствии с вышесказанным, научная задача расчета и теоретически точного проектирования сборных червячных фрез с поворотными твердосплавными рейками является *актуальной* и имеет как научное, так и практическое значение.

На основании изложенного выше сформулирована *цель работы*: повышение точности зубообработки путем уменьшения погрешностей, возникающих при проектировании червячных фрез с поворотными твердосплавными рейками.

Достижение указанной цели потребовало решения следующих *задач*:

- провести анализ существующих конструкций сборных эвольвентных червячных фрез;
- разработать теоретически точный метод, позволяющий автоматизировать процесс расчета профиля зуба;
- разработать сборную конструкцию твердосплавной червячной фрезы, позволяющую увеличить точность инструмента и уменьшить расход твердого сплава;
- провести кинематический анализ с целью оценки оптимальных геометрических параметров, заданных инструменту.

Объект исследования – сборная червячная фреза с поворотными твердосплавными рейками.

Предмет исследования – процесс проектирования фрез с поворотными твердосплавными рейками.

Соответствие диссертации паспорту специальности. По теме и содержанию работа соответствует паспорту специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» в части п. 4 «Создание, включая проектирование, расчеты и оптимизацию, параметров инструмента и других компонентов оборудования, обеспечивающих технически и экономически эффективные процессы обработки».

Методология и методы исследования. Сформулированные задачи решаются на основе математической модели, предложенной профессором С.И. Лашневым. Применялись теоретические исследования, моделирование на ЭВМ, численные эксперименты. Были использованы основные положения теории зацепления, геометрической теории формирования поверхностей резанием, теории винтовых поверхностей, теоретической механики, высшей математики.

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием фундаментальных теоретических положений; соответствием разработанных математических моделей реальным процессам; корректностью применения апробированного математического и программного аппарата; отсутствием противоречий полученных результатов с данными других ученых; внедрением результатов выполненной диссертационной работы в производство.

Положения, выносимые на защиту:

- принципы, положенные в основу создания геометрической модели теоретически точных эвольвентных червячных фрез с поворотными рейками;
- конструкция сборной червячной фрезы с поворотными твердосплавными рейками и комплектом корпусов с разнонаправленными заходами винтовых;
- результаты численного расчета спроектированной конструкции червячной фрезы, рекомендации по выбору ее оптимальных геометрических и конструктивных параметров.

Научная новизна диссертационной работы заключается в:

- устранении погрешностей проектирования сборных червячных фрез с поворотными твердосплавными рейками за счет применения уточненного метода расчета профилей зубьев, и использования 2-х зеркально симметричных корпусов (один из них левозаходный, другой – правозаходный);
- определении области оптимальных значений конструктивных параметров проектируемых фрез.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные в диссертационной работе результаты теоретических исследований, выведенные аналитические зависимости, повышают точность червячных фрез с поворотными твердосплавными рейками. Разработан комплекс прикладных программ для теоретически точного расчета таких фрез и определения области их оптимальных параметров.

Реализация работы. Результаты исследований внедрены на ООО «Аркон» (г. Тула). Результаты диссертационного исследования приняты к внедрению в ф-л АО «Газэнергосервис» завод РТО. Отдельные результаты исследований использованы в учебном процессе при подготовке студентов по направлению 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» на кафедре «Инструментальные и метрологические системы» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет».

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены на: ежегодных магистерских НТК (2014 - 2016 гг.); ежегодных НТК профессорско-преподавательского состава Тульского государственного университета (2015 - 2021 гг.); ежегодных молодежных НПК студентов Тульского государственного университета «Молодежные инновации» (г. Тула, ТулГУ, 2010 г. – 2015 г.г.); II МНПК «Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты» (г. Кемерово, Западно-Сибирский научный центр, 2016 г.); IX МНПК «Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты» (г. Кемерово, Западно-Сибирский научн. центр, 2019 г.).

По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 2 статьи в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus; 10 научных статей в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ. В совместных опубликованных работах диссертант принимал активное участие. Личный вклад автора заключается в непосредственном проведении исследований и расчетов, в обработке и анализе полученных результатов, в разработке конструкций сборных червячных фрез, в формулировании положений и выводов, выносимых на защиту, в подготовке публикаций по данной теме.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и включает 155 с. печатного текста, содержащего 49 ил., 1 табл., 4 приложения, представленных на 35 с.

Во **введении** обоснована актуальность задачи, показана научная новизна диссертационной работы, определена цель и дана краткая характеристика направления исследований, научного и практического значения решаемой задачи и кратко раскрыто содержание разделов.

В **первой главе** проведен анализ существующих конструкций червячных фрез, направленный на выявление более технологичного базирования и надежного крепления твердосплавных режущих элементов. Отечественные и зарубежные ученые: А.Н. Грубин, Ф.Л. Литвин, П.Р. Родин, В.Ф. Романов, Г.Н. Сахаров, И.И. Семенченко, И.А. Фрайфельд, Ю.В. Цвис, В.А. Шишков, С.И. Лашнев, О.И. Борискин, А.Н. Борисов, Н.Г. Стаханов, Н.Д. Феофилов, А.В. Колобаев, Е.С. Янов, S.P. Radzevich, V. Simon, I. Sovilj-Nikić, R. Talar, J.T. Tseng, J.H. Wang и др., - провели значительную работу по исследованию и проектированию таких фрез.

Однако, вследствие невысокой точности, сборные червячные фрезы с поворотными режущими элементами, используются только для черновой и получистовой обработки, так как вопросы проектирования червячных фрез разобраны недостаточно. В соответствии с этим, обоснована необходимость разработать теоретически точный метод их проектирования с целью повышения точности зубчатых колес стабильной на всем периоде эксплуатации инструмента.

Во **второй главе** выявлены основные источники возникающих погрешностей эвольвентных червячных фрез. Одними из них является погрешности метода расчета. В настоящее время существует несколько методов определения геометрических параметров производящей поверхности червячных фрез: графические, графоаналитические, приближенные и аналитические. При использовании приближенных методов погрешности профиля фрезы достигают $0,01 \div 0,02$ мм.

Аналитические методы основаны на использовании расчетных зависимостей для определения координат точек профиля производящей поверхности инструмента. Известны 2 принципиальных подхода к расчету профиля червячных фрез: в основу

первого Ю.В. Цвисом положена теория зацепления винтовой пары. В основу второго С.И. Лашневым положена теория формирования поверхностей режущими элементами. Применение аналитических методов расчета позволяет повысить точность получаемого результата. Однако, так же как и в случае использования методов рассмотренных выше, возникают погрешности, связанные с присутствием в алгоритме расчета операций, после которых необходимо округлять полученные промежуточные результаты. Чтобы свести к минимуму погрешности, зависящие от метода расчета необходимо вести расчет по теоретически точным зависимостям с большим количеством значащих цифр и меньшим количеством округлений.

Переднюю поверхность сборных червячных фрез делают плоской, параллельной оси фрезы. При ее пересечении с поверхностью основного червяка образуется криволинейная режущая кромка, которая традиционно заменяется прямолинейной. Это также влияет на суммарную погрешность профиля зуба инструмента.

Ввиду того, что применение твердого сплава требует упрочнения режущих кромок, твёрдосплавные червячные фрезы должны иметь отрицательный передний угол. Проведенный анализ геометрической точности показал, что при наличии передних углов, отличных от нуля, профиль боковых сторон зуба будет несимметричным. Это усложняет использование поворотных реек. Отмеченные выше погрешности зависят от метода проектирования и их можно исключить, если вести расчет по теоретически точным зависимостям.

В качестве типового примера приведены графики, иллюстрирующие степень влияния этих параметров для фрезы $m=4$. Из первого графика (рис. 1) следует сделать вывод, что чем меньше диаметр вершин червячной фрезы, тем больше величина отклонения.

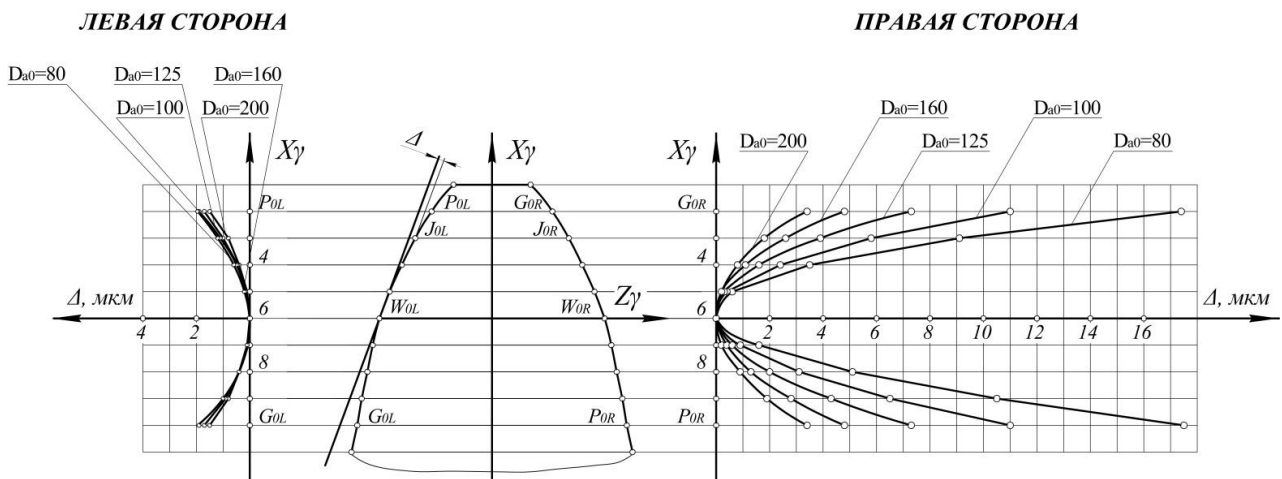


Рисунок 1 – Отклонение криволинейного профиля червячной фрезы при его линейной аппроксимации для различных значений диаметра вершин

На рис. 2 видно, чем больше абсолютное значение переднего угла, тем больше величина отклонения. Причем на левой и правой сторонах величина отклонения несимметрична. Для фрезы с диаметром вершин $D_{a0} = 125$ мм, модулем $m = 4$ мм, значением переднего угла $\gamma_{a0} = -15^\circ$ величина максимального отклонения составляет 2,1 мкм на левой стороне зуба, и 7,6 мкм для правой стороны.

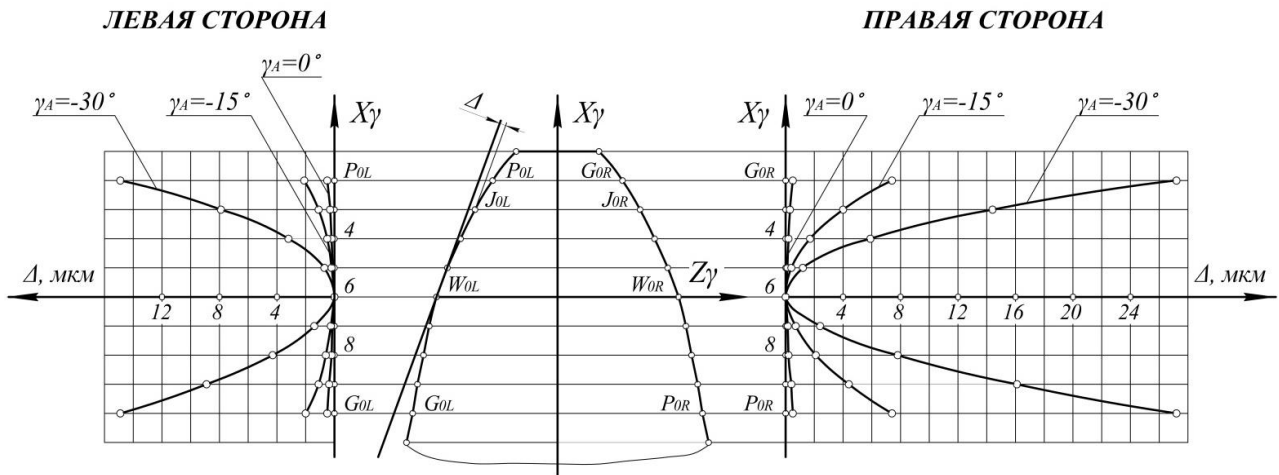
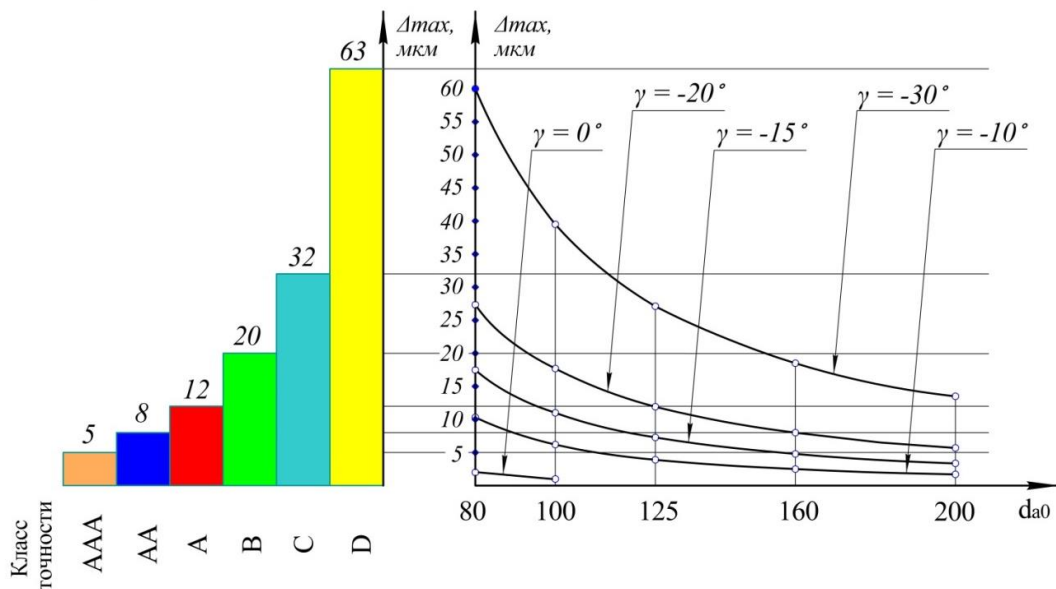


Рисунок 2 – Отклонение криволинейного профиля червячной фрезы при его линейной аппроксимации для различных значений переднего угла

На рис. 3 приведены величины погрешностей при изменении основных параметров фрезы $m=4$ мм в диапазоне диаметров вершин от 80 до 250 мм и переднего угла от 0° до -30° , а также допустимые значения отклонения профиля по ГОСТ 9324-80 для различных классов точности фрез. Так для фрезы с диаметром вершин $D_{a0} = 125$ мм, модулем $m = 4$ мм и значением переднего угла $\gamma_{a0} = -15^\circ$ при аппроксимации криволинейных участков профиля зуба величина максимального отклонения, зависящая от метода расчета, составляет 7,8 мкм, что соответствует классу точности AA, а при $\gamma_{a0} = -30^\circ$ равна 27 мкм и соответствует классу точности C.

Максимальный допуск на отклонение профиля Δ для $m = 4$ мм по ГОСТ 9324-80*



*ГОСТ 9324-80 Фрезы червячные чистовые однозаходные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем. Технические условия

Рисунок 3 – Максимальное отклонение профиля червячной фрезы при его линейной аппроксимации

Другим источником возникающих отклонений профиля являются **погрешности изготовления и сборки**. В частности, для фрез с рейками из твердого сплава одним из важных моментов является точность их установки, которая зависит от выполнения баз на рабочем корпусе инструмента. Наиболее технологичными гнездами для них являются осевые канавки, которые могут быть выполнены с большей точностью. Кроме того, при переточке реек после изнашивания, необходимо предусмотреть возможность восстановления диаметра фрезы с помощью прокладок или изготовления нового корпуса.

Для того чтобы устранить погрешности зависящие от метода проектирования, в **третьей главе** проведен расчет профиля зубьев червячной фрезы по теоретически точным зависимостям. В его основу положена теоретическая рейка (рис. 4), имитирующая качение по выбранной начальной окружности детали. Вычисления ведутся дискретно в плоскости, перпендикулярной оси детали. Каждая расчетная точка реечного контура должна иметь координаты и угол наклона касательной. Методика разработана на основе теории профессора С.И. Лашнева по профилированию инструментов подобного типа, в которую внесен ряд изменений. В частности, было принято обход профиля вести в определенном направлении, при котором тело объекта находится с правой стороны. В этом случае направление касательной будет соответствовать направлению обхода. Таким образом, одни и те же зависимости можно использовать для обеих сторон зуба, что упрощает расчеты и дает возможность его автоматизировать. Преимущество использования этого метода профилирования является его приемлемость для произвольных профилей, не только для эвольвентных.

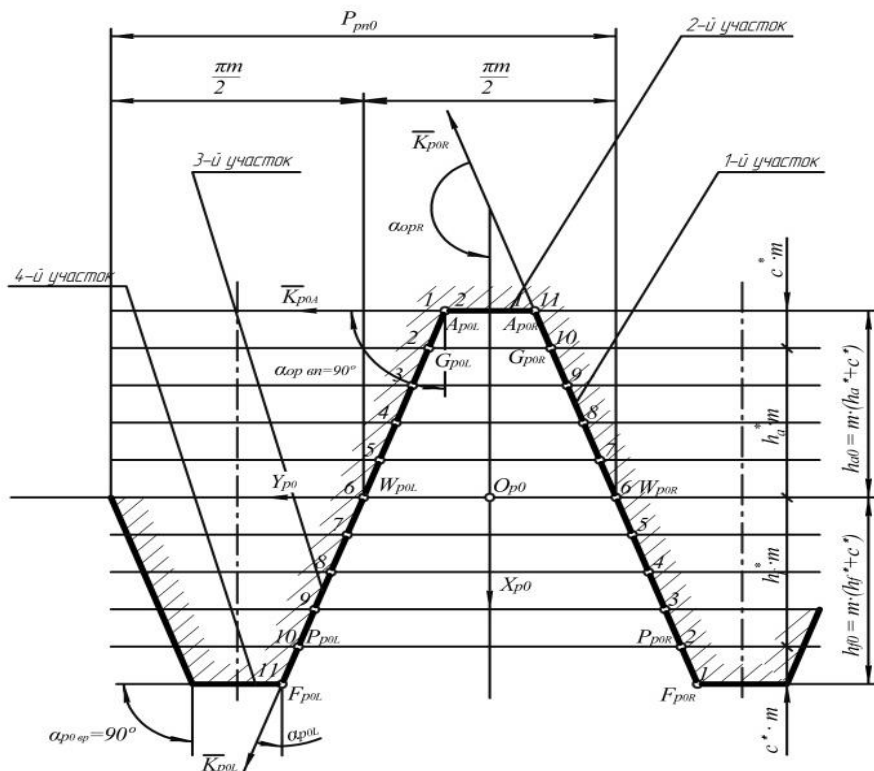


Рисунок 4 - Профиль исходного производящего реечного контура

В момент профилирования точки J_0 производящей поверхности инструмента повернется на угол ψ_0 .

При этом в результате качения начальной плоскости рейки по начальному цилиндру инструмента, в его торцевой плоскости рейка сместится на величину $r_{w0} \cdot \psi_0$

(рис. 5). Винтовой параметр инструмента $p_0 = \frac{r_{w0}}{\operatorname{tg} \beta_{w0}}$, где $\beta_{w0} = \Sigma_{w0} - \beta_w$. Угол про-

филя рейки в торцевой плоскости инструмента $\operatorname{tg} \tau_{0j} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{p0}}{\cos \beta_{w0}}$. Вспомогательный угол

$\operatorname{tg} \mu_0 = \frac{X_{p0j}}{\operatorname{tg} \tau_{0j} \cdot (r_{w0} - X_{p0j})}$. Угол поворота инструмента $\psi_{0j} = \left(\frac{x_{pj}}{\operatorname{tg} \tau_j} + \frac{y_{pj}}{\cos \beta_{w0}} \right) \frac{1}{r_{w0}}$.

Угол поворота профиля производящей поверхности по винтовой $\varphi_0 = \frac{Z_{0j}}{p_0}$.

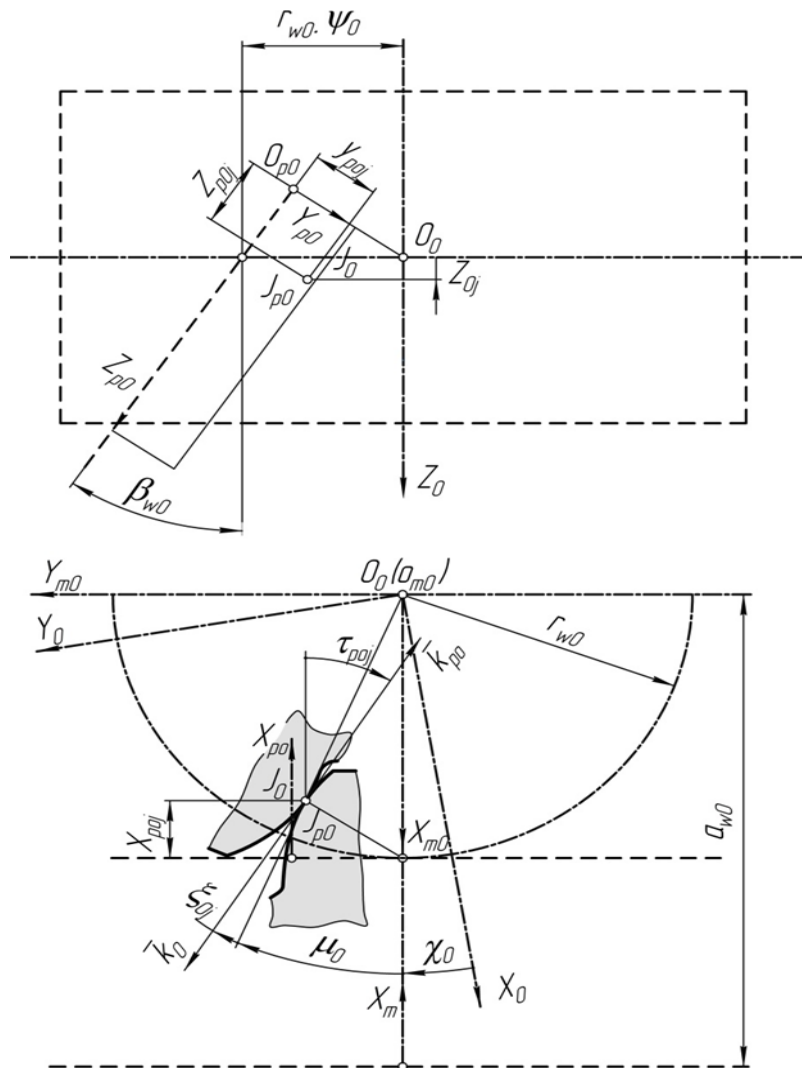


Рисунок 5 – Схема к расчету параметров производящей поверхности инструмента по заданной рейке: Системы прямоугольных правых координат жестко связанных с: инструментом – $O_0X_0Y_0Z_0$; межосевым перпендикуляром – $O_{m0}X_{m0}Y_{m0}Z_{m0}$ (неподвижная система); вспомогательной рейкой – $O_{p0}X_{p0}Y_{p0}Z_{p0}$

ПРАВОЗАХОДНЫЙ РАБОЧИЙ КОРПУС

ЛЕВОЗАХОДНЫЙ РАБОЧИЙ КОРПУС

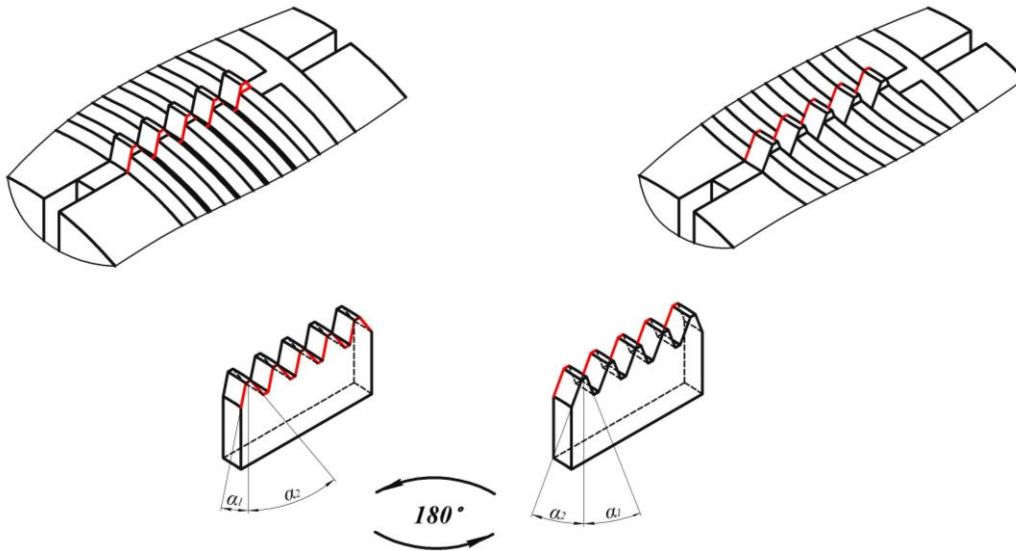


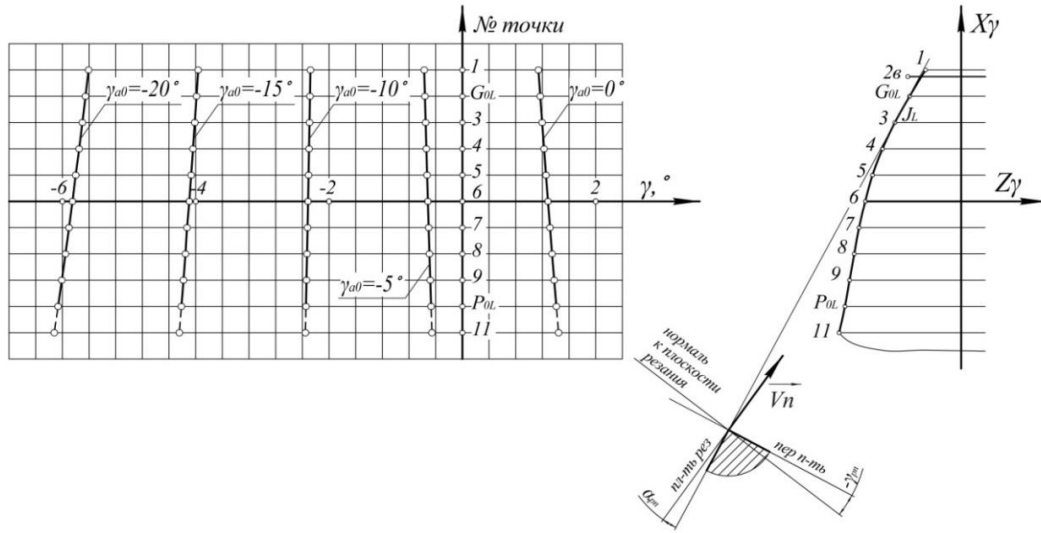
Рисунок 7 - Схема к расчету параметров профиля передней поверхности червячной фрезы: α_1 и α_2 – профильные углы левой и правой стороны соответственно

Четвертая глава была посвящена кинематическому анализу новой конструкции червячной фрезы. Для оценки работоспособности фрезы предложенной конструкции был проведен кинематический анализ инструмента и определена область его оптимальных параметров. Расчет проводился для эвольвентной червячной фрезы с наружным диаметром 200 мм, модулем $m = 4$ мм, и значением статического переднего угла $\gamma_{a0} = -10^\circ$. Исследования проводились на примере обработки косозубого колеса с модулем $m = 4$ мм, углом наклона зубьев на начальном диаметре $\beta = 20^\circ$. Как показал анализ, рабочие углы изменяются в процессе резания на промежутке от момента врезания до момента выхода инструмента из детали. Для рассматриваемого случая значения переднего рабочего угла γ_{p0} , изменялись в пределах: с левой стороны от $-2,1^\circ$ до $-2,4^\circ$ и достигали максимума $-2,4^\circ$ в момент срезания наибольшей толщины припуска; с правой стороны от $-4,5^\circ$ до $-5,3^\circ$ и достигали максимума $-5,3^\circ$ в момент срезания наименьшей толщины припуска. Так как для предложенной конструкции инструмента приняты плоские передние поверхности и задние поверхности, образующие которых перпендикулярны режущей кромке, то $\gamma_{p0} = -\alpha_{pn}$. Таким образом, динамика изменения заднего рабочего угла противоположна. Характер изменения величин рабочего переднего угла резания в зависимости от назначаемого статического переднего угла γ_{a0} представлен на рис. 8 и рис. 9.

При увеличении γ_{a0} : рабочий передний угол γ_{pn} уменьшается; рабочий задний угол α_{pn} увеличивается.

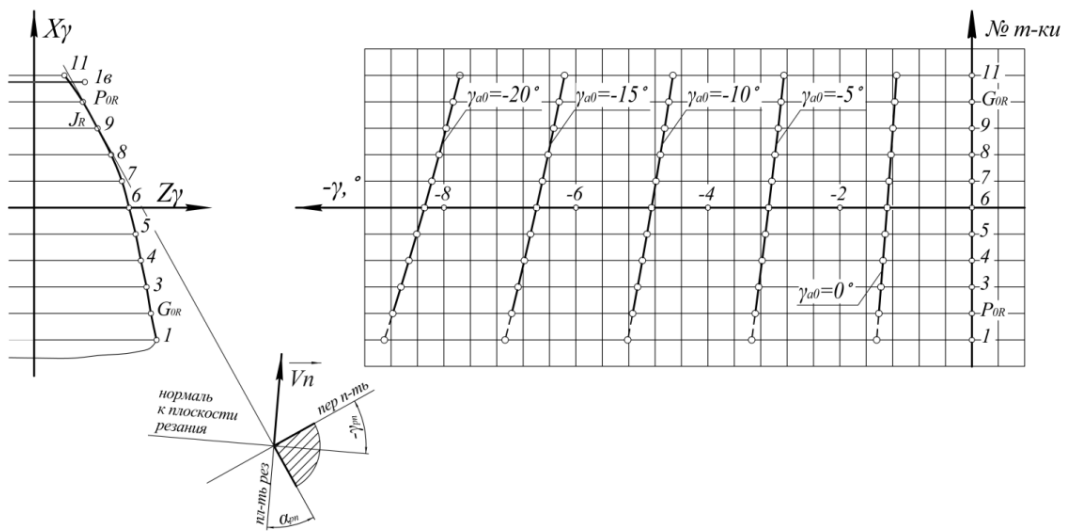
При $\gamma_{a0} = 0^\circ$ рабочий передний угол левой стороне профиля зуба принимает положительное значение, а α_{pn} отрицательное, что недопустимо по условиям резания. При $\gamma_{a0} = -5^\circ$ рабочий $\alpha_{pn} < 2^\circ$, что также не удовлетворяет условиям резания.

При $\gamma_{a0} = -10^\circ, -15^\circ, -20^\circ$ углы резания не выходили за пределы приемлемых значений: величина переднего рабочего угла отрицательная, а задний рабочий угол $\alpha_{pn} > 2^\circ$.



— точка профиля зуба фрезы, участвующая в резании
 ---- точка профиля зуба фрезы, неучаствующая в резании

Рисунок 8 - Изменение кинематических передних углов на левой стороне профиля зуба при $\gamma_{a0}=0^\circ; -5^\circ; -10^\circ; -15^\circ; -20^\circ$ при $l=0, \theta=0$ (при $d_{a0}=200$ мм, $m=4$ мм, $\gamma_{a0}=-10^\circ z_0=1, z=40, \beta_0=88,8^\circ \beta_D=20^\circ$)



— точка профиля зуба фрезы, участвующая в резании
 ---- точка профиля зуба фрезы, неучаствующая в резании

Рисунок 9 - Изменение кинематических передних углов на правой стороне профиля зуба при $\gamma_{a0}=0^\circ; -5^\circ; -10^\circ; -15^\circ; -20^\circ$ при $l=0, \theta=0$ (при $d_{a0}=200$ мм, $m=4$ мм, $\gamma_{a0}=-10^\circ z_0=1, z=40, \beta_0=88,8^\circ \beta_D=20^\circ$)

На рис. 10, 11 показано влияние значений наружного диаметра фрезы на кинематические углы.

Задний рабочий угол на левой стороне при $d_{a0} = 150$ мм вышел за границы приемлемого значения $\alpha_{pn} < 2^\circ$. При прочих равных параметрах при увеличении наружного диаметра инструмента кинематические углы принимают значения, удовлетворяющие условиям резания.

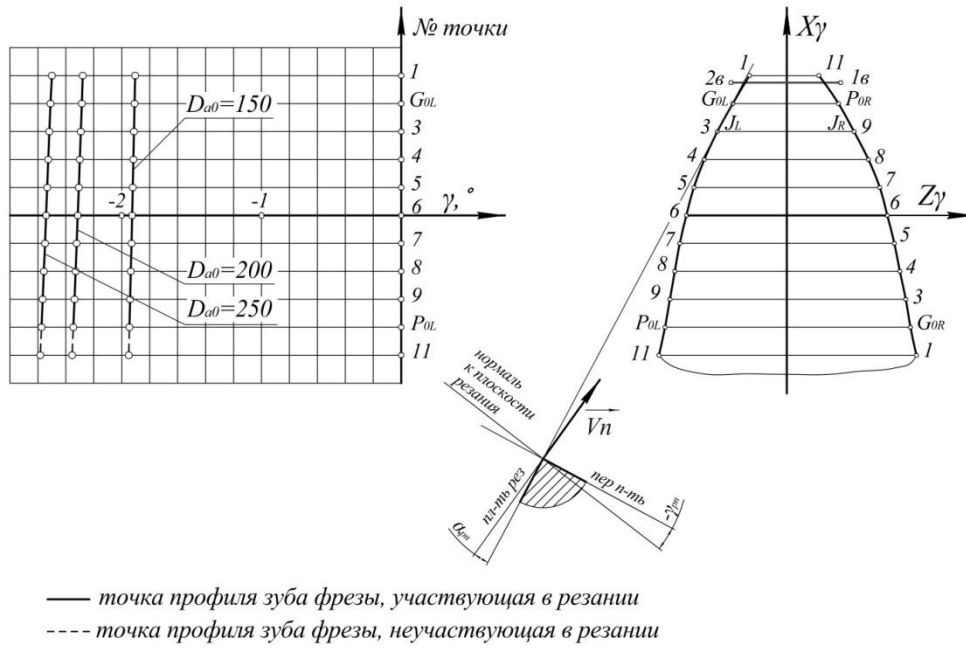


Рисунок 10 - Изменение кинематических передних углов на левой стороне профиля зуба при $D_{a0}=150$ мм; 200 мм; 250 мм при $l=0$, $\theta=0$ (при $d_{a0}=200$ мм, $m=4$ мм, $\gamma_{a0}=-10^\circ$ $z_0=1$, $z=40$, $\beta_0=88,8^\circ$ $\beta_d=20^\circ$)

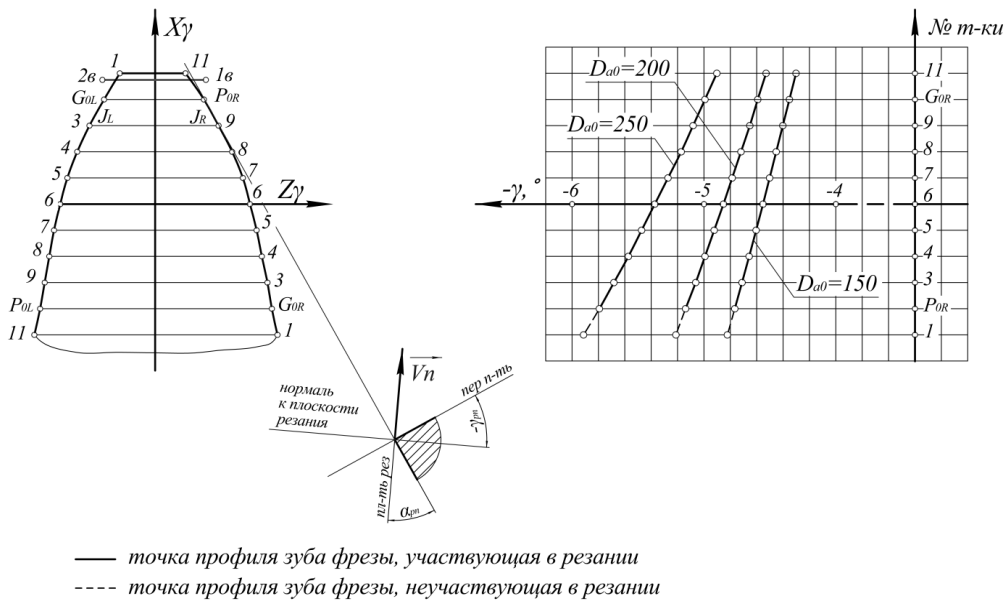


Рисунок 11 - Изменение кинематических передних углов на правой стороне профиля зуба при $D_{a0}=150$ мм; 200 мм; 250 мм; $l=0$, $\theta=0$ ($d_{a0}=200$ мм, $m=4$ мм, $\gamma_{a0}=-10^\circ$ $z_0=1$, $z=40$, $\beta_0=88,8^\circ$ $\beta_d=20^\circ$)

Анализ полученных результатов показывает, что, при постоянной частоте вращения фрезы, скорости вращения колеса и подачи, углы резания в значительной степени зависят от конструктивных параметров инструмента – заданного конструктором статического угла γ_{a0} и наружного диаметра d_{a0} эвольвентной червячной фрезы. Подтверждена возможность использования конструкции сборной червячной фрезы с плоскими передними поверхностями и задними поверхностями, образующие которых перпендикулярны режущей кромке. Предложены рекомендации по достижению оп-

тимальных рабочих углов в процессе зубофрезерования для фрез принятой конструкции.

В пятой главе рассмотрены специфические операции процесса обработки основных деталей спроектированного инструмента: корпусов и зубчатых реек, разработаны рекомендации по сборке и контролю червячных фрез, сформулированы условия их рациональной эксплуатации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В работе решена актуальная научная задача, имеющая большое значение для различных отраслей машиностроения и касающаяся повышения точности обработки зубчатых колес сборными червячными фрезами.

Полученные в работе научные и практические результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложенный теоретически точный метод расчета позволяет получить универсальные зависимости, для левой и правой стороны зуба, что упрощает автоматизацию вычислений и дает возможность использовать его для расчета любых профилей, не только эвольвентных. Применение теоретически точных зависимостей для определения производящей поверхности эвольвентной червячной фрезы исключает погрешности профиля зуба, зависящие от метода проектирования.

2. Использование 2-х зеркально симметричных корпусов, (один из них левозаходный, другой – правозаходный) устраняет погрешности профиля зуба при повороте рейки на 180° . Предусмотренная возможность восстановления диаметра фрезы с помощью подкладок при переточке режущих элементов позволит сократить расход твердого сплава и увеличить ресурс червячной фрезы с сохранением точных геометрических параметров профиля до 4 раз.

3. Для чистового фрезерования спроектирована сборная червячная фреза с поворотными твердосплавными рейками. Конструктивными параметрами фрезы являются $m=4$ мм, $da_0 = 200$ мм, $z_0=1$, $\gamma_{a0}=-10^\circ$.

4. На основании проведенного кинематического анализа червячной фрезы с осевыми канавками с поворотными твердосплавными зубьями рекомендуется назначать значения величины статического переднего угла от $\gamma_{a0} = -10^\circ$.

5. Кинематический анализ для червячной фрезы с принятыми параметрами показал, что углы резания не выходили за пределы приемлемых значений: величина переднего рабочего угла отрицательная, а задний рабочий угол $\alpha_{pn} > 2^\circ$.

6. Разработанное программное обеспечение позволяет на стадии проектирования определить оптимальные параметры сборных червячных фрез с поворотными рейками.

7. Предложенные рекомендации по назначению геометрических параметров сборных червячных фрез использованы на ООО «Аркон» при модернизации техпроцессов, что позволило повысить стойкость инструментов при фрезеровании зубчатых колес.

Результаты диссертационного исследования приняты к внедрению в ф-л АО «Газэнергосервис» завод РТО.

Отдельные материалы научных исследований использованы в учебном процессе на кафедре «Инструментальные метрологические системы» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет».

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Борискин О.И.** Анализ точности профиля эвольвентных червячных фрез с твердосплавными СМП / Борискин О.И., Стаханов Н.Г., Хлудов С.Я., Якушенков А.В., **Горынина И.В. (Астапова И.В.)** // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 3. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016 – 273 с.: С. 143-149.
2. **Борискин О.И.** Особенности формообразования поверхностей эвольвентных червячных фрез с твердосплавными СМП / Борискин О.И., Стаханов Н.Г., Хлудов С.Я., Якушенков А.В., **Горынина И.В. (Астапова И.В.)** // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8. Ч. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016 – 370 с.: С. 72-75.
3. **Борискин О.И.** Способы повышения точности эвольвентных червячных фрез с СМП / Борискин О.И., Стаханов Н.Г., Хлудов С.Я., Якушенков А.В., **Горынина И.В. (Астапова И.В.)** // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8. Ч. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016 – 370 с.: С. 277-280.
4. **Борискин О.И.** Некоторые теоретические вопросы сопряжения поверхностей детали и производящей червячной фрезы / Борискин О.И., Стаханов Н.Г., Хлудов С.Я., Якушенков А.В., **Горынина И.В. (Астапова И.В.)** // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8. Ч. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017 – 359 с. С. 93-96.
5. **Борискин О.И.** Анализ формообразования поверхности зубьев фрезами удлиненной конструкции / Борискин О.И., Стаханов Н.Г., Хлудов С.Я., Якушенков А.В., **Горынина И.В. (Астапова И.В.)** // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8. Ч. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017 – 359 с. С. 97-100.
6. **Горынина И.В. (Астапова И.В.)** Метод профилирования червячных фрез для обработки цилиндрических зубчатых деталей / **Горынина И.В. (Астапова И.В.)** // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8. Ч. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017 – 359 с. С. 101-104.
7. **Борискин О.И.** Применение СМП для червячных зуборезных фрез / Борискин О.И., Стаханов Н.Г., Хлудов С.Я., Якушенков А.В., **Горынина И.В. (Астапова И.В.)** // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып.2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2018 – 496 с. С. 310-314.
8. **Борискин О.И.** Методы повышения точности эвольвентных червячных фрез с твердосплавными пластинами / Борискин О.И., Стаханов Н.Г., **Астапова И.В.** // Научно-технические технологии в машиностроении - 4/2019 - 48 с. С. 3-6. - doi: 10.30987/article_5c90a59586f5d2.83422841.
9. **Борискин О.И.** Кинематический анализ эвольвентной червячной фрезы с поворотными твердосплавными рейками / Борискин О.И., Стаханов Н.Г., Астапова И.В. // Научно-технические технологии в машиностроении. 2020 г., №5. с. 15-19.
10. **Борискин О.И.** Анализ кинематических углов эвольвентных червячных фрез с твердосплавными СМП / Борискин О.И., Стаханов Н.Г., **Астапова И.В.** // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020 г. №6, с.246-250.

Публикации в рецензируемых изданиях в международных базах цитирования Web of Science и Scopus.

11. **Борискин, О.И.** Анализ погрешностей эвольвентных червячных фрез с твердосплавными сменными многогранными пластинами / О.И. Борискин, Н. Г. Стаханов, **И.В. Астапова** // Черные металлы/ М.: Изд-кий дом «Руда и металлы», 2019. – С. 22-27.

12. **Boriskin, O.I.** New design of the evolvent worm mill with carbide turning rack/ O.I. Boriskin, **I.V. Astapova** // CIS Iron and Steel Review – Vol.21 (2021), pp. 88-91.

В других научных изданиях:

13. **Борискин О.И.** Аналитически точное профилирование эвольвентных червячных фрез с твердосплавными сменными многогранными пластинками. / Борискин О.И., Стаханов Н. Г., **Горынина И.В. (Астапова И.В.)** // Материалы Международной научно-практической конференции (26-27 марта 2015 года) – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2015 – 121 с.: С. 81-84.

14. **Борискин О.И.** Исследование методических погрешностей эвольвентных червячных фрез с твердосплавными СМП./ Борискин О.И., Стаханов Н.Г., **Горынина И.В. (Астапова И.В.)** // Материалы II Международной научно-практической конференции (29 сентября 2016 года) - Кемерово: ЗапСибНЦ, 2016 – 123 с.: С. 68-70; ISBN 978-5-9908668-6-7 (Том I).

15. **Астапова И.В.** Кинематические параметры эвольвентных червячных фрез/ **Астапова И.В.** // Материалы IX Международной научно-практической конференции (15 февраля 2019 г.) - Кемерово: ЗапСибНЦ, 2019 – 119 с: С. 48-53; ISBN: 978-5-6040761-9-4 (Том I)

Авторское редактирование

Подписано в печать 18.02.2022

Формат бумаги 70x100^{1/16}. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 1,3. Тираж 100 экз. Заказ 000

Отпечатано в Издательстве ТулГУ. 300012, г. Тула, просп. Ленина, 95