



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский государственный технологический университет  
«СТАНКИН»

## МАТЕРИАЛЫ

студенческой  
научно-практической конференции

Автоматизация и информационные технологии  
(АИТ-2026)

ИНСТИТУТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИНЖИНИРИНГА

МОСКВА  
2026

УДК 002:621

ББК 73:34.4

**Материалы 1-го этапа студенческой научно-практической конференции «Автоматизация и информационные технологии (АИТ-2026)».** Том 1: Сборник докладов института производственных технологий и инжиниринга. – М.: ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2026. – 42 с.

В сборник докладов включены материалы 1-го этапа студенческой научно-практической конференции «Автоматизация и информационные технологии» (АИТ-2026), проводившейся в институте производственных технологий и инжиниринга. Конференция проводилась очно/дистанционно по секциям: Оборудование машиностроительных производств, Новые технологии и инструментальное обеспечение машиностроительных производств, Технологии машиностроения и безопасность жизнедеятельности, Фундаментальные науки в машиностроении.

#### ОРГКОМИТЕТ

*Председатель оргкомитета:*

*Падалкин Б.В. – ректора*

*Заместитель председателя оргкомитета:*

*Капитанов А.В. – проректор по научной работе;*

*Шехтман С.Р. – проректор по учебной работе.*

*Члены оргкомитета:*

*Захаров О.В. – директор ИЦИС;*

*Коршунова Е.Д. – директор ИСТМ;*

*Сосенушкин С.Е. – директор ИИТ;*

*Стебулянин М.М. – директор ИПТИ;*

*Тюрбеева Т.Б. – начальник НИЧ;*

*Сотова Е.С. – ответственный секретарь конференции, начальник ООИД.*

УДК 002:621

ББК 73:34.4

©ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2026

## СОСТАВ ЖЮРИ

### Секция 1 «Оборудование машиностроительных производств»

*Председатель жюри секции:*

*Коробова Н.В. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой СПД.*

*Члены жюри:*

*Сабиров Ф.С. – д.т.н., профессор, профессор кафедры станков;*

*Вишенков М.А. – к.т.н., доцент кафедры СПД;*

*Гиловой Л.Я. – к.т.н., доцент, доцент кафедры станков*

*Соболев А.Н. – к.т.н., доцент, доцент кафедры станков*

### Секция 2 «Новые технологии и инструментальное обеспечение машиностроительных производств»

*Председатель жюри секции:*

*Домнин П.В. – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой ИТиТФ*

*Члены жюри:*

*Гречишников В.А. – д.т.н., профессор, профессор кафедры ИТиТФ;*

*Романов В.Б. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИТиТФ;*

*Пивкин П.М. – к.т.н., доцент кафедры ИТиТФ;*

*Исаев А.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИТиТФ*

### Секция 3 «Технология машиностроения и производственный инжиниринг»

*Председатель жюри секции:*

*Захаров О.В. – д.т.н., профессор, профессор кафедры ВТО*

*Члены жюри:*

*Кутин А.А. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой ТехМаши*

*Хайбуллов К.А. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ТехМаши*

*Козочкин М.П. – д.т.н., профессор кафедры ВТО;*

### Секция 4 «Прикладные и фундаментальные науки в машиностроении»

*Председатель жюри секции:*

*Чеканин А.В. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой СМиТМ.*

*Члены жюри:*

*Харыбина И.Н. – к.п.н., доцент кафедры СМиТМ (секретарь);*

*Телегина О.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры СМиТМ*

*Соболев А.Н. – к.т.н., доцент, доцент кафедры станков*

## ОГЛАВЛЕНИЕ

## Секция 1 «Оборудование современных машиностроительных производств»

1.	Агбетробию О.А.Л.	РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШЛИЦЕВОГО ВАЛА В СРЕДЕ T-FLEX PLM	7
2.	Гаутам А.С.	ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО РАСКРОЯ	8
3.	Кахрамонов М.С.	ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНКА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ТРАВЫ В САПР T-FLEX CAD	9
4.	Кочкин П.Н.	РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОКОВКИ ДЕТАЛИ «ДВУРОГИЙ КРЮК»	10
5.	Федотов Т.Г.	РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНИЧЕСКОГО МУЛЬТИПЛИКАТОРА В СРЕДЕ T-FLEX PLM	11
6.	Филиппов А.А.	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДЕФЕКТОСКОПА	12

## Секция 2 «Системный инжиниринг инструментального производства»

7.	Бабаев В.Н.	ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ВИНТОВЫХ КАНАВОК ТВЕРДОСПЛАВНЫХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ СО СФЕРИЧЕСКИМ ТОРЦЕМ	13
8.	Гаврин Д.А.	АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС	14
9.	Данилин В.А.	САПР КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ С 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕМ И 3D-ПЕЧАТЬЮ	15
10.	Добышев П.К.	ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗА СЧЕТ РАСЧЕТА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ	16
11.	Кожин М.В.	ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОРЦЕВОЙ ФРЕЗЫ С СМП	17
12.	Крапивин А.Е.	ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЛОТНОГО РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ С РАЗНЫМИ УГЛАМИ ПОДЪЕМА РЕЗЬБЫ	18
13.	Кривошеев В.В.	РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ 3D МОДЕЛИ ДИСКОВОЙ ФАСОННОЙ ОСТРОЗАТОЧЕННОЙ ФРЕЗЫ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ПЕРЕДНИМ УГЛОМ	19

14.	Куракин А.О.	СПОСОБЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЯМОЗУБЫХ ДОЛБЯКОВ	20
15.	Макушев А.И.	САПР ФАСОННЫХ ЗАТЫЛОВАННЫХ ФРЕЗ С 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕМ И 3D-ПЕЧАТЬЮ	21
16.	Нагиев Т.Д.	МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СБОРНОЙ ТОРЦОВО-ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФРЕЗЫ СО СМЕННЫМИ МНОГОГРАННЫМИ ПЛАСТИНАМИ	22
17.	Низовцева П.А.	РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И 3D-ФОРМИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ ГИПОЦИКЛОИДНОГО ПРОФИЛЯ	23
18.	Пономарева А.А.	ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОХОДНОГО РЕЗЦА С СМП, ОСНАЩЕННОГО СТМ, В СРЕДЕ T-FLEX CAD	24
19.	Соколова К.В.	АНАЛИЗ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРУГЛОЙ ПРОТЯЖКИ ГРУППОВОЙ СХЕМЫ РЕЗАНИЯ	25
20.	Хафизулина Д.Р.	СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДА ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ДИСКОВОЙ МОДУЛЬНОЙ ФРЕЗОЙ	26
21.	Чернявский Г.И.	РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ САПР ЧЕРВЯЧНОЙ МОДУЛЬНОЙ ФРЕЗЫ	27
22.	Язев А.М.	ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОНИЧЕСКОЙ КОНЦЕВОЙ ФРЕЗЫ: МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНТРОЛЬ	28
23.	Ярошенко Д.	АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ РЕГУЛИРУЕМОЙ РАСТОЧНОЙ ГОЛОВКИ ПО ТИПУ МИКРОБОР	29
<b>Секция 3 «Высокоэффективные технологии обработки и инжиниринг в машиностроении»</b>			
24.	Гражданкин Л.Г.	СОВЕРШЕСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАЗРАБОТКИ ОПЕРАЦИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ МОДЕЛИ НА 3D ПРИНТЕРЕ	30
25.	Залипаева Е.Ю.	ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ПРОХОДОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ	31
26.	Карасёв Н.В.	АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДЕЛЬТА-МЕХАНИЗМА FDM-ПРИНТЕРА И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЕГО КОНСТРУКЦИИ	32
27.	Коцарь Е.А.	ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ АО «КОЛОМЕНСКИЙ ЗАВОД»	33
28.	Крючкова В.А.	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ	34

---

29.	Молоканов А.А.	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММ ЧПУ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ	35
30.	Петров Д.А.	РОБОТИЗИРОВАННАЯ ЯЧЕЙКА С АКТИВНЫМ ВИБРОГАШЕНИЕМ ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ТОНКОСТЕННЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ	36
31.	Пурисов Д.А.	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАЗРАБОТКИ ОПЕРАЦИЙ СБОРКИ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ	37
32.	Смирнова А.Н.	РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПЕРЕВОДА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИМ-ТЕХНОЛОГИЮ В РАМКАХ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА	38
<b>Секция 4 «Прикладные и фундаментальные науки в машиностроении»</b>			
33.	Кузьмичев П.М.	ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ НА ЯЗЫКЕ C/C++ ДЛЯ РАСЧЕТА ДЕТАЛЕЙ МАШИН В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ	39
34.	Наинг Наинг Зо	ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СБОРОЧНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ НА МОМЕНТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	40
35.	Страхов А.М.	ПРОЕКТИРОВАНИЕ И АДДИТИВНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО РЕДУКТОРА	41

## Секция 1 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШЛИЦЕ- ВОГО ВАЛА В СРЕДЕ T-FLEX PLM

*Агбетробю О.А.Л.*

*Научный руководитель: Соболев А.Н. – к.т.н., доцент  
Кафедра станков МГТУ «СТАНКИН»*

В условиях импортозамещения перед промышленностью стоит задача перехода на отечественное программное обеспечение. Шлицевые валы, являясь ответственными деталями трансмиссий, требуют высокой точности изготовления, а их технологическая подготовка производства (ТПП) в современных PLM-системах становится критически важной компетенцией инженера. Использование российских программных комплексов, таких как T-FLEX PLM, позволяет обеспечить сквозное проектирование на всех этапах производства [1].

Цель работы – разработка технологического процесса изготовления шлицевого вала для коробки скоростей в T-FLEX PLM. Исходные данные: трехмерная модель вала в T-FLEX CAD. Деталь имеет восемь прямобочных шлицев, посадочные места под подшипники с допуском 35k6 и канавку под стопорное кольцо. Материал – Сталь 45, твердость после термообработки 40...42 HRC.

Разработка техпроцесса началась с анализа модели и построения маршрута обработки. Заготовка – прутки из стали 45 диаметром 50 мм разрезается на ленточнопильном станке ARG 260 plus E. Далее следует операция улучшения в вакуумной печи ERSTEVAK VNH-446. Все данные о переходах, оборудовании и оснастке вносились в маршрутную карту T-FLEX PLM.

Наиболее трудоемкая операция – токарная и фрезерная обработка на многофункциональном центре Mazak Integrex E-410H-S II. Для фрезерования шлицев была задействована фрезерная 5D-обработка концевой фрезой. Благодаря интеграции CAD/CAM и PLM, описание фрезерования восьми шлицев шириной 8 мм выполнено с привязкой технологических переходов к геометрическим элементам 3D-модели, что исключает ошибки в чтении чертежа.

После механической обработки деталь проходит окончательную закалку, затем – шлифование посадочных поверхностей на станке КШ-400.2 с ЧПУ и чистовую обработку профиля шлицев на станке ВЗ-729Ф4. Завершает процесс мойка и финальный контроль в контрольной измерительной системе с ЧПУ НИИК-485.

В результате создан полный комплект технологической документации, интегрированный с 3D-моделью, и сформирована информационная модель процесса в отечественной PLM-системе. Электронная технологическая документация включает управляющие программы для станка с ЧПУ. Такой подход позволяет снизить риск брака при передаче технологии в цех и сократить время на переналадку оборудования. Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанного техпроцесса для обучения студентов работе с T-FLEX PLM [2].

### ***Библиографический список:***

1. Соболев А.Н., Некрасов А.Я., Ривкин А.В. Гибкие производственные модули. Инженерно-технологическое проектирование: учеб. пособие – М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2025. – 84 с. ISBN 978-5-7028-0818-5.
2. Управление киберфизическими станками роботизированных систем. Программирование токарно-фрезерной обработки 3D-5D в T-FLEX CAM: учеб. пособие / А.Н. Соболев, А.Я. Некрасов, А.В. Ривкин. – Москва: ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2025. – 128 с.: ил. ISBN 978-5-7028-0836-9

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО РАСКРОЯ

*Гаутам А.С.*

*Научный руководитель: Яковлев М.Г. – доцент к.т.н.*

*Кафедра технологии машиностроения МГТУ «СТАНКИН»*

В современных условиях развития промышленности одной из ключевых задач является снижение трудоемкости и длительности производственного цикла изготовления деталей из листового металла при одновременном повышении качества продукции. Наиболее перспективным направлением является внедрение технологии лазерной резки вместо традиционных методов механической обработки, штамповки и гидроабразивной резки.

Лазерная резка обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционной обработкой резанием и давлением: высокой точностью позиционирования, узкой шириной реза, минимальной зоной термического влияния, а также возможностью получения сложных контуров без дополнительной механической доработки. Технология обеспечивает высокое качество кромки, что позволяет существенно сократить объем вторичных слесарно-дорабатывающих операций, таких как подрезка, доработка радиусов и доработка отверстий.

Для рассматриваемого предприятия актуальной проблемой является отсутствие собственного лазерного комплекса и зависимость от оборудования, ограниченного инструментальной оснасткой и геометрическими возможностями. Предлагается внедрение лазерного станка с рабочим полем порядка 1200×1200 мм или 1300×1300 мм, обеспечивающего точность до ±0,03 мм и возможность обработки широкого спектра металлических материалов, характерных для промышленной отрасли. Использование такого оборудования позволяет объединить операции раскроя в пределах одного участка, уменьшить количество переналадок и перенастроек, а также автоматизировать расчет времени обработки, расхода материала и себестоимости деталей.

Предварительная оценка по проведенной работе показывает, что для части деталей удастся существенно сократить время обработки за счет исключения ряда переходов и переноса сложного контура с ЧПУ-фрезерных станков и штамповки на лазерную резку, при этом отдельные случаи роста трудоемкости связаны с изменением конструкторской документации и введением дополнительных требований

Ожидается, что внедрение лазерного комплекса позволит повысить гибкость производства, обеспечить возможность оперативного изготовления малых партий деталей сложной формы и сформировать задел для интеграции участка лазерной резки в цифровую производственную среду.

### ***Библиографический список:***

1. What Benefits of Laser Cutting Machines in Aerospace Industry. – HARSLE, 2025.
2. 7 Key Advantages of Precision Laser Cutting for Aerospace Parts in 2025. – SuperStar Laser, 2025.
3. Laser Cutting Advantages: Precision & Efficiency. – Komaspes, 2023.
4. SMART XL – станок для лазерной резки листовых материалов. – LASSARD.
5. Made in Russia – LASSARD: технологические решения для лазерной обработки металлов.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНКА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ТРАВЫ В САПР T-FLEX CAD

*Кахрамонов М.С.*

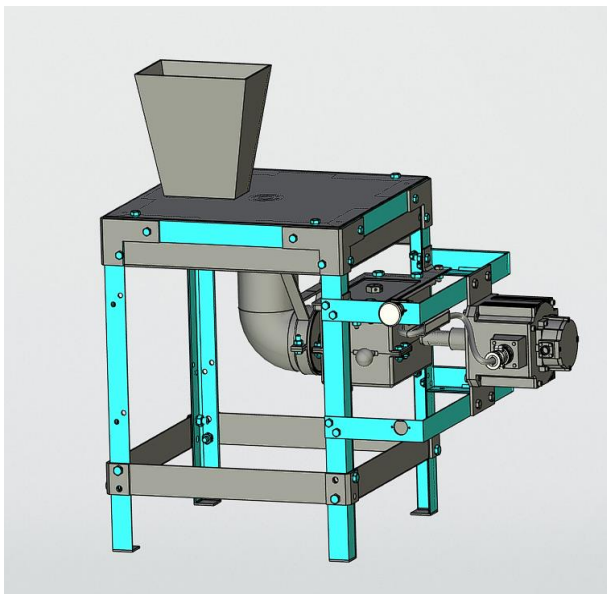
*Научный руководитель: Соболев А.Н. – к.т.н., доцент  
Кафедра станков МГТУ «СТАНКИН»*

В фермерских и приусадебных хозяйствах востребованы средства малой механизации для переработки растительных отходов в корма и удобрения. Рыночное оборудование не всегда оптимально по цене и характеристикам, поэтому разработка собственной конструкции измельчителя является актуальной задачей.

Цель работы: разработка конструкции станка для измельчения травы и создание комплекта конструкторской документации в среде T-Flex CAD.

В ходе работы обоснована конструктивная схема с вращающимися ножами, обеспечивающая качественный срез без размочаливания волокон. Диаметр ножевого диска составляет 400 мм. Для привода выбран электродвигатель мощностью 5 кВт. В конструкции предусмотрен редуктор с переключением передаточных чисел 1:1 и 1:2, что позволяет изменять частоту вращения ножей для разных видов сырья. Для передачи вращения от горизонтального вала редуктора к вертикальному валу ножевого диска применена коническая зубчатая передача [1]. Проектирование выполнено в T-Flex CAD с использованием модуля «Зубчатые передачи». Созданы трехмерные модели всех узлов: редуктора, ножевого диска, каркаса, защитных кожухов. Проверена собираемость и отсутствие пересечений деталей (рис. 1). Оформлен комплект конструкторской документации, включающий сборочные чертежи и спецификации.

Разработанная конструкция станка адаптирована для условий частного хозяйства, обеспечивает два скоростных режима работы и удобство обслуживания. Применение T-Flex CAD позволило сократить время проектирования и гарантировать качество сборки. Комплект документации готов к передаче в производство.



**Рис. 1. 3D-сборка станка**

### **Библиографический список:**

1. Цехнович, Л. И. Атлас конструкций редукторов : учеб. пособие / Л.И. Цехнович, И.П. Петриченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Выща шк., 1990. – 151 с.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОКОВКИ ДЕТАЛИ «ДВУРОГИЙ КРЮК»

**Кочкин П.Н.**

**Научный руководитель: Вишенков М.А. – к.т.н., доцент**

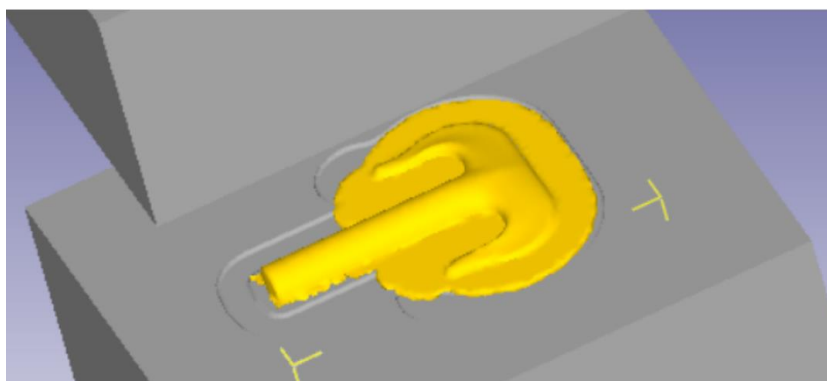
**Кафедра систем пластического деформирования МГТУ «СТАНКИН»**

Двурогие крюки являются ответственными деталями, используемыми при подъеме грузов большой массы. Повышенная надежность и прочность крюков обеспечивается за счет использования заготовок, получаемых операциями обработки металлов давлением. Требования к подобным крюкам содержатся в ГОСТ 34680-2020 «Краны грузоподъемные. Крюки кованные и штампованные. Технические требования». После обработки давлением заготовки подвергаются нормализации, очистке от окалины и механообработке. Штампованные поковки могут почти не подвергаться механообработке (за исключением обработки свободного конца и, в частности, нарезания на нем резьбы).

Известны различные способы изготовления двурогих крюков, например, [1]. В представленной работе предложен способ изготовления заготовки крюка из цилиндрической мерной заготовки, включающий следующие операции:

1. нагрев заготовки до ковочной температуры;
2. получение утолщения путем высадки конца заготовки на горизонтально-ковочной машине;
3. расплющивание утолщения на пневматическом ковочном молоте;
4. окончательную штамповку на паровоздушном штамповочном молоте;
5. обрезку облоя на кривошипном обрезном прессе.

Данная технология обеспечивает получение благоприятной внутренней структуры заготовки и небольшие отходы металла. Для окончательной штамповки спроектирован молотовой штамп.



**Рис. 1. 3D-модель поковки и элементов штампа  
(по данным моделирования в программе SFTC Deform)**

Компьютерное моделирование позволяет также оценить грузоподъемность будущего крюка путем моделирования статического нагружения поковки при удаленном облое. В результате выполнения работы разработана рациональная технология изготовления заготовки крюка, обеспечивающая повышение прочности крюка и снижение затрат на его производство.

### **Библиографический список:**

1. А.с. 690706. Способ изготовления изделий типа крюков. В 21 К 1/72; В21 J 1/06. Алымов И.М., Гребенюк Г.С., Михайленко Б.Е., Славецкий-Котвицкий Э.С. Заявл. 25.07.1976. Оpubл. 15.08.1986. Бюл. №30.

## РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНИЧЕСКОГО МУЛЬТИ-ПЛИКАТОРА В СРЕДЕ T-FLEX PLM

*Федотов Т.Г.*

*Научный руководитель: Соболев А.Н. – к.т.н., доцент  
Кафедра станков МГТУ «СТАНКИН»*

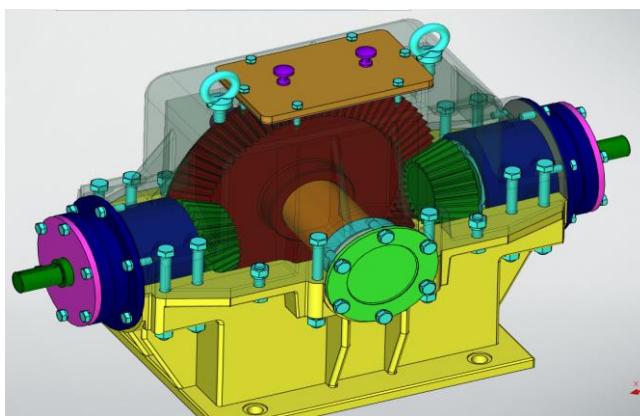
В современном машиностроении при ремонте и модернизации оборудования часто требуется восстановить документацию по существующим образцам. Конические мультипликаторы широко применяются в станкостроении для повышения частоты вращения и передачи движения между пересекающимися валами [1].

Цель работы: восстановление цифровой модели, проведение кинематического анализа и разработка конструкторской документации конического мультипликатора с двумя выходными валами на основе чертежей развертки и свертки.

Работа выполнена в T-FLEX PLM с использованием модуля «Зубчатые передачи» для параметрического построения конических колес, а также инструментов «Анализ движения» и создания анимации сопряжений.

Основные результаты:

1. Проведен структурный анализ механизма по исходным чертежам. Восстановлены параметры зацепления, углы делительных конусов.
2. Созданы 3D-модели всех деталей; зубчатые венцы построены автоматически в модуле «Зубчатые передачи», стандартные изделия взяты из библиотек.
3. Выполнена 3D-сборка мультипликатора и создана анимация разборки для демонстрации устройства (рис. 1). Проведен кинематический анализ, подтвердивший отсутствие интерференции и корректную передачу движения.
4. Сформирован комплект документации по ЕСКД: сборочный чертеж и спецификация.



**Рис. 1. 3D-сборка мультипликатора**

Применение модуля «Зубчатые передачи» T-FLEX CAD при реверс-инжиниринге позволяет точно восстановить геометрию зацеплений по минимальным исходным данным. Созданная 3D-модель является полноценной цифровой копией, пригодной для выпуска документации и модернизации узла. Разработанный комплект документации готов для передачи в производство.

### **Библиографический список:**

1. Цехнович, Л.И. Атлас конструкций редукторов : учеб. пособие / Л.И. Цехнович, И.П. Петриченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Выща шк., 1990. – 151 с

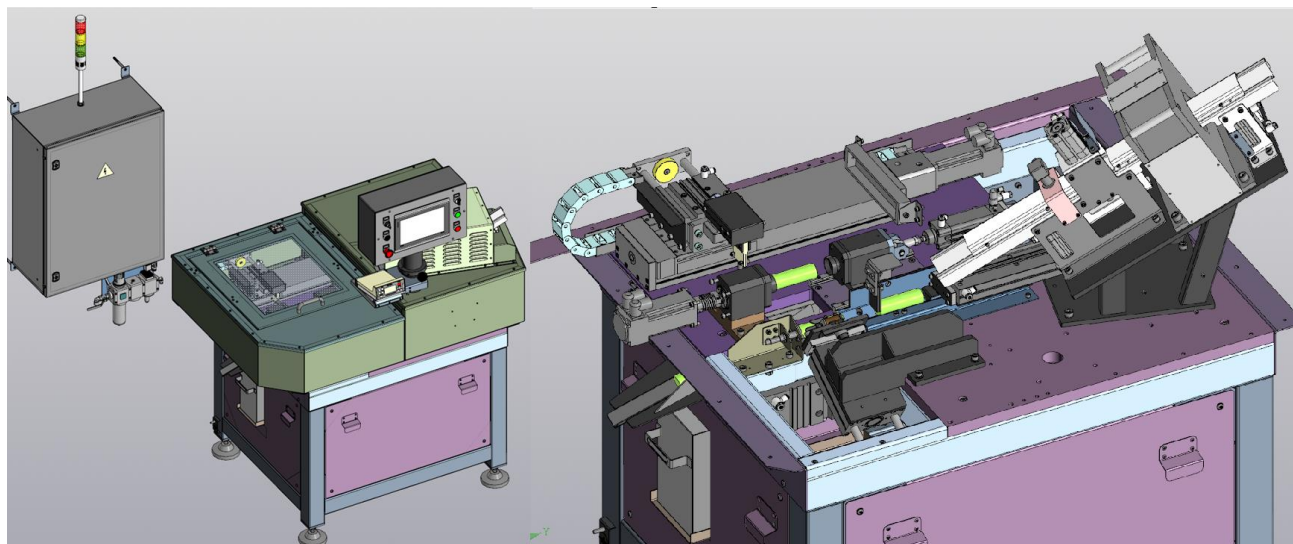
## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДЕФЕКТОСКОПА

*Филиппов А.А.*

*Научный руководитель: Чаруйская М.А. – к.э.н., доцент  
Кафедра финансового менеджмента МГТУ «СТАНКИН»*

Дефектоскоп — устройство для обнаружения поверхностных, подповерхностных и сквозных несплошностей в изделиях из различных металлических и неметаллических материалов методами неразрушающего контроля. Вихретоковый контроль обладает высокой производительностью, не требует расходных материалов и способен работать через покрытия. В условиях массового производства цилиндрических корпусов, требующих сплошного контроля на наличие поверхностных дефектов, применение автоматического дефектоскопа играет важную роль в обеспечении высокой производительности и точности контроля.

В проведенной работе был усовершенствован и смоделирован автоматический дефектоскоп. Полученная модель представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Автоматический дефектоскоп и его внутренние механизмы**

Применение автоматического дефектоскопа имеет важное значение для обеспечения контроля с высокой производительностью 600 дет/час.

### ***Библиографический список:***

1. ГОСТ 18353-79 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов»

## Секция 2

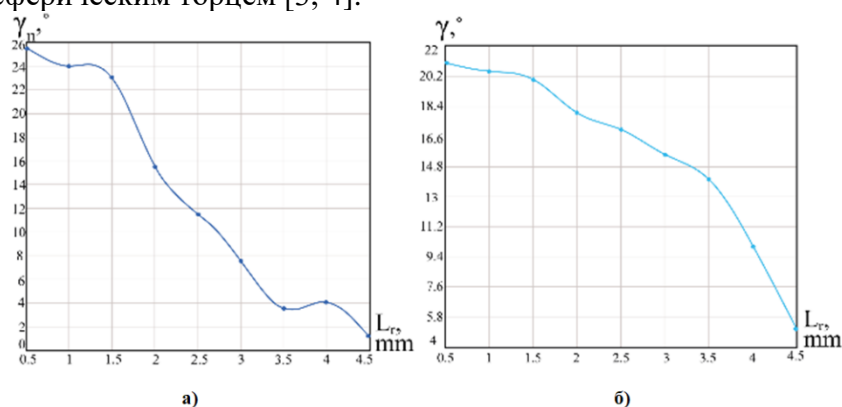
### ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ВИНТОВЫХ КАНАВОК ТВЕРДОСПЛАВНЫХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ СО СФЕРИЧЕСКИМ ТОРЦЕМ

**Бабаев В.Н.**

*Научный руководитель: Пивкин П.М. - к.т.н., доцент*

*Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «СТАНКИН»*

В современном машиностроении широко используют детали сложной пространственной формы, к ним относят детали авиационной и автомобильной техники, имеющие поверхности сложной геометрии [1, 2]. Для обработки деталей с такой поверхностью широко применяются концевые фрезы, позволяющие выполнять обработку по сложным пространственным траекториям. Особое место среди режущего инструмента такого вида занимает тип концевых фрез со сферическим торцом [3, 4].



**Рис. 1. Передний угол фрезы в нормальном (а) и радиальном (б) сечениях**

В работе проанализировано изменение параметров винтовой поверхности при образовании фасонной режущей кромки на сферической исходной инструментальной поверхности (рис. 1). Также в работе представлена разработка модели четырехзубой концевой фрезы со сферическим торцом для обработки стали. Такие фрезы применяют преимущественно для полувыводной и чистовой обработки сложных пространственных поверхностей при 3-х и 5-х координатном фрезеровании. Наличие 4-х режущих кромок обеспечивает более равномерное распределение нагрузки между зубьями и слабые вибрации на зуб, что позволяет получать поверхность заготовки высокого качества, при небольшой шероховатости.

#### **Библиографический список:**

1. Luo H. и др. Evolutions of multidimensional wear features in ball-end milling of Ni- based superalloy GH4169 // Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2024. Т. 131, № 3-4. С. 1267- 1287.
2. Pivkin P. M. и др. A new method for the precise determination of rational geometric parameters of the helical groove and cutting part of high-performance tri-flute. Online Only, United Kingdom: SPIE, 2020. С. 36.
3. Режущий инструмент: учебник / Д.В. Кожевников, В.А. Гречишников, С.В. Кирсанов, С. Н. Григорьев. – 4-е, изд. – М.: Машиностроение, 2014. – 520 с.
4. Wang H. и др. Study on wear mechanism of milling cutter and hole-making quality in ball helical milling process // Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2024. Т. 134, № 5-6. С. 2417-2429.

## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС

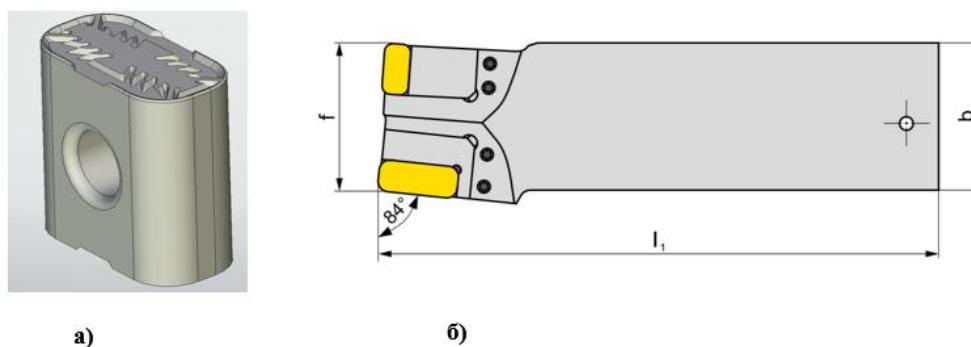
*Гаврин Д.А.*

*Научный руководитель: Исаев А.В. – к.т.н., доцент*

*Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «СТАНКИН»*

Во ходе эксплуатации железнодорожные колеса интенсивно изнашиваются, особенно износу подвергаются поверхность катания и гребень. Восстановление железнодорожных колес является одной из важных задач в железнодорожной отрасли. Трудности для восстановления железнодорожных колес представляет их изношенный слой, а именно: ползуны, выщербины и трещины. Для черновой обработки железнодорожного колеса эффективно использовать токарный резец с тангенциальными многогранными пластинами из твердого сплава [1].

Зарубежные компании, такие как Sandvik Coromant, Kennametal, Pramet, Tungaloy и т. д., предлагают токарные резцы с двумя СМП, расположенными по бокам головки резца. Это повышает производительность за счет возможности обрабатывать все поверхности заготовки без смены инструмента. По конструкции можно выделить использование кассетной системы, которая помогает уменьшить время на замену СМП после выхода их из строя.



**Рис. 1. Режущая пластина LNUX (а) и токарный резец для обработки железнодорожных колес (б)**

Для обработки поверхности катания можно использовать специальные тангенциальные многогранные пластины, которые производятся как зарубежными компаниями, так и отечественными (Вириал). Самым распространенным типоразмером пластины считается LNUX (рис. 1). Тангенциальное расположение режущей пластины повышает жесткость системы «инструмент - заготовка» и стойкость при тяжелых режимах резания. Для изготовления режущей пластины используют трехкарбидный твердый сплав (WC-TiC-TaC-Co) с мелко- и среднедисперсным размером зерна, что обеспечивает баланс между твердостью и вязкостью. Для повышения стойкости режущей пластины применяют многослойное CVD-покрытие (TiCN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN). Геометрию режущей пластины специально проектируют так, чтобы эффективно работать при черновой обработке железнодорожных сталей.

### **Библиографический список:**

1. Инструментальная техника, технология изготовления и САПР режущего инструмента: учебное пособие / В.А. Гречишников, Ю.Е. Петухов, В.А. Косарев [и др.]. – М.: МГТУ «СТАНКИН», 2015. – 351 с.

## САПР КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ С 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕМ И 3D-ПЕЧАТЬЮ

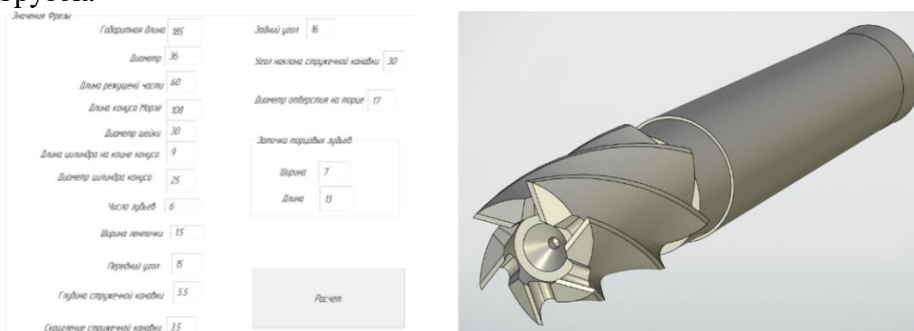
*Данилин В.А.*

*Научный руководитель: Петухов Ю.Е. – д.т.н., профессор*

*Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «СТАНКИН»*

Традиционные методы проектирования и изготовления концевой фрезы требуют много времени и не всегда позволяют быстро оценить ее работоспособность до запуска в производство. Внедрение технологий 3D-моделирования, систем автоматизированного проектирования (САПР) и аддитивных технологий (3D-печати) открывает новые возможности для разработки, тестирования и оптимизации конструкций концевых фрез из быстрорежущей стали [1].

Преимущество САПР заключается в возможности параметрического моделирования (рис. 1): изменение одного параметра (например, диаметра) автоматически перестраивает всю модель, что значительно ускоряет процесс создания типоразмерных рядов. Кроме того, современные САД-системы позволяют проводить прочностные расчеты (методом конечных элементов) еще на этапе проектирования, что дает возможность прогнозировать поведение фрезы под действием нагрузок.



**Рис. 1. Трехмерная цифровая параметрическая модель концевой фрезы из быстрорежущей стали с диалогом ввода исходных данных САПР**

Изготовление концевой фрезы из быстрорежущей стали традиционным способом требует дорогостоящего оборудования и оснастки. Аддитивные технологии предлагают альтернативные подходы:

- прямое лазерное спекание металлов (SLM/DMLS) позволяет послойно выращивать фрезу из металлического порошка быстрорежущей стали. Такой метод даёт возможность формировать сложные внутренние геометрии, которые невозможно получить механической обработкой;
- FDM-печать. Пластиковая модель позволяет визуально оценить эргономику, проверить посадку в державке, продемонстрировать геометрию заказчику без затрат на металл и сложную оснастку.

Хотя серийное производство металлорежущего инструмента из быстрорежущей стали сегодня преимущественно остается за традиционными методами, 3D-печать становится незаменимой при создании опытных образцов, в мелкосерийном производстве сложных фасонных инструментов и восстановлении изношенного инструмента (наплавка).

Внедрение этих технологий способствует повышению производительности обработки, снижению материальных затрат на прототипирование и созданию инструментов с улучшенными эксплуатационными характеристиками, что особенно важно для современного высокоточного машиностроения.

### **Библиографический список:**

1. Петухов Ю.Е. Формообразование численными методами. – М.: «Янус-К», 2004. – 200 с.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗА СЧЕТ РАСЧЕТА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

*Добышев П.К.*

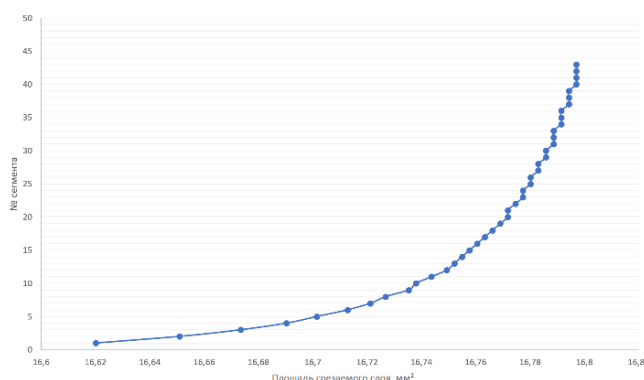
*Научный руководитель: Домнин П.В. – д.т.н., зав. кафедрой*

*Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «СТАНКИН»*

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности торцевого фрезерования путем выбора рациональных траекторий формообразования. При прямой траектории площадь срезаемого слоя постоянна, что вызывает периодическую силовую нагрузку, гармонические колебания, снижение качества поверхности и ускоренный износ инструмента [1-3].

Использование спиралевидной траектории меняет кинематику резания: площадь срезаемого слоя становится переменной во времени, нарушается регулярность силового воздействия, что предотвращает возникновение гармонических колебаний.

На графике (рис. 1) представлена зависимость величины площади срезаемого слоя от номера сегмента. Анализ графика показал, что площадь срезаемого слоя при эвольвентной траектории увеличилась на  $0,17 \text{ мм}^2$ , что подтверждает изменение объема срезаемого материала.



**Рис. 1. График зависимости величины площади срезаемого слоя от номера сегмента**

Предложенная методика может быть использована для других спиралевидных траекторий формообразования (архимедовой, логарифмической и др.) Вычисление площади основано на дискретном интегрировании по замкнутому контуру, структура алгоритма остается неизменной.

Численный метод учитывает сложную кинематику траектории инструмента и позволяет точно определить площади срезаемых слоев. Применение спиралевидных траекторий снижает вибрации, повышает качество обработанной поверхности и стойкость инструмента. Результаты могут служить основой для выбора рациональной стратегии обработки торцевыми фрезами.

### **Библиографический список:**

1. Юликов М.И., Горбунов Б.И., Колесов Н.В. Проектирование и производство режущего инструмента//М: Машиностроение, 1987. – 297 с.
2. Петухов Ю.Е., Колесов Н.В. Численные модели режущего инструмента для обработки сложных поверхностей // Вестник машиностроения. 2003. № 5. С. 61-63.
3. Петухов, Ю. Е. Формообразование численными методами. / Петухов Ю. Е. – М.: Янус-К, 2004. – 200с.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОРЦЕВОЙ ФРЕЗЫ С СМП

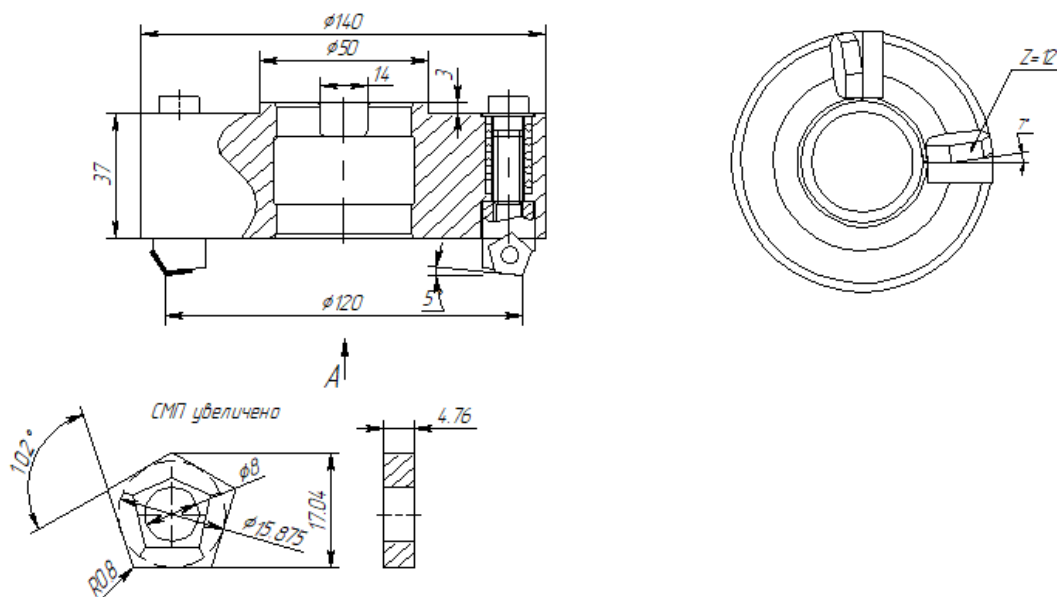
**Кожин М.В.**

*Научный руководитель: Романов В.Б. – к.т.н., доцент*

*Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «СТАНКИН»*

В современном производстве значительный объем процессов металлообработки выполняется по-прежнему на металлорежущих станках. При этом точность геометрии направляющих деталей станка во многом определяет точность изготавливаемых на нем изделий, т.к., направляющие служат для позиционирования рабочих органов станка, таких как суппорт и связанных с ним элементов крепления инструмента. Они воспринимают вес перемещающихся узлов станка и нагрузки от сил резания в ходе металлообработки и должны обеспечивать плавное движение без вибраций.

Для производства направляющих применяют торцевые фрезы различных конструкций.



**Рис. 1. Эскиз торцевой фрезы с СМП**

Одной из задач выполненной работы являлось формирование параметрической 3D-модели торцевой фрезы в программе T-Flex Cad и получение на ее основе рабочего чертежа (рис. 1). Правильно построенная 3D-модель позволяет не только сгенерировать практически готовый рабочий чертеж инструмента, но и выполнить анализ силового нагружения фрезы, чтобы понять, что происходит с фрезой под действием сил резания (определить возникающие напряжения, микросмещения, найти коэффициент запаса прочности).

### **Библиографический список:**

1. Режущие инструменты: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / [В.А. Гречишников и др.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2022. – 384 с.: ил., табл.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЛОТНОГО РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ С РАЗНЫМИ УГЛАМИ ПОДЪЕМА РЕЗЬБЫ

*Крапивин А.Е.*

*Научный руководитель: Гречишников В.А. – д.т.н., профессор*

*Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «СТАНКИН»*

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была исследована проблема обеспечения плотной посадки в резьбовом соединении, рассмотренная через призму технологического разброса угла подъема резьбы  $\tau$ , возникающего при настройке и эксплуатации резьбообрабатывающего инструмента [1, 2].

В рамках проведенного исследования впервые установлена и математически формализована взаимосвязь между технологическими параметрами настройки резьбового резца (угол поворота державки  $\alpha$ ) и эксплуатационными характеристиками получаемого резьбового соединения (наличие натяга или зазора).

Разработана классификация способов компенсации геометрического конфликта профилей, возникающего из-за разности углов подъема, предложено три принципиально различных пути решения:

- конструктивный (использование конической резьбы), основанный на анализе классификации резьб [2];
- технологический (селективная сборка);
- силовой (пластическая деформация).

Такая классификация позволяет системно подходить к решению проблемы на разных этапах жизненного цикла изделия.

Выявлена и проанализирована нелинейная зависимость между изменением угла подъема резьбы ( $\tau$ ) и возникающим при этом натягом ( $\Delta d_2$ ).

**Практическая значимость** полученных научных результатов заключается в том, что они позволяют целенаправленно использовать технологический разброс параметров настройки инструмента не как источник брака, а как средство для получения соединений с заданными эксплуатационными свойствами (плотностью, герметичностью). Это открывает перспективы для создания новых технологий сборки неразъемных и труднодоступных соединений, например, в нефтегазовом машиностроении и тяжелом прессостроении, где применяются детали с упорной резьбой.

### **Библиографический список:**

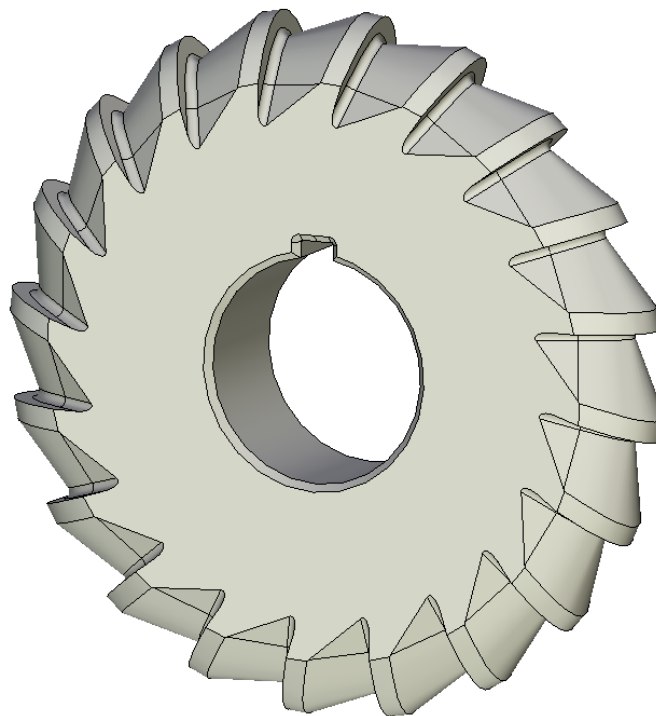
1. Металлорежущие инструменты: Альбом. Учебное пособие для машиностроительных техникумов / А.А. Суворов, Г.С. Зайдлин, Г.М. Стискин. – М.: Машиностроение, 1979. – 64 с., ил.
2. Справочник конструктора-инструментальщика / Под общ. ред. В.А. Гречишникова и С. В. Кирсанова. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2006. – 542 с.: ил – (Библиотека конструктора).

## РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ 3D МОДЕЛИ ФАСОННОЙ ОСТРОЗАТОЧЕННОЙ ФРЕЗЫ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ПЕРЕДНИМ УГЛОМ

*Кривошеев В. В.*

*Научный руководитель: Домнин П. В. – д.т.н., заведующий кафедрой  
Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ  
«СТАНКИН»*

Проектирование дисковых фасонных острозаточенных фрез – процесс хорошо известный. Однако, всеобщее известный метод графического профилирования стружечной канавки подходит только для фрез с нулевым передним углом. Целью работы является получение рабочей параметрической 3D модели дисковой фасонной острозаточенной фрезы с положительным прямым углом. Задачами работы являются изучение литературы по методам проектирования фасонных фрез, освоение программы T-Flex CAD 17, и разработка параметрической 3D модели дисковой фасонной острозаточенной фрезы с положительным прямым углом. При разработке модели был взят за основу графический метод решения задачи профилирования [1].



**Рис. 1. Разработанная параметрическая 3D модель**

В результате исследования была разработана рабочая 3D модель (рис. 1) дисковой фасонной острозаточенной фрезы с положительным передним углом, и протестирована на примере профиля фасонной фрезы для обработки винтовых стружечных канавок сверл.

### **Библиографический список:**

1. Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машгиз, 1963. – 952 с.

## СПОСОБЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЯМОЗУБЫХ ДОЛБЯКОВ

**Куракин А.О.**

*Научный руководитель: Романов В.Б. – к.т.н., доцент*

*Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «СТАНКИН»*

Долбяк для обработки прямозубых колес, изготавливаемый по ГОСТ, является инструментом с заложенной при проектировании погрешностью. С одной стороны, это позволяет упростить форму его задней поверхности, сделав ее эвольвентной винтовой (удобной для изготовления), но с другой стороны, приводит к погрешности геометрии инструмента и, как следствие, ведет к малым величинам углов у долбяка, неоптимальным с точки зрения резания. Однако, это не единственный способ проектирования инструмента. На рис. 1 в виде графа представлены возможные пути проектирования долбяков [1].



**Рис. 1. Возможные способы проектирования прямозубых долбяков**

При использовании метода 1.1.1.1 (рис. 1) получим стандартный долбяк по ГОСТ, имеющий указанные выше недостатки. При способах 1.1.1.2, 1.1.1.3 получим перспективный инструмент 1 и 2. Такой долбяк тоже будет иметь погрешность, но меньшую или с более благоприятным расположением. Это также даст возможность небольшого увеличения углов.

При методах 1.2.1 и 1.2.2 у долбяка изменяется форма передней или задней поверхности. С одной стороны, такой долбяк не будет иметь погрешности, с другой – потребуется изменение технологии изготовления для получения поверхности новой формы. В результате получим перспективный инструмент 3 и 4, у которого передний и задний углы могут быть существенно увеличены.

#### **Библиографический список:**

1. Проектирование долбяков. Гречишников В.А., Седов Б.Е., Романов В.Б. – М.: ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», 2014. – 171 с.: ил.

## САПР ФАСОННЫХ ЗАТЫЛОВАННЫХ ФРЕЗ С 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕМ И 3D-ПЕЧАТЬЮ

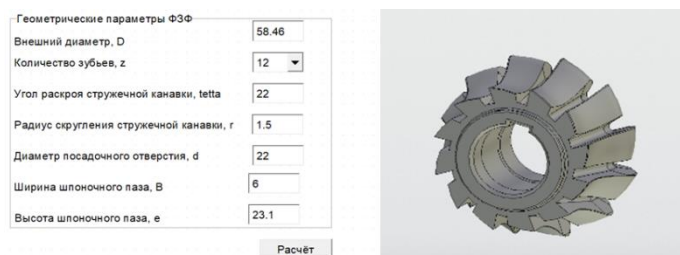
*Макушев А.И.*

*Научный руководитель: Петухов Ю.Е. – д.т.н., профессор*

*Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «СТАНКИН»*

Скорость оценки работоспособности фасонных затылованных фрез является одним из важнейших факторов при их проектировании и изготовлении. Процесс проектирования такого рода специального инструмента требует больших временных и финансовых затрат. Внедрение систем автоматизированного проектирования (САПР), технологий 3D-моделирования и аддитивных технологий (3D-печати) позволяет использовать новые возможности для разработки, тестирования и оптимизации конструкций фасонных затылованных фрез из быстрорежущей стали [1].

Преимуществом САПР является в возможность параметрического моделирования (рис.1): изменение одного из параметров (например, количества зубьев) автоматически ведет к пересчету всей модели, что существенно ускоряет процесс создания сложных параметрических моделей. САПР предоставляет возможность проведения различных симуляций и исследований, таких как тепловые или прочностные расчеты. Это помогает оценить надежность и производительность фрезы еще на стадии проектирования, что снижает риск ошибок и улучшает качество получаемой детали.



**Рис. 1. Параметрическая трехмерная цифровая модель фасонной затылованной фрезы из быстрорежущей стали с диалогом ввода исходных данных САПР**

Изготовление фасонной затылованной фрезы из быстрорежущей стали (БРС) стандартным способом требует высокой квалификации персонала и достаточно сложного оборудования. Аддитивные технологии позволяют сделать это следующими способами:

- селективное лазерное сплавление (SLS или SLM) – метод, при котором металлический порошок послойно спекается с помощью мощного лазерного луча в заранее заданной области. В результате формируется цельнометаллическая фреза с высокой прочностью и минимальной пористостью;
- экструзионная печать (FDM, FFF, FGF) – через движущееся по заданной траектории сопло выдавливается расплав полимера, который, застывая, послойно наращивает деталь;
- стереолитография (SLA, DLP) – послойное отверждение в ёмкости жидкой фотополимерной смолы. В качестве отвердителя используется ультрафиолетовая засветка лазерным лучом (SLA) или светодиодной матрицей (DLP).

Производство металлорежущего инструмента из БРС сегодня в основном осуществляется традиционными методами, но аддитивные технологии отлично себя показывают при создании прототипов и в мелкосерийном производстве сложных инструментов фасонного профиля. Применение технологий 3D-печати способствует снижению материальных затрат и ускорению процесса создания прототипа. Это играет важную роль для развития в целом отечественного производства.

### **Библиографический список:**

1. Петухов Ю.Е. Формообразование численными методами. – М.: «Янус-К», 2004. – 200 с.

## МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СБОРНОЙ ТОРЦОВО-ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФРЕЗЫ СО СМЕННЫМИ МНОГОГРАННЫМИ ПЛАСТИНАМИ

*Нагиев Т.Д.*

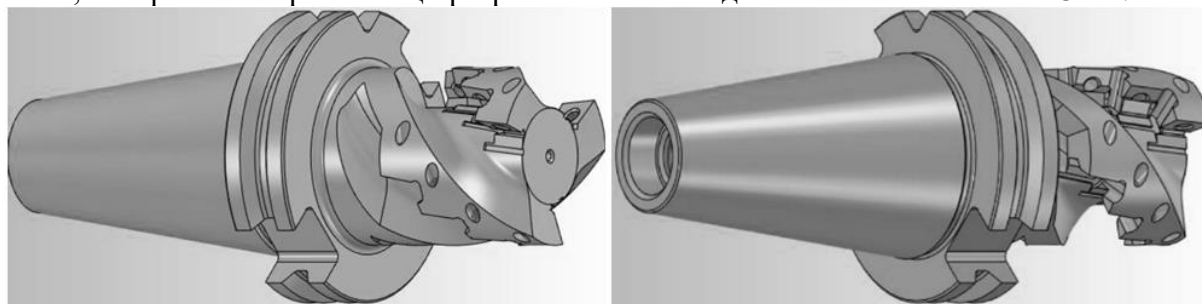
*Научный руководитель: Домнин П.В. – д.т.н., заведующий кафедрой  
Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ  
«СТАНКИН»*

Параметризация трехмерных моделей сложного режущего инструмента является важным элементом САПР для инструментальной промышленности. Она позволяет упростить и ускорить работу по созданию и производству ряда режущих инструментов однотипной конструкции с различными параметрами. С помощью параметризации моделей режущих инструментов становится проще подготавливать управляющие программы для станков с ЧПУ и проводить прочностные расчеты при проектировании новой конструкции инструмента [1].

В процессе работы были проанализированы различные конструкции корпусов хвостовых сборных торцово-цилиндрических фрез от производителей режущего инструмента, представленных на рынке. Были определены ключевые конструктивные элементы, определяющие работоспособность фрезы [2, 3].

В связи с тем, что в свободном доступе отсутствуют методики проектирования сборных торцово-цилиндрических фрез со сменными многогранными пластинами, была разработана собственная методика проектирования такого инструмента, основанная на известных алгоритмах проектирования сборного твердосплавного инструмента с применением способов параметризации трехмерных моделей режущих инструментов с СМП. Разработанная методика создана с учетом особенностей расположения сменных режущих пластин в корпусе инструмента, что позволяет на ее основе спроектировать параметрическую модель корпуса фрезы, готовую к последующей интеграции в модуль САПР.

На рис. 1 продемонстрирован результат проектирования трехмерной параметрической модели сборной торцово-цилиндрической фрезы со сменными многогранными пластинами, построенной при помощи разработанной методики в системе T-FLEX CAD.



**Рис. 1. Результат проектирования трехмерной параметрической модели сборной торцово-цилиндрической фрезы со сменными многогранными пластинами**

### ***Библиографический список:***

1. Грановский Г.И. Автоматизация проектирования режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 2010. – 256 с.
2. Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машгиз, 1963. – 952с.
3. Г.Л. Хаеа, В.М. Гах, К.Г. Громаков и др.; Под общ. ред. Г.Л. Хаеа / Сборный твердосплавный инструмент. – М.: Машиностроение, 1989. – 256с.

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И 3D-ФОРМИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ ГИПОЦИКЛОИДНОГО ПРОФИЛЯ

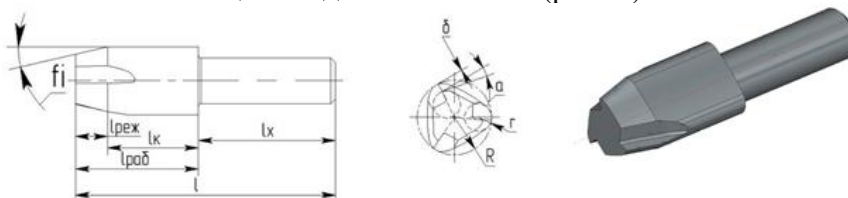
*Низовцева П.А.*

*Научный руководитель: Петухов Ю.Е. – д.т.н., профессор*

*Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «СТАНКИН»*

Ресурс теплообменных аппаратов во многом определяется точностью изготовления глубоких каналов, для чего можно эффективно использовать инструмент с гипоциклоидным профилем. Благодаря гипоциклоидной форме снижаются пиковые нагрузки, инструмент оказывается более износостойким и позволяет получать высокое качество поверхности. Но чтобы правильно применять такой инструмент, нужно иметь его математическое описание, которое учитывает форму и особенности работы.

Когда обрабатывают глубокие отверстия в деталях реакторов, важна не только точность, но и состояние поверхности. Для этого применяют инструменты, которые одновременно режут и пластически деформируют материал. Они создают сжимающие напряжения, продлевающие срок службы деталей в агрессивных средах. В работе предлагается инструмент из твердого сплава с гипоциклоидным сечением (рис. 1).



**Рис. 1. Осевой инструмент из твердого сплава с гипоциклоидным сечением на режущей и рабочей части, имеющий неизменную кривизну в вершинах**

Профиль в сечении, перпендикулярном оси, выполнен в виде гипоциклоиды с тремя вершинами. В полярных координатах его можно описать с помощью системы уравнений (1).

$$\begin{cases} \theta = \arctg \frac{\frac{a}{3}\sin t - \left(R - \frac{a}{3}\right)\sin \frac{t}{2}}{\frac{a}{3}\cos t + \left(R - \frac{a}{3}\right)\cos \frac{t}{2}} \\ \rho = \sqrt{R^2 - \frac{2}{3}Ra + \frac{2}{9}a^2 + \frac{2}{3}a \left(R - \frac{a}{3}\right) \cos \frac{3t}{2}} \end{cases} \quad (1)$$

Использованы величины: угол  $\theta$  ( $0 \dots 2\pi$ ) и радиус  $\rho$  (в диапазоне от  $r$  до  $R$ ). Величина  $r$  – это радиус окружности, которая вписана в профиль гипоциклоиды;  $R$  – радиус окружности, описанной вокруг неё (через вершины). Дополнительный параметр  $t$  принимает значения от  $0$  до  $4\pi$ , а параметр  $a$  служит для настройки формы гипоциклоиды в зависимости от  $r$  и  $R$ .

Методологическую основу исследования составляют методы аналитической геометрии и численного моделирования, описанные в работе [1].

Математическое описание и 3D-модель инструмента с гипоциклоидным сечением позволяют повысить точность обработки, увеличить стойкость самого инструмента и сократить затраты на его производство и эксплуатацию, что соответствует актуальной задаче развития современных технологий.

### **Библиографический список:**

1. Петухов Ю.Е. Формообразование численными методами. – М.: «Янус-К», 2004. – 200 с.

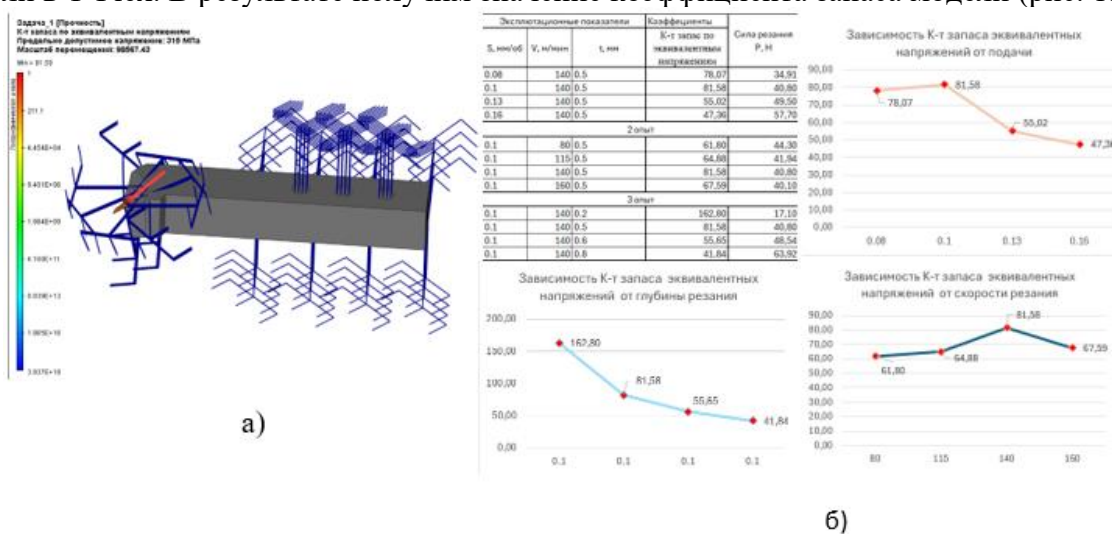
## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОХОДНОГО РЕЗЦА С СМП, ОСНАЩЕННОГО СТМ, В СРЕДЕ T-FLEX CAD

Пономарева А.А.

Научный руководитель: Романов В.Б. – к.т.н., доцент

Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «СТАНКИН»

При назначении режимов резания для проходного упорного резца с СМП со вставками из СТМ закладывают запас прочности инструмента, учитывая его стойкость. Проанализируем конструкцию резца, изменив эксплуатационные режимы резания, чтобы проверить возможность увеличения значений режимов резания. При наличии параметрической 3D-модели резца эксперимент можно провести численно. Для этого по [1] выбираем рекомендуемые значения скорости резания  $v$  (м/мин), подачи  $S$  (мм/об) и силы резания  $P$  (Н), которые в дальнейшем используем при проведении анализа напряженно-деформированного состояния 3D-модели в T-Flex. В результате получим значение коэффициента запаса модели (рис. 1а).



**Рис. 1. Исследование 3D модели резца в среде T-Flex: а) анализ напряженно-деформированного состояния 3D-модели в среде T-Flex Cad, б) результаты исследования**

При увеличении подачи сила резания растет с 34,91 до 57,70 Н, но коэффициент запаса остается высоким, при наименьшей силе 47,36. Глубина резания влияет на силу значительно: с 17,1 Н до 63,9 Н, коэффициент запаса снижается до 41,84. Скорость резания влияет на силу слабо (изменение 4Н). Аномалия: при скорости 140 м/мин запас резко вырастает до 81,58 (при 115 и 160 м/мин – 65-68). Что может указывать на выход системы из резонанса или переход в область более благоприятного стружкообразования.

Таким образом, резец имеет большой запас прочности (минимум 41,84, что выше норм 1,5-3,0). Опасный режим:  $S=0,1$  мм/об,  $V=140$  м/мин,  $t=0,8$  мм. Скорость 140 м/мин более благоприятная. Лучший режим: подача 0,1мм/об, скорость 140 м/мин, глубина 0,2 мм (рис. 1б).

### Библиографический список:

1. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник. Под ред. д-ра техн. наук проф. А.Н. Резникова. М., «Машиностроение», 1977. – 391 с.

## АНАЛИЗ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРУГЛОЙ ПРОТЯЖКИ ГРУППОВОЙ СХЕМЫ РЕЗАНИЯ

Соколова К.В.

Научный руководитель: Романов В.Б. – к.т.н., доцент

Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «СТАНКИН»

Целью представленной работы являлось исследование инструментов для протягивания отверстий. В качестве объекта исследования выбрана протяжка групповой схемы резания. Данный инструмент является сложным в проектировании. Многие параметры допускают различные значения. Особенность протяжки групповой схемы резания состоит в том, что ее зубцы разделяются на четыре группы: черновые или обдирочные, переходные, чистовые и калибрующие [1-3].

```

1. Исходные данные
Деталь диаметром  $d=36^{0,05}$  (H9), длина  $l=85$  мм, материал сталь 45, 197НВ,  $\sigma_v=598$  МПа,
группа "сталь конструкционная, углеродистая и легированная", подгруппа "сталь
углеродистая качественная". Шероховатость обработанной поверхности Ra 1,6 мкм.
СОЖ - эмульсия.
 $d := 36$  мм   $l := 85$  мм   $\frac{l}{d} = 2.361$    $\sigma_v := 598$  МПа   $HB := 197$ 

2. Выбор материала протяжки и определение припуска на протягивание.
Из условия заданного типа производства - крупносерийное, выбираем материал протяжки -
быстрорежущая сталь Р9 с приваренным хвостовиком из стали 40Х. Хвостовик принимаем
цилиндрический сварной для быстросменного патрона по табл. 17 диаметром  $D1=32$  мм и
наименьшей площадью поперечного сечения  $F_x=490,9$  мм2.
 $F_x := 490.9$  мм2
Припуск на протягивание:
 $A_0 := 1.3$  мм
Допуск, учитывающий уменьшение диаметра сверла при переточках вследствие наличия
обратного конуса по диаметру
 $ak := 0.2$  мм
Наименьший диаметр предварительно обработанного сверлом отверстия под следующее
протягивание
 $D0 := d - A_0 = 34.7$    $D0 = 34.7$  мм
Номинальный диаметр сверла для предварительной обработки отверстия под следующее
протягивание
 $d_{ин} := D0 + ak$    $d_{ин} = 34.9$  мм   $d_{ин} := 35$  мм
допуск (нижнее отклонение) на диаметр сверла
 $\Delta := -0.062$  мм

```

Рис. 1. Фрагмент расчета протяжки

Методика проектирования подобной протяжки описана в [1]. На ее основе был разработан алгоритм, заложенный в основу расчета в программе Mathcad, фрагмент которого показан на рис. 1. По данным из расчета сформирован рабочий чертеж в программе T-Flex Cad. Поскольку многие параметры инструмента допускают в расчете выбор вариантов значений, то в дальнейшей работе планируется выход на оптимизацию конструктивных элементов протяжки.

### Библиографический список:

1. Конструирование протяжек: производственно-практическое издание / А.В. Щеголев. – 2-е изд., испр. и доп. - М.; Л.: Машгиз, 1960. – 352 с.: ил.
2. Протяжки для обработки отверстий / Д. К. Маргулис, М. М. Тверской, В. Н. Ашихмин и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 229 с., ил.
3. Проектирование сборных и цельных режущих инструментов: учеб. пособие / В. А. Гречишников, В. А. Кузнецов, П. М. Пивкин и др. – Москва: «Янус-К», 2025. – 300 с.: ил.

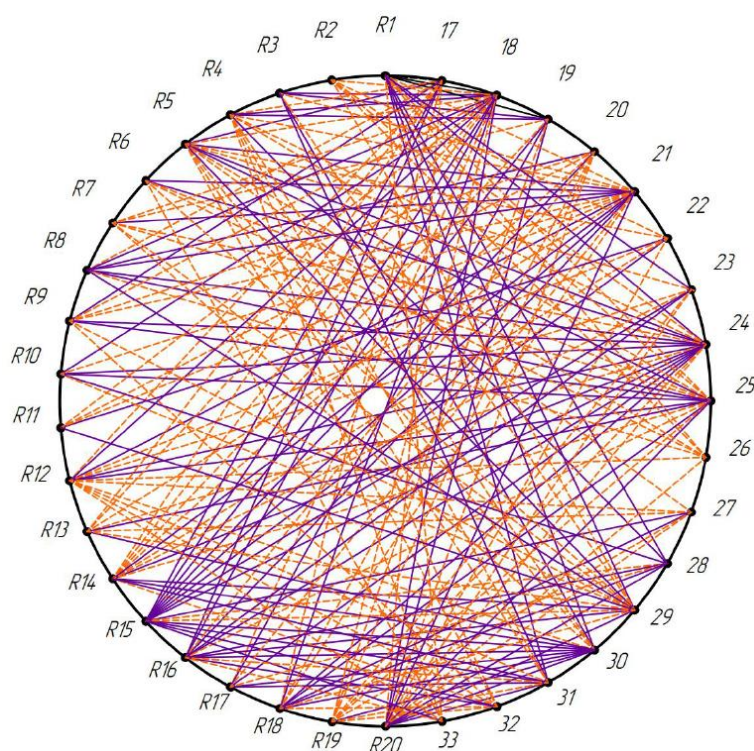
## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДА ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ДИСКОВОЙ МОДУЛЬНОЙ ФРЕЗОЙ

*Хафизулина Д.Р.*

*Научный руководитель: Романов В.Б. – к.т.н., доцент*

*Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «СТАНКИН»*

В рамках выпускной квалификационной работы представлены результаты системного анализа метода обработки цилиндрических прямозубых колес дисковой модульной фрезой по методу копирования. Для структурного синтеза применён морфологический метод. Разработанные модели составляют теоретическую основу для последующего проектирования дисковой модульной фрезы (рис. 1).



**Рис. 1. Круговой граф взаимосвязей между целями развития и характеристиками инструмента**

Системный анализ позволяет выявить взаимосвязи между характеристиками инструмента и технологическими целями, а морфологический синтез – обоснованно выбрать наилучшую структуру метода. В результате проводится осознанный сбор новой конструкции дисковой модульной фрезы из проверенных типовых решений и на выходе получается инструмент для целенаправленного создания нового прототипа под конкретные условия обработки с минимальными затратами времени и ресурсов [1].

### **Библиографический список:**

1. Системный анализ и моделирование методов обработки: монография / В.А. Кузнецов – Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 293с. ISBN 978-3-659-39444-7.

## РАЗРАБОТКА САПР ЧЕРВЯЧНОЙ МОДУЛЬНОЙ ФРЕЗЫ

*Чернявский Г.И.*

*Научный руководитель: Домнин П.В. – д.т.н., зав. кафедрой*

*Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «СТАНКИН»*

Червячная модульная фреза является распространенным инструментом для нарезания зубьев цилиндрических зубчатых колес. Высокие требования к точности профиля, стойкости режущих кромок и технологичности изготовления обуславливают актуальность анализа существующих конструкций и разработки цифровых средств проектирования данного инструмента [1, 2].

В рамках работы создана параметрическая модель червячной фрезы в T-Flex CAD. Расчетная подсистема на Python принимает исходные параметры, сверяет их с базами данных и автоматически формирует файл для построения 3D-модели (рис. 1). Это снижает трудоемкость, исключает ошибки ручного ввода и унифицирует расчеты на всех этапах проектирования.

Основные параметры	
Модуль, m (мм):	5
Число зубьев фрезы, z:	10
Наружный диаметр, d <sub>вн</sub> (мм):	100
Задний угол, $\alpha_{\text{в0}}$ (°):	10
Передний угол, $\gamma_{\text{вн}}$ (°):	10
<input checked="" type="checkbox"/> Рассчитать дополнительные параметры	
Проверить базу    Рассчитать    Сохранить в базу	

Дополнительные параметры			
Длина фрезы, L (мм):	100	Диаметр отверстия, d (мм):	32
Диаметр буртика, d1 (мм):	40	Длина l (мм):	10
Длина l2 (мм):	25	Радиус rk (мм):	10
Фаска f (мм):	1	Фаска f1 (мм):	0.5
Высота шпоночного пазы c1 (мм):	37.6	Ширина шпоночного пазы a (мм):	8.08
Радиус r (мм):	1.2	Число зубьев колеса z:	20
Угол theta (°):	25	Шаг P20:	3000

**Рис. 1. Фрагменты расчетной подсистемы**

Модель полностью параметризована: тело фрезы, шпоночный паз, винтовые канавки и профиль зубьев перестраиваются при изменении данных. Это позволяет быстро получать семейства инструментов, проверять профиль на затылование, имитировать резание, экспортировать модель для ЧПУ или 3D печати, а также автоматически выпускать чертежи.

### **Библиографический список:**

1. Режущий инструмент: учебник для вузов / под общ. ред. С.В. Кирсанова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2014. – 520с.
2. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов: учеб. пособие для вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / Под общ. ред. Г.Н. Кирсанова – М.: Машиностроение, 1986. – 288с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОНИЧЕСКОЙ КОНЦЕВОЙ ФРЕЗЫ: МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНТРОЛЬ

*Язев А.М.*

*Научный руководитель: Пивкин П.М. – к.т.н., доцент*

*Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ «СТАНКИН»*

Коническая концевая фреза представляет собой режущий инструмент, исходная инструментальная поверхность которого выполнена в виде усеченного конуса. Рабочая часть инструмента ограничена конической образующей с углом половины наклона конуса и сферическим торцом [1]. Конические концевые фрезы применяются преимущественно для пятиосевой обработки сложнопрофильных поверхностей: лопаток турбин [2], импеллеров [3], пресс-форм и штампов. Диаметр режущей части конической фрезы изменяется вдоль ее длины за счет конической образующей, что определяет особенности кинематики резания.

Особенностью конической концевой фрезы является то, что при малых углах наклона конической образующей, диаметр сферического торца может составлять менее 3 мм, что соответствует диапазону, характерному для микрофрез [4]. Основопологающим параметром является угол наклона винтовой линии конической фрезы [5]. В зависимости от вида спирали, стружечная канавка может характеризоваться как постоянным, так и переменным углом наклона винтовой линии. Контроль геометрических параметров и диагностика состояния конических концевых фрез осложняется тем, что радиус, ширина ленточки задней поверхности и другие линейные размеры изменяются вдоль оси инструмента, что, в свою очередь, требует применения особых подходов, отличающихся от измерения стандартных концевых фрез.

Целью данной работы является разработка конструкции конической концевой фрезы с усовершенствованными геометрическими параметрами и формой стружечной канавки, обеспечивающими постоянство геометрических параметров вдоль режущей части инструмента. Реализация предложенных конструктивных решений направлена на повышение стойкости инструмента и улучшение качества обработанной поверхности при многоосевой обработке сложнопрофильных деталей. Для валидации результатов предложен метод контроля геометрических параметров конических концевых фрез, как с переменным, так и с постоянным углом наклона винтовой линии.

### *Библиографический список:*

1. Pivkin P. M. [и др.] Grinding of Helical Surfaces on End Mills: Monitoring by Means of Optimal Tolerances // Russian Engineering Research, 2024. Т. 44, № 11. С. 1613-1616.
2. Pivkin P. M. [и др.] A new algorithm for recreating the technological process of high speed multicoordinate processing based on improving key indicators of image recognition. Strasbourg, France: SPIE, 2024. С. 70.
3. Songlin Ding, Yang D. C. H., Zhonglin Han. Flow line machining of turbine blades. Chengdu, China: IEEE, 2004. С. 140-145.
4. Wojciechowski S. Estimation of Minimum Uncut Chip Thickness during Precision and Micro-Machining Processes of Various Materials – A Critical Review // Materials, 2021. Т. 15, № 1. С. 59.
5. Grechishnikov V. A. [и др.] Preproduction of Conical End Mills on a Five Coordinate CNC Grinding Machine: Theoretical Analysis // Russian Engineering Research, 2025. Т. 45, №5. С. 656-661.

## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ РЕГУЛИРУЕМОЙ РАСТОЧНОЙ ГОЛОВКИ ПО ТИПУ МИКРОБОР

*Ярошенко Д.*

*Научный руководитель: Домнин П.В., д.т.н., заведующий кафедрой  
Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования МГТУ  
«СТАНКИН»*

Повышение точности обработки – основная тенденция современного машиностроения, а высокоточная обработка отверстий (квалитеты Н6, Н7) является одним из наиболее ответственных технологических процессов. Надежным инструментом для таких операций выступает регулируемая расточная головка типа микробор – прецизионный инструмент, встраиваемый в сквозные и глухие отверстия расточных оправок для чистовой обработки [1-4].

В результате анализа было установлено, что технология микробор была изобретена в конце прошлого века и могла изрядно устареть. В открытых источниках и каталогах (например ВНИИ Инструмент, ООО «ВИНТ», Sandvik Coromant и др.) показаны только конечные конструкции без подробного описания геометрии и кинематических схем механизмов настройки [5].

В ходе проведения анализа конструкции была создана параметрическая трехмерная модель регулируемой расточной головки в среде T-FLEX. Возможность параметрического построения модели позволяет модифицировать ее в зависимости от выбранного типа резца-вставки менять габариты конструкции, что позволяет визуально оценить их различия.

Принцип работы основан на процессе микронастройки режущих элементов относительно оси шпинделя реализуемой путем автоматического устранения зазоров в резьбовых и торцовых сопряжениях с последующей фиксацией взаимодействующих элементов от смещения при нагрузке. Такое решение необходимо для получения высокой точности диаметра обработки прецизионных операций.

### ***Библиографический список:***

1. Справочник конструктора-инструментальщика: Под общ. ред. В.И. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1994. – 560 с., ил. – (Библиотека конструктора)
2. Патент СССР №1558562. Микробор / Шаги-Ахмедов Д.Г., Куцевол О.В. Заявл. 07.04.1988 Оpubл. 23.04.1990. Бюл. №15.
3. Инструментальные системы машиностроительного производства: учебное пособие /А.Р. Маслов, Е.Г. Тивирев. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022. – 89, [3] с.: ил.
4. Долматовский Г.А. Справочник технолога по механической обработке металлов. 3-е издание, переработанное. – Москва: Машгиз, 1962 г., 1258 с.
5. Патент РФ №2399462. Расточная головка / Украженко К.А., Украженко О.К. Заявл. 06.04.2009. Оpubл. 20.09.2010. Бюл. №2

### Секция 3

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАЗРАБОТКИ ОПЕРАЦИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ МОДЕЛИ НА 3D ПРИНТЕРЕ

*Гражданкин Л.Г.*

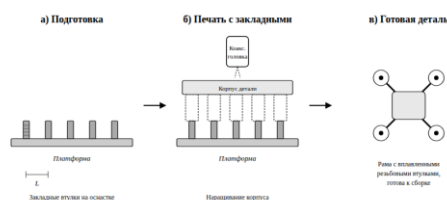
*Научный руководитель: Хайбуллов К.А. – к.т.н., доцент.*

*Кафедра технологии машиностроения ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»*

Аддитивное производство методом FDM/FFF широко применяется для изготовления корпусных деталей беспилотных летательных аппаратов. При малосерийном производстве функциональных корпусов возникают две системные проблемы [1]. Первая – невозможность получения надежных резьбовых соединений в пластике: при вибрационных нагрузках резьба в FDM-детали быстро разрушается. Вторая – отсутствие чистых базовых поверхностей для механической обработки: точность аддитивной поверхности (14-й квалитет, Ra 3,2-6,3 мкм) недостаточна для классического базирования заготовки на станке с ЧПУ [2].

Существующие методы внедрения закладных втулок (термическая запрессовка, вклеивание) решают только задачу крепежа, являются ручными операциями постобработки и ограничены кинематикой 3-осных принтеров.

В работе предложен интегрированный технологический подход, объединяющий закладные элементы и коаксиальную печатающую головку в единый процесс. Металлические втулки с накаткой устанавливаются на унифицированную платформу-оснастку по расчётной схеме, после чего коаксиальная головка формирует локальные зоны построения («бочонки») вокруг каждой втулки. Затем в стандартном режиме FDM наращивается основной корпус детали. Втулки одновременно служат резьбовыми крепёжными элементами и чистыми технологическими базами 8-10 квалитета. Ключевое преимущество коаксиальной схемы, заимствованное из технологии лазерной наплавки [3], – независимость качества нанесения материала от направления подхода головки.



**Рис. 1. Технологическая последовательность изготовления рамы БПЛА с применением закладных элементов и коаксиальной печатающей головки**

Минимальное межосевое расстояние  $L$  между закладными на платформе определяется условием свободного прохода головки и рассчитывается по формуле  $L_{\min} = 2 \cdot (R_g + \Delta + d/2)$ , где  $R_g$  – радиус головки,  $\Delta$  – зазор безопасности,  $d$  – диаметр втулки. Для рамы квадрокоптера 250 мм при  $D_g = 40$  мм и  $\Delta = 5$  мм минимальное расстояние составляет 58 мм, что позволяет изготовить все 16 моторных креплений на платформе 234×234 мм за один цикл.

Предложенный подход решает обе системные проблемы в едином технологическом цикле, без отдельных ручных операций. Дополнительно достигаются унификация оснастки для всей номенклатуры деталей, снижение требований к квалификации оператора и сокращение штучно-калькуляционного времени.

#### **Библиографический список:**

1. Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015.
2. Маталин А.А. Технология машиностроения. – СПб.: Лань, 2010. – 512 с.
3. Arrizubieta J.I. et al. Nozzle Designs in Powder-Based Direct Laser Deposition: A Review // Int. J. Precis. Eng. Manuf. – 2022.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ПРОХОДОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

*Залипаева Е.Ю.*

*Научный руководитель: Вороненко В.П. – д.т.н., профессор  
Кафедра технологии машиностроения МГТУ «СТАНКИН»*

Современный уровень машиностроительного производства всецело определяется состоянием технологической базы предприятия и применяемыми прогрессивными методами обработки, которые непосредственно влияют на конкурентоспособность выпускаемой продукции. К числу наиболее распространенных процессов механообработки относится токарная обработка валов [1]. Основными тенденциями ее развития являются следующие [2, 3]:

1. Реализация технологических процессов с обработкой за один установ.
2. Настройка режимов резания (скорость, подача и глубина резания) для достижения максимальной производительности и требуемого качества при минимизации затрат на изготовление.
3. Применение оптимизированных технологий по времени изготовления изделий и затрат энергии.
4. Применение CAD/CAM-систем для моделирования технологических процессов и сокращение времени на подготовку производственной документации.

Целью исследования является повышение эффективности токарной обработки ступенчатых валов в многономенклатурном производстве на станках с ЧПУ путем оптимизации оперативного времени. Задачи, решаемые в работе:

5. Исследование способов сокращения времени обработки ступенчатых валов без потери качества и обеспечения требуемой стойкости режущих инструментов.
6. Рассмотрение возможных схем обработки ступенчатых валов в многономенклатурном производстве.
7. Определение целевой функции оптимизации оперативного времени.
8. Разработка алгоритмов оптимизации оперативных времен для различных схем обработки валов.
9. Проведение компьютерного моделирования для выбора оптимальной схемы обработки ступенчатых валов и режимов обработки.
10. Разработка рекомендаций по повышению эффективности токарной обработки на примере изготовления валов в многономенклатурном производстве.

В работе разработан алгоритм по оптимизации траектории движения режущего инструмента (РИ), формирующего траекторию рабочих и холостых ходов РИ при многопроходной обработке ступенчатого вала. Выведено уравнение для определения оптимального значения подачи и глубины резания, обеспечивающих минимальное оперативное время обработки. На основании этих режимов рассчитывается рациональное число проходов.

### **Библиографический список:**

1. Вороненко В.П., Кушнир А.А., Определение оптимального оперативного времени при контурной обработке валов на токарных станках с ЧПУ // Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 4 (71). С. 86-93.
2. Должиков В.П. Разработка технологических процессов механообработки в мелкосерийном производстве. Учеб. пособие, 3-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 328 с.
3. Хворов И.А., Тимирязев В.А., Каймин В.Г., Дудко С.В. Повышение производительности токарных обрабатывающих центров за счет кластеризации обрабатываемых деталей в условиях мелкосерийного производства / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. №3. С. 250-261.

## АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДЕЛЬТА-МЕХАНИЗМА FDM-ПРИНТЕРА И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЕГО КОНСТРУКЦИИ

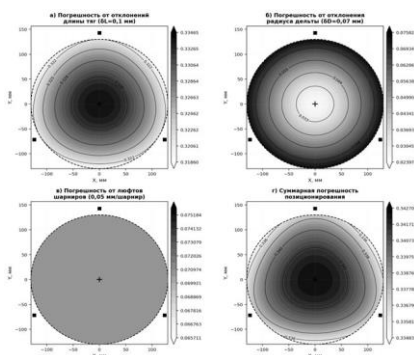
*Карасёв Н.В.*

*Научный руководитель: Захаров О.В. – д.т.н., профессор*

*Кафедра технология машиностроения ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»*

FDM-принтеры с дельта-кинематикой обеспечивают высокие скорости печати за счет малой массы эффектора [3], однако точность позиционирования определяется кинематическими погрешностями, обусловленными отклонениями геометрических параметров механизма [1]. Цель работы – их анализ и разработка рекомендаций по совершенствованию конструкции на примере принтера FLSUN Super Racer.

Построена 3D-модель принтера в SolidWorks и аналитическая модель кинематики [2]: положение эффектора  $(x, y, z)$  определяется из системы  $(x - A_{ix})^2 + (y - A_{iy})^2 + (z - z_i)^2 = L^2$ ,  $i = 1, 2, 3$ . Параметры:  $R = 151,4$  мм,  $L = 345$  мм,  $r = 30$  мм, диаметр рабочей зоны 260 мм. Методом численного анализа чувствительности оценено влияние отклонений длины тяг ( $\delta L = 0,1$  мм), радиуса дельты ( $\delta D = 0,07$  мм) и люфтов шарниров ( $0,05$  мм) на положение эффектора (рис. 1).



**Рис. 1. Карты распределения погрешностей позиционирования эффектора в рабочей области ( $Z = 150$  мм): а) от отклонений длины тяг; б) от отклонения радиуса дельты; в) от люфтов шарниров; г) суммарная погрешность**

Доминирующей составляющей является отклонение длины тяг –  $0,319-0,334$  мм (более 90 % суммарной погрешности). Вклад радиуса дельты –  $0,026-0,074$  мм с трёхлучевой симметрией; вклад люфтов шарниров  $\sim 0,07$  мм, практически постоянен. Суммарная погрешность –  $0,335-0,342$  мм, возрастает от центра к периферии и превышает допуск  $0,1$  мм для качественной FDM-печати.

Предложены рекомендации: ужесточение допуска на длину тяг с  $0,1$  до  $0,03$  мм (снижает основную составляющую в 3,3 раза); увеличение  $L$  с  $345$  до  $400$  мм ( $-18\%$ ); прецизионные шарниры с предварительным натягом ( $-2,5$  раза); оптимизация  $R/L$  до  $0,38-0,42$ ; программная компенсация с расширением калибровки до 10-13 точек. Совокупное применение мер снижает суммарную погрешность до  $0,10-0,15$  мм, что сопоставимо с точностью декартовых принтеров.

### **Библиографический список:**

1. Захаров О.В., Сулейманова Ф.Д. Анализ погрешностей 3D принтера со схемой дельта // Актуальные проблемы в машиностроении. 2023. Т. 10. № 3-4. С. 57-62.
2. Захаров О.В. Исследование дельта-кинематики 3D-принтера // Высокие технологии в машиностроении: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Самара, 2021. С. 149-153.
3. Горьков, А. Н. Аддитивные технологии в машиностроении : учебное пособие / А. Н. Горьков, А. Г. Схиртладзе. – Пенза: ПензГТУ, 2021. – 184 с.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ  
АО «КОЛОМЕНСКИЙ ЗАВОД»**

*Коцарь Е.А.*

*Научный руководитель: Кириллов А.К. – к.т.н., доцент*

*Кафедра технологии машиностроения МГТУ «СТАНКИН»*

На АО «Коломенский завод» с целью достижения повышения производительности и качества обработки металлов резанием используют в основном жидкие смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС).

В работе выполнены экспериментальные исследования при точении стали 12Х18Н10Т (материал наконечника пускового трубопровода) твердосплавными пластинами ВК6. Обработка велась в трех условиях: всухую, с традиционной СОЖ и с полусинтетической водосмешиваемой СОЖ UNICOOL 20. Оценка деформации срезаемого слоя проводилась по коэффициенту продольного укорочения стружки  $K_L$  весовым методом. Дополнительно определялась стойкость инструмента в диапазоне скоростей резания 100-200 м/мин.

Установлено, что с увеличением скорости резания коэффициент  $K_L$  снижается, наиболее резко – в диапазоне 100-150 м/мин, что связано с тепловыделением и изменением условий пластической деформации. Применение UNICOOL 20 обеспечило наибольшее снижение  $K_L$  во всем диапазоне скоростей по сравнению с точением всухую и традиционной СОЖ, что свидетельствует об улучшении смазывания и охлаждения в зоне резания. Стойкость инструмента ВК6 при использовании UNICOOL 20 оказалась максимальной, особенно при скоростях 150-200 м/мин, благодаря эффективному теплоотводу и снижению сил трения.

Предложенный подход позволяет существенно увеличить период работы инструмента между переточками и повысить стабильность обработки, что особенно важно для автоматизированного производства АО «Коломенский завод».

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

*Крючкова В.А.*

*Научный руководитель: Хайбуллов К.А. – к.т.н., доцент.*

*Кафедра технологии машиностроения ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»*

Совершенствование методики разработки технологических процессов (ТП) сборки на основе параметрической модели является актуальной задачей в условиях быстро меняющейся номенклатуры изделий. Традиционные подходы к проектированию ТП сборки часто не учитывают взаимосвязь между конструктивными параметрами изделия, технологией сборки и производственной логистикой на ранних этапах проектирования, что приводит к увеличению цикла подготовки производства и возникновению дефектов при сборке [1]. Параметрическое моделирование (например, в T-FLEX CAD) позволяет формализовать не только геометрию, но и технологические атрибуты соединений (тип посадки, допуски, шероховатость), а также логистические характеристики (масса, габариты, требования к сохранности) [2]. Однако потенциал таких моделей для прямой генерации и оптимизации ТП сборки используется недостаточно.

На примере сборочного чертежа клапана проведён анализ критических посадок (скольжения Н7/f7, центрирующие Н7/h9, резьбовые с зазором) и выявлены деформации в паре «клапан-седло», возникающие при запрессовке с натягом. Показано, что остаточные напряжения в соединении седла с корпусом приводят к перекосу уплотнительной фаски и потере герметичности, особенно в агрессивных средах. Предложены конструкторско-технологические методы предотвращения деформаций: оптимизация натяга, температурная сборка (нагрев корпуса до 150-200°C, охлаждение седла в жидком азоте), контроль шероховатости (Ra 0,8-1,6) и притирка уплотнительных поверхностей [1]. Анализ уязвимых элементов клапана (шпиндель, резьба, уплотнительные фаски, войлочные кольца) позволил выявить логистические риски при транспортировке и хранении: вибрация вызывает повреждение фасок, влага – коррозию, пыль – абразивный износ. Разработаны меры защиты: транспортные заглушки, консервация смазкой, индивидуальная упаковка, фиксация подвижных элементов [3]. В результате построен алгоритм сборки клапана (блок-схема, включающая операции, контроль, логистику и документирование), идентифицированы «красные зоны» – неразрывные технологические цепочки (установка седла → притирка → контроль герметичности), определяющие минимальное время сборки. Таким образом, предложена формализованная методика, устанавливающая взаимосвязи между параметрами модели изделия, схемой сборки и логистическими критериями, что позволяет автоматизировать ТП сборки, сократить трудоёмкость подготовки производства и снизить риски дефектов [1, 2, 3].

### ***Библиографический список:***

1. Схиртладзе А.Г., Наконечный В.П. Технология сборки в машиностроении: учебное пособие. – Старый Оскол: ТНТ, 2017.
2. Хейфец А.В., Томилов А.Н., Логиновский А.А. Инженерная графика: параметрическое моделирование в T-FLEX: учебное пособие. – М.: ДМК Пресс, 2020.
3. Неруш Ю.М., Неруш А.Ю. Производственная логистика: учебник. – М.: Проспект, 2021.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММ ЧПУ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ

*Молоканов А.А.*

*Научный руководитель: Хайбуллов К.А. – к.т.н., доцент*

*Кафедра технологии машиностроения МГТУ «СТАНКИН»*

Существующие методики разработки ЧПУ-программ для корпусных деталей на многоцелевых станках (МЦС) неэффективны, недостаточно универсальны и не учитывают все возможности МЦС.

**Цель:** разработать усовершенствованную методику разработки ЧПУ-программ для корпусных деталей на МЦС.

**Научная новизна:** интегрированный и модульный подход, объединение этапов разработки, адаптивность к разным деталям и станкам; продвинутые алгоритмы, оптимизация траекторий, адаптивное управление резанием, автовыбор инструмента; учет динамики МЦС, минимизация вибраций, предотвращение столкновений.

**Основные этапы методики:**

1. Анализ геометрии детали.
2. Классификация и выбор стратегии обработки.
3. Генерация траекторий (универсальные шаблоны/алгоритмы).
4. Автоматический выбор/смена инструмента.
5. Оптимизация режимов резания.
6. Симуляция и верификация.
7. Генерация УП (постпроцессирование).

**Ожидаемые результаты:** повышение производительности, т.е. сокращение времени обработки; улучшение качества, более точные размеры и лучшая поверхность; снижение себестоимости, меньше брака, экономия ресурсов; расширение возможностей МЦС, более полное использование потенциала станков; сокращение времени разработки, автоматизация и стандартизация.

**Библиографический список:**

1. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. пособие / В.А. Скрябин, А.Г. Схиртладзе, А.Е. Зверовщиков, А.Н. Машков; ИНФРА-М. – Москва: ИНФРА-М, 2017. – 316 с.
2. Оголь, И.И. Создание управляющих программ с помощью САМ-систем [Текст]: учеб. пособие / И.И. Оголь. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 46 с.

## РОБОТИЗИРОВАННАЯ ЯЧЕЙКА С АКТИВНЫМ ВИБРОГАШЕНИЕМ ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ТОНКОСТЕННЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

*Петров Д.А.*

*Научный руководитель: Кутин А.А. — к.т.н., доц.*

*Кафедра технологии машиностроения МГТУ «СТАНКИН»*

В мелкосерийном машиностроении корпусные детали занимают значительную долю станочного времени. При чистовой обработке тонкостенных элементов возникают деформации и вибрации, что приводит к браку. Пассивные виброгасители требуют настройки под каждый типоразмер, поэтому при частой смене номенклатуры они малоэффективны.

Разработанная роботизированная ячейка совмещает в одном многоосевом манипуляторе функции загрузки и выгрузки заготовок и активного демпфирования. В её состав входят обрабатывающий центр с числовым программным управлением, манипулятор с датчиком сил и моментов, демпфирующий захват со сменными полиуретановыми вставками, акселерометры на шпинделе, промышленный контроллер и модульная базовая плита. С-образная компоновка позволяет сократить путь перемещения заготовки.

Во время чистовой обработки контроллер в реальном времени считывает виброускорение и усилие резания, регулирует прижимное усилие манипулятора и при необходимости корректирует подачу станка. Обмен данными между роботом и станком осуществляется по промышленным сетевым протоколам. Координаты точек контакта автоматически формируются из САД-модели детали, что заметно сокращает время переналадки под новый типоразмер.

Таблица 1.

*Ожидаемые технологические эффекты от внедрения роботизированной ячейки*

Показатель	До внедрения	После внедрения
Виброускорение при чистовом фрезеровании	20–60 м/с <sup>2</sup>	5–15 м/с <sup>2</sup>
Шероховатость Ra	2,5–3,2 мкм	0,8–1,6 мкм
Доля деталей с вибродефектами	15–25%	3–5%
Ручная доработка, мин/деталь	20–40	≤ 5
Время переналадки на новый типоразмер	2–4 ч	30–40 мин

Новизна решения заключается в совмещении функций транспортирования и виброгашения в одном манипуляторе, что снижает капитальные затраты. Параметрическая адаптация по САД-карте обеспечивает применимость к широкому классу коробчатых корпусных деталей без специализированной оснастки.

### ***Библиографический список:***

1. Altintas Y. Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. – 2nd ed. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2012. – 366 p.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАЗРАБОТКИ ОПЕРАЦИЙ СБОРКИ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

*Пурисов Д.А.*

*Научный руководитель: Хайбуллов К.А. – к.т.н., доцент.*

*Кафедра технологии машиностроения ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»*

Совершенствование методики разработки операций сборки для цилиндрических соединений с натягом остается актуальной задачей в условиях роста требований к точности и надежности узлов трения, подшипников скольжения и направляющих. Как отмечается в современной учебной литературе [1], традиционные подходы к проектированию сборочных операций часто опираются на аналитические решения для идеализированных геометрических форм и не учитывают комплексного влияния реальных погрешностей изготовления. Пренебрежение такими факторами, как овальность тонкостенных втулок и разброс размеров в пределах допуска, приводит к неопределенности при выборе между механической запрессовкой и термической сборкой, а также к риску превышения допустимых напряжений в материале или недостаточному натягу в соединении.

Отличительная особенность работы состоит в комплексном подходе к выявлению взаимосвязей между конструктивными параметрами соединяемых деталей (величина натяга, исходная овальность тонкостенной втулки, поле допуска отверстия корпуса в соответствии с ГОСТ 25347-2013 [2]) и ключевыми режимами выполнения сборочной операции (характер усилия запрессовки, требуемые температурные условия, допустимые временные ограничения при термической сборке).

В рамках исследования на примере типового соединения «стальной корпус – бронзовая втулка» разработана параметрическая конечно-элементная модель в среде ANSYS, возможности и функционал которой подробно описаны в специализированном справочном руководстве [3]. Предложенный подход отличается от классических методик тем, что позволяет в рамках единой расчетной среды учитывать: начальную некруглость отверстия втулки, моделируемую на этапе создания САД-геометрии; возможность локального перехода материала втулки в пластическое состояние; нестационарный тепловой анализ для прогнозирования «времени жизни» охлажденной детали при термической сборке.

На основе серии расчетов сформирован массив данных, позволяющий оценить степень влияния каждого из факторов на усилие запрессовки, неравномерность контактного давления и остаточную деформацию. Особое внимание уделено анализу чувствительности процесса сборки к разбросу размеров в пределах стандартных качеств точности, что имеет критическое значение для серийного производства.

Практическим результатом работы является формализованная методика, включающая алгоритм выбора рационального способа сборки и назначения режимов (температура охлаждения, допустимое время установки). Применение предложенной методики позволяет уже на этапе технологической подготовки производства обоснованно выбирать оборудование и минимизировать риски возникновения дефектов соединения, связанных с перекосом, задирами или потерей герметичности.

### **Библиографический список:**

1. Тимирязев В.А., Новиков В.Ю., Левчук В.И. Технология сборки машин и изготовления их деталей: учебное пособие. – М.: МГТУ «СТАНКИН», 2021. – 148 с.
2. ГОСТ 25347-2013. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Ряды допусков, предельные отклонения отверстий и валов. – М.: Стандартинформ, 2014.
3. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 640 с.

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПЕРЕВОДА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИМ-ТЕХНОЛОГИЮ В РАМКАХ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Смирнова А.Н.*

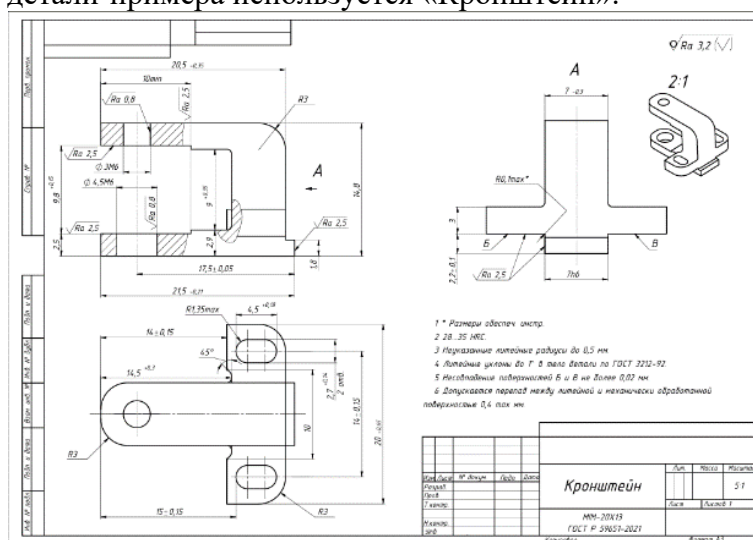
*Научный руководитель: Седых М.И. – к.т.н., доц.*

*Кафедра технологии машиностроения МГТУ «СТАНКИН»*

В современном машиностроении, особенно в условиях серийного производства сложных металлических деталей (масса до 100 г, тонкие стенки 0,3–0,5 мм, внутренние каналы), традиционные методы механической обработки сталкиваются с ограничениями: высокие отходы материала (40–80%), длительный цикл изготовления (5–60 мин/деталь) и высокая себестоимость для типичных компонентов, таких как кронштейны. Актуальность темы обусловлена необходимостью перехода на инновационные технологии для изделий около 5000 шт./год, где МИМ-технология (Metal Injection Molding) обеспечивает снижение затрат, точность  $\pm 0,3\text{--}0,5\%$  и автоматизированный процесс с минимальными отходами (5–10%).

Цель работы — разработка алгоритма перевода изготовления деталей с механической обработки на МИМ-технологии в рамках серийного производства. Основные задачи: анализ текущих техпроцессов и проблем механообработки; изучение этапов МИМ (смешивание фидстока, формование, дебиндеринг, спекание); сравнение технологий; предложение поэтапного алгоритма перехода.

В качестве детали-примера используется «Кронштейн».



**Рис. 1. Деталь-пример «Кронштейн»**

### **Библиографический список:**

1. Васильев А.И., Путьский С.В., Коротченко А.Ю., Анисимова А.Ю. МИМ-технология как способ изготовления точных деталей из металлопорошковых композиций, в том числе, титановых сплавов (обзор) // Труды ВИАМ. 2021. №3 (97). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mim-tehnologiya-kak-sposob-izgotovleniya-tochnyh-detaley-iz-metallporoshkovykh>
2. Возможности инжекционного формования металлических порошков (МИМ - metal injection molding) в серийном производстве медицинских изделий / В. А. Базлов, Т. З. Мамуладзе, К. Н. Харитонов [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2020. – № 2. – С. 64-68. – DOI 10.17513/mjprfi.13011. – EDN TFSZWA.

## Секция 4

### ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ НА ЯЗЫКЕ C/C++ ДЛЯ РАСЧЕТА ДЕТАЛЕЙ МАШИН В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

*Кузьмичев П.М.*

*Научный руководитель: Соболев А.Н. – к.т.н., доцент*

*Кафедра станков МГТУ «СТАНКИН»*

Современная подготовка инженеров-механиков требует активного внедрения средств автоматизированного проектирования. Однако большинство учебных пособий по расчету деталей машин ориентировано на устаревшие языки программирования (ФОРТРАН), что затрудняет интеграцию вычислительных модулей в современную образовательную среду. Язык C/C++ является промышленным стандартом в области машиностроительного программного обеспечения, обладает высокой производительностью, поддерживает объектно-ориентированное программирование и позволяет создавать удобные интерфейсы для пользователя. Разработка комплекса программ для расчета деталей машин на языке C/C++ обеспечивает преемственность учебных материалов и актуальность получаемых студентами навыков.

Целью работы является разработка и внедрение в учебный процесс кафедры станков комплекса программ для автоматизированного расчета деталей машин, реализованного на языке C/C++. Комплекс предназначен для использования в рамках дисциплины «Основы конструирования машин» и должен обеспечивать выполнение проекторочных и проверочных расчетов основных типов передач (цилиндрических, конических, планетарных, волновых, червячных, ременных, цепных), а также валов и подшипников качения. Программные модули сопровождаются схемами алгоритмов, описанием интерфейсов и примерами использования, что позволяет студентам не только применять готовые расчетные средства, но и модифицировать их под конкретные задачи.

Разработанный комплекс программ на языке C/C++ позволяет сократить время на выполнение рутинных вычислительных операций, повысить наглядность расчетов и сосредоточить внимание студентов на анализе полученных результатов, выборе оптимальных конструктивных параметров и обосновании проектных решений. Объектно-ориентированная архитектура комплекса обеспечивает возможность его дальнейшего расширения и интеграции с графическими библиотеками для визуализации результатов. Внедрение комплекса в учебный процесс способствует формированию у студентов современных компетенций в области автоматизированного проектирования и подготовке их к решению реальных инженерных задач.

#### **Библиографический список:**

1. Решетов Д.Н., Шувалов С.А., Дудко В.Д. и др. Расчет деталей машин на ЭВМ: Учеб. пособие для машиностроит. вузов / Под ред. Д.Н. Решетова и С.А. Шувалова. – М.: Высш. шк., 1985. – 368 с.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СБОРОЧНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ НА МОМЕНТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Наинг Наинг Зо

Научный руководитель: Седых М.И. – к.т.н., доцент

Кафедра технологии машиностроения МГТУ «СТАНКИН»

В современном машиностроении этап сборки является важнейшим фактором, определяющим успех конечного продукта и общую рентабельность производства. В промышленной практике общепризнанно, что до 70-80% общей эффективности и себестоимости производства определяется именно на стадии проектирования. За счет равномерного распределения рабочей нагрузки между рабочими местами, балансировка напрямую минимизирует время простоя, предотвращает возникновение «узких мест» и максимизирует общую пропускную способность [1]. Для балансировки предлагается метод ранжированного позиционного веса [2], и его алгоритм представлен на рисунке.

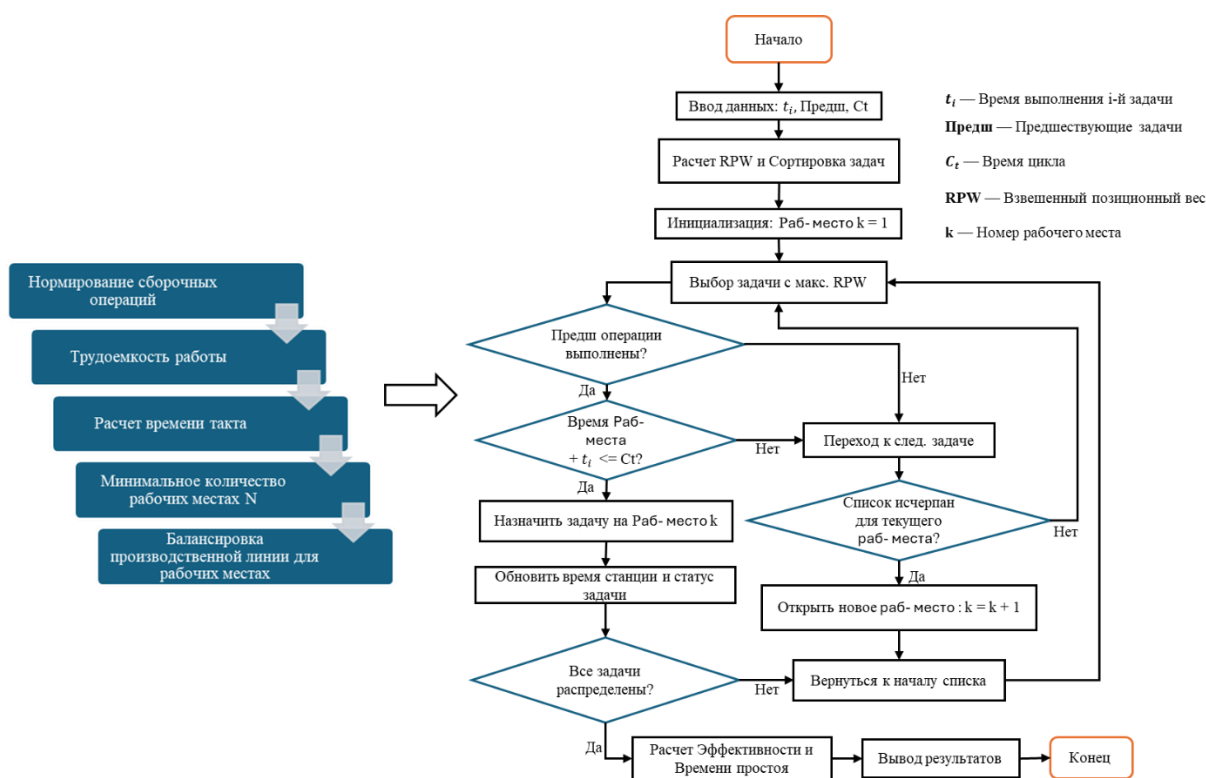


Рис. 1. Подход и блок-схема алгоритма оптимизации балансировки производственной линии

### Библиографический список:

1. Rekiek, B. Assembly line design. Université libre de Bruxelles, Faculté des sciences appliquées, Bruxelles. (2001).
2. Edokpia, Ralph O., and F.U. Owu. Assembly Line Re-Balancing Using Ranked Positional Weight Technique and Longest Operating Time Technique: A Comparative Analysis. Advanced Materials Research 824 (September 2013): 568-78. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.824.568>.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И АДДИТИВНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО РЕДУКТОРА

*Страхов А.М.*

*Научный руководитель: Соболев А.Н. – к.т.н., доцент  
Кафедра станков МГТУ «СТАНКИН»*

В современном инженерном образовании наблюдается переход от теоретического изучения дисциплин к практико-ориентированному обучению, интегрирующему цифровое моделирование и физическую реализацию проектов. В рамках курса «Теория механизмов и машин» (ТММ) в МГТУ «СТАНКИН» реализован студенческий проект по созданию действующего прототипа многоступенчатого цилиндрического зубчатого редуктора с применением аддитивных технологий. Особенностью работы стала ориентация на технологические аспекты проектирования под 3D-печать.

Объектом проектирования выступил открытый электромеханический привод с четырехступенчатым цилиндрическим редуктором орбитальной компоновки. Компактная конструкция размещена в двухплатном корпусе с креплением на лапах (габариты: 116×121×110 мм). Общее передаточное отношение 97,07 реализовано последовательным соединением зубчатых передач, что позволило детально изучить распределение кинематических параметров по ступеням. В качестве привода рассматривался двигатель DC RS795 (2760 об/мин) с возможностью ручного приведения механизма в действие демонстрационной рукояткой.

Проектирование включало кинематический и укрупненный силовой расчет. Суммарный КПД редуктора оценен в 0,9, мощность на выходе – до 6 Вт, что достаточно для учебных целей. Трехмерное параметрическое моделирование выполнено в T-FLEX CAD с использованием модуля «Зубчатые передачи». Разработаны зубчатые колеса всех ступеней, валы и корпусные элементы. Анимация сборочной модели позволила верифицировать кинематику и исключить пересечения компонентов.

Ключевым этапом стала адаптация цифровой модели под аддитивное производство. Изготовление прототипа выполнялось на принтере Bambu Lab A1 из PLA+ - материала, обеспечивающего стабильность геометрии при печати и достаточную прочность. При подготовке учитывались технологические ограничения: ориентация деталей для минимизации поддержек, компенсация усадки и увеличенные боковые зазоры в зацеплениях. Напечатаны зубчатые колеса, элементы валов и двухплатный корпус.

Сборка прототипа подтвердила его работоспособность в холостом режиме. Практика показала, что PLA+ является рациональным выбором для учебного прототипирования, позволяя наглядно изучать влияние допусков и геометрии на работу зубчатых передач. Интеграция САД-моделирования и аддитивных технологий в курсе ТММ формирует системное инженерное мышление и дает понимание полного цикла создания механических систем.

### **Библиографический список:**

1. Соболев, А.Н. Автоматизация кинематического и динамического анализа технологических машин / А. Н. Соболев, М. Г. Косов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2010. – № 2(10). – С. 85-89.
2. Бодягин А.В., Горелов А.В., Карбовский В.А., Морозова А.С., Орлянский В.Е., Печенкин В.М., Сачков А.В., Филонов Н.В., Якупова И.П. Атлас конструкций маломощных приводов: учеб. пособие. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2007. – 108 с.

Научное издание

**Материалы 1-го этапа студенческой научно-практической конференции  
«Автоматизация и информационные технологии (АИТ-2026)»**

**Институт производственных технологий и инжиниринга**

**Сборник тезисов докладов. Том 1**