

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

МАТЕРИАЛЫ

XVIII Всероссийской конференции с международным участием

**МАШИНОСТРОЕНИЕ: традиции и инновации
(МТИ – 2025)**

10 ноября – 14 ноября 2025 года

МОСКВА
2025

УДК 002:621

Организаторами XVIII Всероссийской конференции с международным участием «Машиностроение: традиции и инновации (МТИ – 2025)» являются:

ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Ассоциация «Цифровые инновации в машиностроении»

Союз Машиностроителей России

Материалы XVIII Всероссийской конференции с международным участием «Машиностроение: традиции и инновации (МТИ – 2025)».
Сборник докладов – М.: ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2025. – 424 с.: ил.

Конференция проведена на базе Центра коллективного пользования «Государственный инжиниринговый центр» ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН».

ISBN 978-57028-0842-0

В сборнике публикуются лучшие доклады участников XVIII Всероссийской конференции с международным участием «Машиностроение: традиции и инновации»: преподавателей, научных работников, аспирантов, обучающихся российских вузов и вузов ближнего зарубежья. В докладах отражены результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области технических наук. Издание может быть полезно для научных работников, аспирантов и студентов.

Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов.

УДК 002:621

ISBN 978-57028-0842-0

© ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2025



ОРГКОМИТЕТ

**XVIII Всероссийской конференции с международным участием
«Машиностроение: традиции и инновации (МТИ – 2025)»**

Председатель оргкомитета

Падалкин Б.В. – и.о. ректора, д.т.н.

Заместители председателя оргкомитета

Капитанов А.В. – и.о. проректора по научной работе, д.т.н.

Члены оргкомитета

Артамонов Е.В. – заведующий кафедрой «Станки и инструменты» ФГБОУ ВО «ТИУ» (г. Тюмень), д.т.н., профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;

Бурдо Г.Б. – заведующий кафедрой «Технология и автоматизация машиностроения» ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», д.т.н., профессор;

Вермель В.Д. – начальник НТЦ НПК ФГУП ЦАГИ, д.т.н., заслуженный машиностроитель Российской Федерации;

Ермолов И.Л. – заместитель директора по научной работе «Институт проблем механики», д.т.н., член-корреспондент РАН;

Кузнецов А.П. – технический директор ООО «КЕВ-РУС», д.т.н., профессор;

Шептунов С.А. – директор ФГАУН ИКТИ РАН, д.т.н., профессор;

Коршунова Е.Д. – директор института социально-технологического менеджмента, д.э.н., профессор;

Сосенушкин С.Е. – директор института информационных технологий, к.т.н., доцент;

Стебулянин М.М. – директор института производственных технологий и инжиниринга, д.т.н., доцент;

Шехтман С.Р. – директор института цифровых интеллектуальных систем, д.т.н., доцент;

Тюрбеева Т.Б. – начальник научно-исследовательской части, к.т.н., доцент;

Сотова Е.С. – доцент кафедры высокоэффективных технологий обработки, к.т.н., доцент;

Должикова Е.Ю. – заместитель начальника научно-исследовательской части (ответственный секретарь конференции)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Антохин С.М., Феофанов А.Н.

Динамическая оценка производственно-технологического
 потенциала предприятий единичного и мелкосерийного
 производства 8

Булгаков В.А., Телешевский В.И.

Перспективы метода фазового сдвига в интерферометрическом
 контроле 19

Буянов К.О., Попов Д.В.

Разработка концептуальной модели цифрового сервиса для
 закупочной деятельности в образовательной организации 30

Васина А. А., Червенкова С.Г.

Разработка подхода к управлению чистым оборотным капиталом
 станкостроительного предприятия на основе экономико-
 математического моделирования с учетом масштабирования
 объемов выпуска 42

Волков А.А., Поливанов А.Ю.

Цифровой двойник сферической платформы для стабилизации
 камеры: параметрическое проектирование 54

Гимадинова Л.Р.

Роль и ограничения «малых данных» (внутренняя финансовая
 отчетность) в процессе принятия корпоративных решений 62

Глазунов Д., Соболев А.Н.

Компактные силовые узлы: сквозное проектирование планетарного
 редуктора в интегрированной среде 71

Далечин А.С., Феофанов А.Н.

Автоматизированный выбор компоновок агрегатного станка на этапе
 технического проекта 80

Еленева Ю.Я., Андреев В.Н., Успенская Е.Г.

Сравнительный анализ подходов к определению понятия
 технологического суверенитета Российской Федерации и
 Европейского Союза 89

Еремин Д.Д., Мастеренко Д.А.

Контактный интерферометр для измерения прецизионных деталей и
 поверки средств измерений в машиностроении 99

Зайцев И.А., Телешевский В.И.

Фазовое измерительное акустооптоэлектронное преобразование
 линейных и угловых перемещений на растровых мерах 107

Иванова Н.А., Рябов С.А., Колпакова А.В.	
Разработка системы оперативного контроля по предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций на предприятиях машиностроения	116
Иванова Н.А., Рябов С.А., Стрекалова К.А.	
Применение стратегии устойчивого развития в современном производстве для повышения его конкурентоспособности	126
Игитов Г.А.	
Разработка и испытания scara-манипулятора для задач экологического мониторинга	135
Каламбетов А.И., Репкина Е.Ю.	
Методы ионной модификации поверхности деталей машиностроения	142
Капустин И.В., Соболев А.Н.	
Компактные силовые узлы: сквозное проектирование планетарной винтовой передачи	152
Каримов К.Ю., Крутов А.В.	
Методика расчета упругих деформаций элементов несущей системы станка в Solidworks Simulation	159
Комарова В.Е., Попов Д.В.	
Особенности использования целей устойчивого развития на предприятиях крупного и среднего бизнеса на российском рынке	169
Костин Т.В., Соболев А.Н.	
Разработка захватного устройства с рычажным механизмом в T-FLEX CAD	181
Кочев А.В., Гречишников В.А.	
Повышение эффективности работы сборных фрез для осевого фрезерования на основе адаптивных параметров инструмента	187
Кочкин П.Н., Соболев А.Н.	
Разработка трехскоростной волновой коробки передач на основе реверс-инжиниринга	197
Крайнов К.А., Зинченко Л.А., Тарапанова Е.А.	
Особенности визуализации результатов технологического радар	206
Кудряшов С.А., Червяков Л.М., Еленев К.С.	
Анализ реализации подведомственными Минобрнауки России организациями НИОКР по тематикам в области станкоинструментальной промышленности за период с 2014 по 2024 г.	214

Лесничук Д.В., Попов Д.В.	
Информационная безопасность как значимый фактор при совершенствовании системы управления образовательной организации в условиях цифровой трансформации	229
Лутьянов А.В.	
Идентификация геометрических моделей корпусных деталей на основе трансляционных групп Браве	238
Мануилиди М., Королев С.Ю., Феоктистов С.В., Ковалев И.А.	
Исследование влияния силы натяжения ремней 3D принтера на качество печати	246
Матросов Д.В.	
Методы оценки эффективности управления проектами в сфере молодёжной политики образовательных организаций	256
Мирзомахмудов А.Р., Исаев А.В., Кузнецов В.А., Хариев И.Н., Кострюков А.А.	
Комбинированный способ обработки профиля катания колесных пар для снижения нагрузки на режущий инструмент	263
Образцов А.Е., Утенков В.М., Кузнецов П.М., Пискарев А.С.	
Повышение производительности лезвийной обработки при использовании колебательных движений	275
Паслён А.В., Коробова Н.В.	
Исследование процессов реверсивной вытяжки	285
Пополитова С.В., Мушлаева В.А., Панченко К.Л.	
Особенности экономического управления стратегическими бизнес-единицами (корпоративными стартапами) предприятий в условиях высокой неопределенности	293
Рябов С.А., Иванова Н.А., Булатова Р.И.	
Перспективы создания Эко-биолаборатории кафедры ИНЭБ для развития высокотехнологичного машиностроительного производства	302
Самсоненко Г.А., Гречишников В.А., Мирзомахмудов А.Р.	
Повышение эффективности работы сборного резьбообразующего инструмента на основе применения схемы планетарного резьбофрезерования	311
Со Пъей Хейн, Бадалова А.Г.	
Принципы управления устойчивым развитием промышленных предприятий на основе применения информационных технологий	323

Терешонок А.С., Феофанов А.Н.	331
Методы определения норм времени на промышленном предприятии	
Тиханова Ю.В.	338
Анализ теоретических подходов к концепции устойчивого развития	
Тихонова Ю.В., Шварцбург Л.Э.	345
Автоматизация управления очистной производительностью систем очистки воздуха рабочей зоны в зависимости от реальных загрязнений	
Топчиев Я.П., Соболев А.Н.	354
Разработка и моделирование системы автоматического подъема окон на основе шарико-винтовой передачи	
Ушмодина Л.И.	361
Особенности применения компетентностного подхода в управлении развитием человеческого капитала на предприятиях машиностроения	
Феофанов А.Н., Веселов Э.Э.	373
Аксиоматическая и грамматическая модель преобразования STEP/V-Per-моделей в машиночитаемое графовое представление изделия	
Фэн Тяньюй	381
Разработка концептуальной модели системы интегрированного управления совместными производственными предприятиями	
Хангильдин Б.О.	389
Утонение заготовок при изотермической вытяжке: влияние на характеристики и механические свойства детали	
Хань Ифэн	395
Идеологические предпосылки китайской мечты: буддизм и коммунизм	
Шарипов О.А., Бутримова Е.В.	403
Полная функция управления физическими системами	
Шулепов А.В., Соколов С.П.	409
Микроскопическая оптоэлектронная система с цифровой обработкой изображения для контроля геометрической точности малых отверстий	
Юдин Д.В., Феофанов А.Н.	416
Алгоритм выбора метода обработки по параметрам припуска обрабатываемого изделия	

УДК 65.011.56

Антохин С.М., Феофанов А.Н.

Antokhin S., Feofanov A.

Динамическая оценка производственно-технологического потенциала предприятий единичного и мелкосерийного производства**Dynamic assessment of the production and technological potential of single and small-scale enterprises**

В данной работе рассматриваются вопросы управления производственно-технологическим потенциалом предприятий единичного и мелкосерийного производства. В отличие от традиционных подходов, предложенное определение производственно-технологического потенциала рассматривает его как динамическую характеристику, формирующуюся на основе комплексной оценки пяти взаимосвязанных компонентов: технического, производственного, ресурсного, организационного и информационного. Математическая модель представлена в виде интегральной функции этих компонентов, что позволяет учитывать динамику технического состояния оборудования, ресурсных ограничений и организационной гибкости. Полученные результаты имеют теоретическую значимость и могут быть использованы для создания новых инструментов цифрового управления производством в машиностроении.

This paper examines the issues of managing the production and technological potential of enterprises of single and small-scale production. Unlike traditional approaches, the proposed definition of production and technological potential considers it as a dynamic characteristic formed on the basis of a comprehensive assessment of five interrelated components: technical, production, resource, organizational and informational. The mathematical model is presented as an integral function of these components, which makes it possible to take into account the dynamics of the technical condition of the equipment, resource constraints and organizational flexibility. The results obtained

have theoretical significance and can be used to create new tools for digital production management in mechanical engineering.

Ключевые слова: Производственно-технологический потенциал, динамическая характеристика, интегрированная автоматизированная система, предприятия единичного и мелкосерийного производства, цифровое управление производством, технический компонент, производственный компонент, ресурсный компонент, организационный компонент, информационный компонент.

Keywords: Production and technological potential, dynamic characteristics, integrated automated system, single and small-scale enterprises, digital production management, technical component, production component, resource component, organizational component, information component.

Введение в экономические исследования научного понятия «потенциал» было связано с разработкой проблем комплексной оценки уровня развития производительных сил ещё в 20-х годах прошлого столетия. Термин «потенциал» в своём этимологическом значении происходит от латинского слова *potentia* и означает «скрытые возможности», которые в хозяйственной практике благодаря труду могут стать реальностью. В 50-е годы прошлого века академик С.Г. Струмилин ввёл понятие «экономический потенциал» как совокупную производительную силу труда всех работоспособных членов общества [1], академик В.С. Немчинов исследовал потенциал расширенного производства как ресурсные возможности национальной экономики для осуществления экономического роста [2]. В широком научном обиходе понятие «потенциал» начало использоваться в 1970–1980-е годы; именно в этот период появились публикации, в которых рассматриваются различные аспекты этого понятия. Широкое распространение получило понятие «производственный потенциал», которому как сложной интеграционной системе посвящены труды Л.И. Абалкина, И.А. Анчишкина, В.Н. Авдеенко, В.М. Архипова, В.А. Котлова, Д.А. Черникова и др. [3-7]; современный этап (с 1990-х годов) характеризуется

развитием системного подхода к исследованию потенциала предприятия [8-9]. Параллельно формировались научные подходы к нормированию труда (Ф. Тейлор, Ф. Гилберт, Ю.С. Шарин) [10], которые легли в основу методов количественной оценки производственных возможностей предприятий. В современной научной литературе представлены различные трактовки производственного потенциала, при этом наибольшее распространение получил ресурсный подход. Сложившиеся модели обладают существенными недостатками: статичность оценки, недостаточный учёт технологической составляющей, слабая связь с процессами цифровизации, ориентация на макроуровень и «этап проектирования» (оценка возможностей автоматических линий [11-12] и гибких производственных систем на стадии проектирования [13]), а также недостаточная адаптация к условиям высокой номенклатурной изменчивости. Эти подходы разрабатывались для статичной оценки показателя возможностей предприятий крупносерийного и массового производства.

Современные предприятия, особенно в сегменте ЕДП и МСП, функционируют в принципиально иных условиях по сравнению с периодом формирования классических концепций потенциала: высокая номенклатурная изменчивость (выпуск малыми партиями и единичными образцами, требующий постоянной реконфигурации производства), позаказное планирование (отсутствие долгосрочных производственных планов), критичность технического состояния оборудования, требования цифровой трансформации (необходимость управления в РРВ с учетом постоянно изменяющихся параметров производственной среды [14-15]). Это требует принципиально иных подходов оценки возможностей предприятия по сравнению с крупносерийным производством [16]. Анализ степени разработанности проблемы показывает, что, несмотря на значительное количество исследований в области автоматизации управления производством и оценки производственного потенциала, отсутствует комплексный подход к управлению потенциалом предприятий ЕДП и МСП в условиях цифровой трансформации, учитывающий динамику технического состояния оборудования, ресурсных ограничений и организационной гибкости.

Выявленные недостатки подтверждают необходимость разработки принципиально нового подхода к оценке и управлению потенциалом на уровне предприятия, пригодного для условий ЕДП и МСП.

Развивая теоретические подходы [8–9, 17-19] применительно к специфике современных предприятий ЕДП и МСП, предлагается следующее определение:

Производственно-технологический потенциал (ПТП) предприятий ЕДП и МСП - это интегральная динамическая характеристика производственной системы, определяющая ее текущие и прогнозируемые возможности по изготовлению продукции требуемого качества в установленные сроки, формируемая на основе комплексной оценки технического состояния оборудования, технологических возможностей, ресурсной обеспеченности, организационной гибкости и информационной поддержки в условиях высокой номенклатурной изменчивости и позаказного планирования производства. В отличие от традиционных определений, ПТП рассматривается не как статическая величина, а как изменяющаяся во времени, формируемая на основе комплексной оценки пяти взаимосвязанных компонентов:

- технический компонент (ТК) - характеризует техническое состояние оборудования и его готовность к выполнению операций;
- производственный компонент (ПК) - отражает технологические возможности и фактическую загрузку оборудования;
- ресурсный компонент (РК) - определяет обеспеченность материалами, инструментом, персоналом и энергоресурсами;
- организационный компонент (ОК) - характеризует гибкость планирования и скорость адаптации к изменениям;
- информационный компонент (ИК) - определяет полноту, актуальность и достоверность информации, необходимой для принятия решений.

Динамический характер ПТП проявляется в постоянном изменении значений компонентов во времени под воздействием как внутренних факторов (износ оборудования, расходование материалов, изменение загрузки), так и внешних (изменение портфеля заказов, требований к качеству, рыночной

конъюнктуры). Это требует перехода от статической оценки потенциала «на определенный момент времени» к непрерывному мониторингу и прогнозированию состояния ПТП.

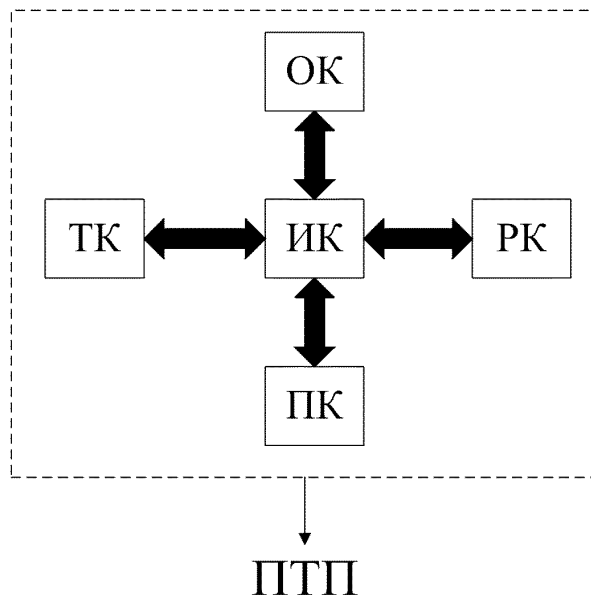


Рис. 1. Структура производственно-технологического потенциала

Структура (рисунок 1) отражает ПТП как результат взаимодействия пяти компонентов через информационную среду. Пунктирный контур обозначает границы ПТП как интегрированной системы, внутри которой ИК занимает центральное положение, обеспечивая информационные связи с ТК, ПК, РК и ОК. Размещение ИК в центре структуры подчеркивает его критическую роль в функционировании ПТП.

Основываясь на работах по теории потенциала предприятий [9, 18] и развивая подходы системного анализа [20], ПТП представляется в виде интегральной функции пяти взаимосвязанных компонентов и математически ПТП представляется в следующем виде:

$$\text{ПТП}(t) = f(\text{ТК}(t), \text{ПК}(t), \text{РК}(t), \text{ОК}(t), \text{ИК}(t)), \quad (1)$$

где каждый компонент нормирован в диапазоне (0, 1).

Практическая реализация управления производственно-технологическим потенциалом осуществляется через интегрированную автоматизированную

систему управления производством (АСУП) с подсистемой диагностики оборудования. В отличие от традиционных АСУТП, ориентированных на крупносерийное производство, предложенная архитектура адаптирована к специфике предприятий ЕДП и МСП с высокой номенклатурной изменчивостью и позаказным планированием.

Теоретико-множественное представление интегрированной АСУП имеет вид:

$$\text{АСУП} = \{O_{\text{СУО}}, O_{\text{КПП}}, O_{\text{ТПП}}, O_{\text{ERP}}, O_{\text{ДО}}, O_{\text{АСУТП}}, \text{PDM} \quad (2) \\ - \text{среда}\},$$

где каждый оператор отвечает за управление соответствующим компонентом ПТП:

O ДО (оператор диагностики оборудования) осуществляет непрерывный мониторинг технического состояния в режиме реального времени и управляет $TK(t)$;

O АСУТП координирует выполнение производственных заданий и управляет $ПК(t)$;

O ERP обеспечивает материально-техническое снабжение и управляет $РК(t)$;

O СУО осуществляет стратегическое планирование и управляет $ОК(t)$;

PDM-среда выступает как интегрирующая информационная платформа, координирующая взаимодействие всех операторов и управляющая $ИК(t)$.

Архитектура интегрированной АСУП представлена на рисунке 2.

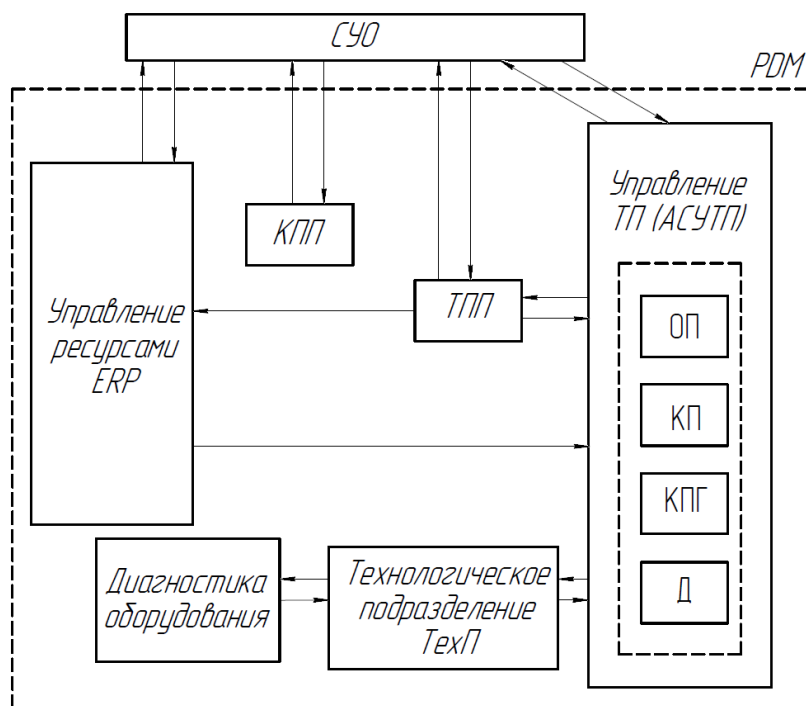


Рис. 2. Архитектура интегрированной автоматизированной системы управления производством для предприятий ЕДП и МСП

Разработанная архитектура интегрированной АСУП (рисунок 2) строится на информационной базе PDM-системы (информационно интегрирующий компонент) и включает взаимодействие с функциональными подсистемами: подсистемой ERP (управление ресурсами предприятия), конструкторской и технологической подготовкой производства (КПП/ТПП), подсистемой управления технологическими процессами (АСУТП), технологическими подразделениями (ТхП), подсистемой диагностики оборудования и системой управления организацией (СУО).

Ключевой особенностью предложенной архитектуры является выделение подсистемы диагностики оборудования (О ДО) как самостоятельного элемента системы. Подсистема диагностики формирует прогнозы технического состояния на основе данных вибродиагностики, термоконтроля и контроля точности позиционирования, что обеспечивает переход от планово-предупредительной системы ремонтов к обслуживанию оборудования по фактическому состоянию. Интеграция подсистемы диагностики в контур управления позволяет исключать неработоспособное оборудование из производственного расписания,

корректировать планы с учётом остаточного ресурса и оперативно реагировать на изменения технического состояния [21-22].

Выбор PDM-системы в качестве интегрирующей среды обусловлен спецификой предприятий ЕДП и МСП, для которых полнофункциональные PLM-системы экономически нецелесообразны из-за высокой стоимости внедрения и избыточности функционала управления послепродажным обслуживанием и длительным жизненным циклом изделий. PDM-система обеспечивает необходимую и достаточную функциональность: централизованное хранение конструкторской и технологической документации, интеграцию с CAD/CAM-системами через встраиваемые плагины, версионный контроль изменений, workflow согласования документации, передачу данных в ERP (спецификации, требования к ресурсам) и АСУТП (технологические маршруты, управляющие программы). При этом PDM-системы требуют на порядок меньших инвестиций по сравнению с PLM, имеют короткие сроки внедрения и представлены широким выбором отечественных решений на рынке.

Информационное взаимодействие операторов строится на принципах иерархического четырёхуровневого планирования [23-24]: объёмное планирование (ОП) формирует производственные программы на квартал/год; календарное планирование (КП) распределяет объёмные планы по месяцам; календарный план-график (КПГ) детализирует месячные планы до уровня сменно-суточных заданий; диспетчеризация (Д) осуществляет оперативное управление на рабочих местах в режиме реального времени.

Заключение.

Таким образом, разработанное определение ПТП позволяет преодолеть ключевые недостатки существующих подходов - статичность, недостаточный учёт технологической составляющей и слабую адаптацию к условиям ЕДП и МСП. Предложенное определение ПТП как интегральной динамической характеристики, формируемой на основе пяти взаимосвязанных компонентов (ТК, ПК, РК, ОК, ИК), отражает специфику функционирования предприятий с высокой номенклатурной изменчивостью и позаказным планированием.

Математическая модель ПТП (Формула 1) создаёт теоретическую основу для построения интегрированной автоматизированной системы управления производством предприятий ЕДП и МСП. Практическая реализация модели требует создания АСУП с подсистемой диагностики оборудования, обеспечивающей расчёт компонентов ПТП в режиме реального времени на основе данных мониторинга технического состояния, ресурсной обеспеченности и организационной гибкости. Полученные результаты имеют теоретическую значимость для развития теории автоматизированных систем управления производством и могут служить основой для создания алгоритмического обеспечения и программной реализации интегрированной АСУП предприятий машиностроения, работающих в условиях ЕДП и МСП.

Библиографический список

1. Струмилин С.Г. К вопросу об изменении народного благосостояния // Вопросы статистики. - 1954. - С. 12-28.
2. Немчинов В.С. Экономико-математические методы и модели // Избр. произв. - М., 1967. - Т. 3.
3. Абалкин Л.И. Диалектика социалистической экономики-М.: Мысль, 1981.-351 с.
4. Анчишкин А.И. Прогнозирование роста экономики - М.: Экономика, 1996.-98 с.
5. Авдеев В.Н., Котлов В.А. Производственный потенциал промышленного предприятия- М.: Экономика, 1989. - 240 с.
6. Архипов В.М. Проектирование производственного потенциала объединений (теоретические аспекты) - Л.: ЛГУ, 1984. - 247 с.
7. Черников Д.А. Эффективность использования производственного потенциала // Экономические науки, 1981. - № 10. - С. 89-97.
8. Гладышевский А.И. Формирование производственного потенциала: анализ и прогнозирование - М.: Наука, 1992. - 151 с.

9. Лапин Е.В. Оценка экономического потенциала предприятия - Сумы: «Университетская книга», 2004. - 360 с.
10. Феофанов А.Н., Шпандарук В.А. Анализ методов определения трудоемкости механообрабатывающих операций на ранних стадиях подготовки производства // Технология машиностроения. - 2024. - С. 49 - 52.
11. Черпаков Б.И. Эксплуатация автоматических линий. М.: Машиностроение, 1978, 248 с.
12. Феофанов А.Н. Гибкие автоматические линии в машиностроении. М.: «Янус-Ю», 2002. 192 с.
13. Черпаков Б.И, Юхимов В.В. Вероятностный подход к оценке производственного потенциала ГПС // СТИН. №10. 1990. С.4-6.
14. Указ Президента Российской Федерации № 474 от 21 июля 2020 г. «О национальных целях развития России на период до 2030 года» [Электронный ресурс] URL: <http://government.ru/docs/all/128943> (дата обращения: 22.04.2025).
15. Распоряжение правительства Российской Федерации № 1632-р от 28.07.2017 г. (об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации») [Электронный ресурс] URL: <http://government.ru/docs/all/112831> (дата обращения: 22.04.2025) - Текст: электронный.
16. Бурдо Г.Б., Испирян Н.В., Испирян С.Р., Мединцев С.В. Интеллектуальная система управления технологическими процессами в многономенклатурном машиностроительном производстве // Тверь: Тверской ГТУ, JARiTS. 2022. №31 С. 17–22. [Электронный ресурс] URL: <https://doi.org/10.26160/2474-5901-2022-31-17-22> (дата обращения: 22.04.2025) - Текст: электронный.
17. Иванов Н.И., Левина Е.В., Михальская В.А. и др. Производственный потенциал: обновление и использование — К.: Наукова Думка, 1989. — 254 с.
18. Никитин С.А., Баранов И.В. К вопросу оценки качества производственного потенциала // Известия Орел ГТУ. — 2009. - № 7. С.82-88
19. Багриновский К.А., Бендигов М.А., Хрусталева Е.Ю. Современные методы управления технологическим развитием — М.: РОСПЭН, 2001. — 272с.

20. Клик ЖД. Системология. Автоматизация решения системных задач. М.: Радио и связь, 1990. - 544 с.
21. Бурдо Г.Б., Сорокин В.Ю. Интеллектуальная система управления технологическими процессами в многономенклатурном производстве // Вестник машиностроения. 2022. №4. С. 13–21.
22. Бурдо Г.Б., Сорокин В.Ю. Цифровая диагностика и адаптивное управление оборудованием в машиностроении // Информационные технологии и автоматизация. 2022. №2. С. 17–25.
23. Бурдо Г.Б. Принципы построения автоматизированной системы управления технологическими процессами в многономенклатурных производствах // Вестн. Саратов. гос. тех. унта. 2010. № 3 (48). С. 113–118
24. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В. Теоретические основы комплексной автоматизированной системы проектирования и управления технологическими процессами в многономенклатурном производстве // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия технические науки. 2010. №4(127). С. 44-54.

Антохин Сергей Михайлович – аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», antokhinsergeymikhaylovich@yandex.ru

Antokhin Sergey Mikhailovich – postgraduate student at the sub-department of «Automatic Information Processing and Control Systems», MSUT «STANKIN», antokhinsergeymikhaylovich@yandex.ru

Феофанов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной графики, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», feofanov.fan1@yandex.ru

Feofanov Alexander Nikolaevich – D.Sc. of Engineering, professor at the sub-department of «Engineering Graphics», MSUT «STANKIN», feofanov.fan1@yandex.ru

УДК 681.787

Булгаков В.А., Телешевский В.И.

Bulgakov V.A., Teleshevsky V.I.

Перспективы метода фазового сдвига в интерферометрическом контроле
Prospects of the Phase Shift Method in Interferometric Control

Методы фазово-сдвиговой интерферометрии заняли одно из основополагающих мест в оптической метрологии для точного измерения топографии поверхностей и реконструкции трехмерных профилей. Путем генерации нескольких интерферограмм с помощью контролируемых фазовых изменений эти методы позволяют извлекать точную фазовую информацию, что облегчает анализ дефектов поверхности с высоким разрешением, динамический мониторинг процессов и имеет широкий спектр промышленных применений. В статье рассмотрены текущие исследования и эксперименты, проводимые в России, нацеленные на расширение использования методов фазово-сдвиговой интерферометрии в различных отраслях и сферах. Более детально описаны некоторые достижения и уже имеющиеся наработки. Также выделены будущие перспективы и новые тенденции в технологии фазового сдвига.

Phase-shift interferometry methods have become one of the cornerstones of optical metrology for the accurate measurement of surface topography and the reconstruction of three-dimensional profiles. By generating multiple interferograms using controlled phase changes, these methods allow the extraction of accurate phase information, which facilitates high-resolution analysis of surface defects, dynamic process monitoring, and a wide range of industrial applications. The article reviews current research and experiments conducted in Russia aimed at expanding the use of phase-shift interferometry methods in various industries and fields. Some achievements and existing developments are discussed in more detail. Future prospects and new trends in phase-shift technology are also highlighted.

Ключевые слова: фазовый сдвиг, интерферометрия, детектор, фазовращатель.

Keywords: phase shift, interferometry, detector, phase shifter.

Интерферометрия представляет собой фундаментальную технологию в исследованиях, касающихся электромагнитной инженерии, начиная от гамма-лучей и заканчивая видимым светом, радиоволнами и звуковыми волнами. С помощью этой оптической методики можно количественно определять различные физические величины (такие как форма, смещение из плоскости, разброс показателя преломления и т.д.) путем расчета фазового распределения с использованием трех или более зарегистрированных интерференционных полос [1]. Хотя анализ интерферограмм является чрезвычайно мощным методом, у него есть несколько недостатков. Определение местоположения центров интерференционных полос, что в конечном итоге ограничивает точность метода, является сложной задачей, а любые изменения интенсивности по интерферограмме или изменения чувствительности фотодетектора приводят к появлению ложных ошибок. Еще одним недостатком является то, что данные генерируются только вдоль центров интерференционных полос, а не на равномерно распределенной сетке, которая требуется для многих процедур анализа. Наконец, поскольку несколько широко расставленных интерференционных полос можно измерить более точно, чем много близко расположенных, существует компромисс между разрешением и количеством точек данных [2].

Фазово-сдвиговая интерферометрия преодолевает эти ограничения. Она представляет собой высокоэффективный и точный метод измерения фазы, особенно при замере двумерных фазовых распределений, например, в оптических испытаниях, микроскопии с дифференциальным интерференционным контрастом и профилировании поверхностей с помощью проекции интерференционных полос, в основном, благодаря высокой скорости и точности измерения фазы [3]. В таблице 1 представлено сравнение двух методов интерферометрического контроля.

Таблица 1.

Сравнение методов интерферометрического контроля (составлено автором)

Критерий	Метод фазового сдвига	Классическая интерферометрия	Преимущество фазового сдвига
Точность измерения фазы	до $\lambda/100$ (и выше)	$\sim \lambda/20$	5-кратное и более увеличение точности
Чувствительность к вибрациям	Низкая (при использовании высокоскоростных камер)	Очень высокая	Позволяет измерять в условиях, где классический метод неэффективен
Воспроизводимость результатов	$\sim 0.1\%$	$\sim 1-5\%$	В 10-50 раз выше воспроизводимость
Время измерения	Единицы миллисекунд (для однокадровых систем)	Единицы секунд (для анализа статичной картины)	В 100 раз и более высокая скорость измерения
Разрешение	Высокое, предоставляет точечные данные по всей поверхности	Низкое, разрешение зависит от ширины и контраста полос	Предоставляет полноценную карту высот, а не только информацию о положении полос

Мировыми лидерами в использовании и развитии метода фазового сдвига являются США. На втором месте находится Германия, институты и исследовательские центры которой имеют сильные позиции в области прецизионной оптики и машиностроения. Тройку лидеров замыкает Китай, благодаря значительным государственным инвестициям в науку и технологии, национальные производители постепенно налаживают производство интерферометров.

Не отстает от мировых лидеров и Россия, которая активно развивает и применяет интерферометрический контроль, сосредоточившись на производстве собственного оборудования и его внедрении в ключевые высокотехнологичные отрасли. Таким образом, изучение отечественного опыта в данной отрасли, а также анализ перспектив развития метода фазового сдвига составляет важную научно-практическую задачу, которая и предопределила выбор темы данной статьи.

Примеры использования фазового сдвига в высокоточном производстве для тестирования оптических компонентов, точного машиностроения, производства полупроводников рассматривают в своих трудах Zengxin Huang,

Hangfeng Li [4], Чжао Ж., Го Ц., Чжэн М. [5], Biao Tian, Chengzeng Chen [6].

Над разработкой подхода цифровой голографической микроскопии с динамическим фазовым сдвигом, который позволяет быстро измерять дефекты поверхности на больших оптоэлектронных компонентах, преодолевая при этом ограничения, связанные с вертикальным сканированием и механической фазовой модуляцией, трудятся Ушенкин В.А. [7], Левин Г.Г., Минаев В.Л., Самойленко А.А., Яковлева Т.В. [8].

Однако, несмотря на имеющиеся труды и наработки, ряд вопросов в данной предметной плоскости нуждается в более детальном изучении. Например, нерешенной остается проблема стабилизации метода фазового сдвига с помощью «аппаратного» подхода. В отдельной проработке нуждаются задачи повышения точности и надежности метода, направленные на уменьшение фазовых ошибок, вносимых фазовращателем (неточная калибровка, нелинейный отклик и температурная зависимость).

Таким образом, цель статьи заключается в изучении перспектив метода фазового сдвига в интерферометрическом контроле с учетом достижений в России.

Итак, фазосдвиговая интерферометрия (ФСИ) обладает такими преимуществами, как высокая точность, анализ всего поля и бесконтактное тестирование. Она широко используется в таких областях, как измерение морфологии, толщины тонких пленок, волнового фронта, температурного поля, оценка качества луча и т.д. ФСИ регистрирует несколько интерферограмм с фазовым сдвигом путем сдвига опорной волны на несколько различных значений фазы, а затем с помощью алгоритма фазового сдвига можно получить количественные измерения волнового фронта [4]. Стандартная ФСИ требует специального постоянного сдвига фазы, равного $2\pi/N$, где N — целое число, равное или больше 3. Это требование часто трудно выполнить точно из-за многих практических факторов, поэтому необходимо приложить особые усилия для калибровки фазового сдвигателя. Для удобства использования метода алгоритм сдвига фазы с равным сдвигом был усовершенствован до обобщенного

подхода, позволяющего работать с произвольными сдвигами фазы, например, итерационный алгоритм наименьших квадратов, алгоритм евклидовой матричной нормы и метод статистического усреднения дифракционного поля.

Учитывая точность восстановления фазы, технология сдвига фазы на сегодняшний день развивается от широко используемых трех- или четырехэтапных методов до девяти- и более этапных. С учетом требований к измерениям в реальном времени также разработано много усовершенствованных двухэтапных ФСИ. В пространственно-временной области сдвига фазы интерферометрия развивается от метода временного сдвига фазы к методу пространственной несущей, а затем к методу пространственного сдвига фазы [6].

Как уже отмечалось ранее, отечественные предприятия, научные лаборатории и институты активно используют ФСИ в различных сферах и приложениях. В таблице 1 систематизированы данные об активности внедрения данного метода в России.

Таблица 2.

Применение фазового сдвига в интерферометрическом контроле в разрезе отраслей и организаций России (составлено автором)

Область применения	Организации / проекты	Расшифровка и описание	Применение
Металлургия и машиностроение	Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, Ростех, Уралмаш, Объединённая авиастроительная корпорация	Научно-инжиниринговые и производственные центры в машиностроении и авиации	Контроль качества поверхности, измерение микродефектов
Оптика и фотоника	Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Институт физики твёрдого тела РАН	НИИ, работающие с точной оптикой и светорассеянием	Исследование фазовых искажений, испытания оптических элементов
Аэрокосмическая промышленность	Ракетно-космическая корпорация «Энергия», Роскосмос, Центральный аэрогидродинамический институт	Ведущие организации в области пилотируемой и беспилотной космонавтики, аэродинамики	Контроль зеркал, линз, оптических и механических компонентов
Микроэлектроника и нанотехнологии	Московский физико-технический институт (МФТИ), Национальный исследовательский университет ИТМО, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,	Вузы и НИИ в области нанотехнологий, MEMS и микроэлектроники	Высокоточное измерение микроструктур, разработка интерферометрических датчиков

	Технопарк «Сколково»		
Станко-инструментальная промышленность	Станкостроительные предприятия, например, АО «СТАН»	Производители высокоточных станков и инструмента	Контроль точности геометрии режущего инструмента и оборудования
Атомная промышленность	Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов им. академика А.А. Бочвара, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»	Научные центры атомной энергетики, занимающиеся в том числе контролем материалов	Оценка микродефектов, прецизионные измерения, изменений в материалах
Научные исследования и метрология	Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ), Российский федеральный ядерный центр — ВНИИ экспериментальной физики Российская академия наук	Институты, формирующие метрологические стандарты и проводящие фундаментальные исследования	Разработка методов измерения, создание эталонных интерферометров
Лазерные технологии и прецизионная оптика	Ленинградское оптико-механическое объединение, ООО «Технооптик», Институт прикладной физики Российской академии наук	Производители и исследователи в сфере точной оптики и лазерной техники	Лазерная интерферометрия с фазовым сдвигом для контроля оптических систем

Рассмотрим более подробно некоторые практические примеры использования ФСИ в России.

Хотя многие интерферометры с фазовым сдвигом используют в качестве источника HeNe-лазеры, применение перестраиваемого диодного лазера с внешней резонаторной полостью, дает значительные преимущества и находит свое активное применение в ряде отечественных НИИ.

Во-первых, длина волны лазера может быть выбрана в точном соответствии с рабочей длиной волны оптики, что особенно важно, когда оптика имеет покрытие и может не отражать свет с длиной волны 632,8 нм.

Во-вторых, переменный фазовый сдвиг может быть реализован за счёт разбалансировки оптических путей в двух плечах интерферометра и управления длиной волны лазерного излучения, что исключает необходимость использования линейного привода для перемещения эталонного оптического

элемента. При использовании перестраиваемого лазера фазовый сдвиг определяется формулой:

$$\alpha = \frac{2\pi \cdot \text{оптическая разность хода} \cdot \Delta\lambda}{\lambda^2}$$

где оптическая разность хода — это разность длин оптических путей между двумя плечами интерферометра, λ — центральная длина волны лазера, а $\Delta\lambda$ — её изменение во времени.

Таким образом, применение перестраиваемого диодного лазера позволяет выполнять фазочувствительные измерения и существенно повышает их скорость.

Также российские ученые экспериментируют с объединением и комплексным использованием трех хорошо зарекомендовавших себя метода в простой и компактной оптической системе:

- 1) техника кодирования голограмм с комплексными значениями на пространственном модуляторе фазы, использующем только фазу;
- 2) интерферометр с общим путем на основе поляризованного света;
- 3) классическая техника ФСИ.

Цель этих экспериментов состоит в том, чтобы показать, как это сочетание методов может быть использовано для оценки качества распространяемого структурированного поля света, не только по интенсивности, но и по фазовому распределению. Исследователи отмечают, что голограмма отображается с помощью техники шахматной решетки, которая обеспечивает реконструкцию по оси. Та же система используется для восстановления фазового распределения в дальнем поле с помощью алгоритма ФСИ путем простого поворота поляризатора. Эта техника проходит тестирование путем создания различных суперпозиций гауссовых мод. Алгоритмы ФСИ обеспечивают количественную оценку фазы, которая дополняет традиционную оценку интенсивности.

Отдельного внимания заслуживает исследование, которые проводят ученые Роскосмоса, оно посвящено оценке деформации внешней поверхности с

использованием методов многотемпоральной интерферометрии радиолокационного зондирования с синтезированной апертурой. Радиолокационные данные, в частности данные радиолокации с синтезированной апертурой и различные методы их обработки, являются эффективным инструментом для мониторинга деформаций.

Ключевыми технологиями, применяемыми для прогнозирования и наблюдения за изменениями земной поверхности, над которыми работают в Роскосмосе, являются интерферометрия радиолокационного зондирования с синтезированной апертурой, интерферометрия с устойчивыми рассеивателями, дифференциальная интерферометрия, а также наземные интерферометрические радиолокационные системы.

Исследователи пришли к выводу, что метод дифференциальной интерферометрии целесообразно использовать в случаях ограниченного объема данных, тогда как метод интерферометрии с устойчивыми рассеивателями предпочтителен при наличии большого количества наблюдаемых точек. При этом второй метод обеспечивает более высокую точность на обширных территориях. При наличии достаточного объема радиолокационных данных метод интерферометрии с устойчивыми рассеивателями позволяет производить оценку локальных деформаций на больших площадях.

Обобщая имеющиеся на сегодняшний день публикации и наработки, в таблице 3 представлены перспективные направления развития фазового сдвига в интерферометрическом контроле, которыми в настоящее время занимаются российские ученые.

Таблица 3.
Направления развития фазового сдвига в интерферометрическом контроле
(составлено автором)

Направление развития	Описание технологии	Преимущества
Однокадровая (синхронная) интерферометрия	Вместо последовательного получения нескольких интерферограмм, используется специальная оптика (например, матрица микрополяризаторов) для получения всех необходимых	Устойчивость к вибрациям и шуму: метод нечувствителен к временным изменениям в окружающей среде. Высокая скорость: позволяет проводить измерения динамических процессов в реальном времени

	кадров одновременно за один снимок	
Интеграция с искусственным интеллектом и машинным обучением	Использование нейронных сетей для анализа интерферограмм, обработки данных и устранения ошибок, вызванных шумом или неидеальностью оптики	Повышение точности и надёжности: алгоритмы ИИ могут корректировать нелинейные сдвиги фазы и другие погрешности. Упрощение процесса: позволяет получать точные данные даже при неидеальных условиях съёмки
Увеличение количества шагов (кадров)	Разработка и применение алгоритмов с большим количеством шагов фазового сдвига (например, 7, 13 или даже 101 кадр) вместо традиционных 3-4 шагов	Снижение погрешностей: позволяет минимизировать ошибки, связанные с неточностью сдвига фазы, шумом и неоднородностью освещения. Повышение разрешения: улучшает детализацию и точность измерения.
Использование перестраиваемых источников света	Применение лазеров с изменяемой длиной волны вместо механических приводов (пьезоэлектрических кристаллов) для создания фазового сдвига	Повышение скорости и надёжности: отсутствие механических движущихся частей уменьшает инерцию и уязвимость к внешним воздействиям. Увеличение диапазона измерений: позволяет работать с более сложными и толстыми образцами.
Миниатюризация и портативность	Разработка компактных, недорогих и простых в использовании интерферометров на базе жидкокристаллических или других фазовых модуляторов	Расширение области применения: позволяет использовать интерферометрию вне лабораторных условий, например, в производственных цехах. Снижение стоимости: делает технологию более доступной для широкого круга потребителей

Таким образом, подводя итоги, отметим, что методы фазового сдвига в интерферометрическом контроле имеют значительный потенциал использования в метрологии, исследовании материалов, спутниковой съёмке и множестве других областей, где применяются оптические и фотонные качества. Российские ученые и исследователи активно развивают данные методы, вследствие чего они находят свое практическое применение во многих сценариях статических и динамических измерений. Область ФСИ постоянно развивается, появляются новые приемы и технологии, направленные на повышение точности, скорости и надежности. Некоторые новые тенденции включают: интеграцию с другими методами, машинное обучение и искусственный интеллект, миниатюризацию и портативность.

Библиографический список

1. Вензель В.И., Соломин С.О., Семёнов А.А. Инженерный интерферометрический метод контроля оптической однородности // Контенант. 2022. Т. 21. № 4. С. 72-85.
2. Ромашко Р.В. Особенности применения адаптивных интерферометрических волоконно-оптических датчиков акустической эмиссии для контроля состояния полимерных композиционных материалов // Дефектоскопия. 2024. № 1. С. 21-27.
3. Qingjie Lu, Ji Wang Adaptive light intensity aided wavelength tuning for phase-shifting interferometric measurement system // Microwave and Optical Technology Letters. 2024. Volume 66, Issue 6. P. 23-29.
4. Zengxin Huang, Hangfeng Li Asynchronous Phase Shifts are Effective for Interferometric Single-Molecule Localization Microscopy // Laser & Photonics Reviews. 2025. №. 78. P. 12-19.
5. Чжао Ж., Го Ц., Чжэн М. Анализ результатов интерферометрической обработки с разных космических радиолокационных систем при оценке смещений подработанной территории // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2025. № 1. С. 111-119.
6. Biao Tian, Chengzeng Chen Interferometric ISAR imaging under squint model using phase cancellation compensation method of combined processing data // IET Radar, Sonar & Navigation. 2022. Volume 16, Issue 6. P. 95-108.
7. Ушенкин В.А. Метод высокоточной обработки топографических интерферометрических изображений с привлечением низкодетальной стереофотограмметрической информации от оптико-электронных систем ДЗЗ // Цифровая обработка сигналов. 2025. № 1. С. 59-66.
8. Левин Г.Г., Минаев В.Л., Самойленко А.А., Яковлева Т.В. Восстановление фазы волнового фронта на основе фотометрических и интерференционных измерений // Оптика и спектроскопия. 2023. Т. 131. № 2. С. 280-286.

Булгаков Вячеслав Алексеевич – аспирант Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», e-mail: viacheslavbulgakov@yandex.ru

Bulgakov Vyacheslav Alekseevich – postgraduate student, Moscow State Technological University «STANKIN», e-mail: viacheslavbulgakov@yandex.ru

Телешевский Владимир Ильич – д.т.н., профессор кафедры измерительных информационных систем и технологий, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Teleshevsky Vladimir Ilyich – Doctor of Engineering, Professor, Department of Measuring Information Systems and Technologies, Moscow State Technological University «STANKIN»

УДК 65.011.8

Буянов К.О., Попов Д.В.

Buyanov K.O., Popov D.V.

Разработка концептуальной модели цифрового сервиса для закупочной деятельности в образовательной организации
Development of a conceptual model of a digital service for procurement activities in an educational organization

В данной статье закладываются основы разработки концептуальной модели цифрового сервиса для закупочной деятельности в образовательной организации, анализируется процесс закупок и выделяются области, потенциально подлежащие автоматизации; в дополнение к этому, в статье раскрываются функциональные возможности подходящих для интеграции в процесс программных продуктов и приводятся результаты и выводы по внедрению комплексной автоматизации.

This article lays the foundation for developing a conceptual model of a digital service for procurement activities in an educational institution, analyzes the procurement process, and identifies areas potentially susceptible to automation. Additionally, the article reveals the functionality of software products suitable for integration into the process and presents the results and conclusions for the implementation of comprehensive automation.

Ключевые слова: закупочная деятельность, процесс, закупки, механизм, концепция, повышение эффективности, оптимизация, автоматизация, комплексная автоматизация.

Keywords: procurement activities, process, procurement, mechanism, concept, efficiency improvement, optimization, automation, integrated automation.

Закупочная деятельность – один из наиболее важных и необходимых процессов в образовательной организации, способствующий ее эффективной и стабильной работе. Процесс направлен на обеспечение ресурсами всех механизмов организации и его структурных подразделений, на создание

благоприятной рабочей и образовательной среды, на развитие инфраструктуры. Без качественного проработанного процесса закупок деятельность организации будет затруднена или нарушена, что приведет к нежелательным последствиям. Для ухода от подобных рисков закупочная деятельность в образовательной организации должна быть приведена к наиболее эффективной рабочей модели, что требует проведения досконального анализа всего бизнес–процесса для выявления возможных проблем или «узких мест».

Исследуемый процесс [1] берет начало от формирования плана закупок. Данный план, складывающийся из входящих заявок, в свою очередь основывается на потребностях образовательной организации. В заявку для формирования плана закупок может входить такая информация, как:

- обоснование необходимости закупки;
- сведения о техническом задании и приложения;
- перечень необходимых товаров, работ или услуг;
- количественная оценка указанных товаров, работ или услуг;
- предварительная стоимость товаров, работ или услуг, формы с данными Начальной Максимальной Ценой Контракта (далее – НМЦК);
- сроки осуществления закупки обозначенных товаров, работ или услуг;
- и другие внутренние документы, необходимые для проведения закупки.

Вся направленная информация и документация проверяется и согласовывается с курирующими закупочную деятельность отделами. В случае неполноты представленных данных, ответственное структурное подразделение вправе запросить недостающую информацию у инициатора запроса на закупку или отклонить входящую заявку. Если же заявка сполна отвечает необходимым для включения запрашиваемого товара (работ, услуг) в план закупок требованиям, то она принимается курирующим подразделением и регистрируется в соответствующих документах.

После утверждения плана выбирается способ закупки – открытый конкурс, аукцион, запрос котировок, единственный поставщик, – и затем осуществляется подготовка необходимой для размещения на открытых источниках документации с характеристикой предстоящей закупки. Далее от потенциальных поставщиков осуществляется прием заявок, которые регистрируются и получают свою оценку от внутренней экспертизы. По результатам отбора, с победившим в конкурсе подрядчиком заключается контракт, который после утверждения, подписания и передачи оригиналов или копий заинтересованным сторонам вступает в силу.

Возникают договорные отношения, в рамках которых Подрядчик (поставщик) обязуется в точные сроки отгрузить Заказчику (образовательная организация) обозначенные им в закупочной документации товары (работы, услуги). Заказчик, в свою очередь, обязан корректно принять товары (работы, услуги) и, в случае положительного результата поставки, в оговоренные сроки оплатить сумму по контракту. В случае выявления несоответствий с изначально заявленным по утвержденному контракту, обнаружения ошибок в процессе исполнения поставщиком своих обязательств, выставляется претензия по факту отступления от условий контракта и запускается процедура разбирательств, которая влечет за собой санкции в отношении Подрядчика.

По завершению процедуры, подготавливается новый и окончательный комплект документов, который направляется в государственные контрольные органы – Федеральную антимонопольную службу (далее – ФАС) или Казначейство, – на проверку. Положительное решение по данной проверке и не выявление нарушений характеризует прошедшую закупку как успешно исполненную. Полностью закупочный процесс представлен на рисунке 1.

Закупочная деятельность – объемный и сложный процесс, который никак не может обойтись без увеличения сроков. Данному факту подвержены как отдельные операции внутри деятельности, так и весь процесс в целом. В среднем, закупочная деятельность в образовательной организации может проводиться от одного до трех месяцев, с соблюдением всех внутренних сроков и распорядков.

В случае, когда такая деятельности требует больших ресурсов или быстроты исполнения, применяется механизм автоматизации, когда от начала и до конца процесс оптимизируется под обозначенные сроки, отчего упрощается исполнение и контроль задач. Во многих коммерческих организациях для подобной автоматизации процесса закупок используются специальные программные продукты (далее – ПП).

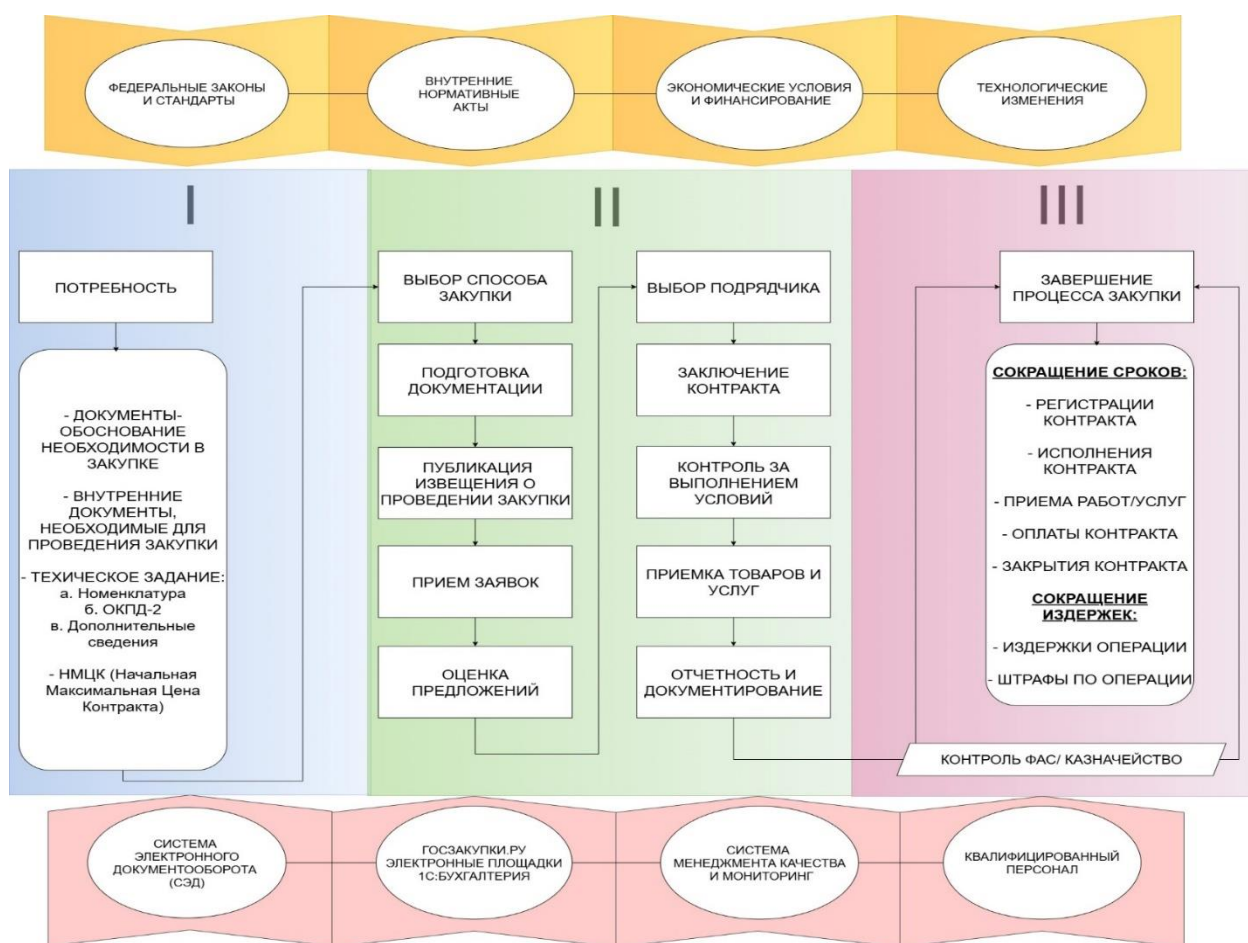


Рис. 1. Поэтапная схема процесса закупочной деятельности

Исследуем рынок и подберем те ПП, которые подойдут под обозначенные задачи.

Одной из таких программ является Naumen [2] от одноименной группы компаний. Naumen – российский вендор корпоративного программного обеспечения и облачных сервисов, технологический партнер в цифровой трансформации, один из лидеров в построении технологических контактных

центров, клиентских сервисов, платформ бизнес–процессов и других внутренних центров компетенций на основе готовых и гибких решений. [2]

В ассортименте ПО компании есть готовое решение по Управлению закупками, которое включает в себя:

- автоматизацию и цифровизацию процессов закупочной деятельности;
- систему управления отношениями с поставщиками;
- платформу для создания корпоративных электронных торговых площадок;
- платформу для создания операторских электронных торговых площадок и порталов закупки для «B2B» и др.

Свое решение в области закупок могут предложить и цифровые сервисы Indusoft Digital Services [3] – семейство кроссплатформенных импортозамещенных программных продуктов от «ИндаСофт», разработанных на современном технологическом стеке. [3]

В структуру цифровых сервисов компании входят такие готовые решения, как:

- I—DS/WF – сервис управления рабочими процессами;
- I—DS/RS – сервис формирования отчетности;
- I—DS/PC—RD – сервис управления регламентированными данными;
- I—DS/PC—MS – сервис учета движения материалов;
- I—DS/LDS—PS—QC – сервис управления паспортизацией товарной продукцией;
- I—DS/PS – сервис календарного планирования.

Подобный и более расширенный функционал может предложить «1С:Государственные и муниципальные закупки» [4] – программа, предназначенная для автоматизации всех этапов подготовки и проведения закупочного процесса. Продукт разработан в соответствии с требованиями Бюджетного кодекса РФ и федеральными законами: №44–ФЗ от 05.04.2023 г. «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения

государственных и муниципальных нужд» [5] и №223–ФЗ от 18.07.2011 «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» [6].

Компания обещает готовое решение по автоматизации всего процесса закупок: от планирования до мониторинга и анализа. Компания гарантирует правильную подготовку всей необходимой документации, защиту от ошибок ввода информации и сокращение трудозатрат на всех этапах закупок, а также предлагает широкий набор инструментов для взаимодействия с рабочим процессом – от механизма настройки способов закупки и до формирования и выгрузки отчетов и мониторинга.

Представим предлагаемый функционал выявленных программных продуктов в сводной таблице 1. Важно отметить, что для Naumen и цифрового сервиса от «Индасофт» также доступна интеграция API систем (таблица 2).

Основываясь на рисунке 1, выделим области автоматизации. Для этого необходимо описать каждый из представленных этапов процесса и оценить их по степени важности и влияния на закупочную деятельность. В данном примере, оценка будет представлять собой цветовое обозначение разных уровней «важности»:

- красный цвет – высокая важность процесса;
- синий цвет – средняя важность процесса;
- зеленый цвет – низкая важная процесса.

Далее, из предварительной оценки этапов, необходимо оставить несколько, которые либо сильно влияют на закупочную деятельность, либо несут в себе большое количество проводимых работ.

К таким этапам следует отнести:

- Формирование плана–закупки (начальная потребность).
- Выбор способа закупки.
- Подготовку документации.
- Оценку предложений.
- Заключение контракта.

- Приемку товаров (работ, услуг).
- Контроль за выполнением условий.
- Отчетность и документирование.

Каждый из представленных этапов следует описать и оценить, а также обозначить область автоматизации.

Так, например, для этапа «Формирование плана–закупок (начальная потребность)» можно автоматизировать составление Технического задания для пунктов закупки, обозначить стандартную номенклатуру или рассчитать НМЦК по существующим формам.

Для того, чтобы комплексно рассмотреть закупочную деятельность и обозначить подобные области автоматизации, необходимо использовать «Сводную таблицу функций программных продуктов» (таблица 1) и «Схему процесса закупочной деятельности» (рисунок 1) и наложить обозначенные данные друг на друга. Так образуется Сводная схема процесса закупочной деятельности с выделенными для автоматизации, описанными и оцененными по «важности» этапами процесса (рисунок 2). На выведенной схеме представлены некоторые этапы закупочной деятельности, которые можно автоматизировать с помощью вышеописанных функций программных продуктов.

Этап «Выбор способа закупок» можно усовершенствовать и автоматизировать с помощью механизма настройки способов закупки, который предлагает ООО «1С».

Таблица 1.
Сводная таблица функций программных продуктов

№	Наименование	ID–S (Индасофт)	1С
1	Консолидация потребностей и формирование планов закупок	Формирование календарного плана с применением математических алгоритмов	Механизм настройки способов закупок

2	Формирование и согласование документации о закупке	Автоматическое формирование отчетности	Справочник продукции; Планирование закупок и формирование плана закупок, плана–графика закупок
3	Процедуры определения поставщика	Автоматизация расчетов по нормативным документам	Загрузка классификаторов
4	Автоматизация договорной работы	Автоматический поиск грубых ошибок и анализ системы изменений	Подготовка и проведение закупок
5	Система отчетов	Солвер отгрузки и вторичных процессов	Механизм согласования документов

Таблица 2. Функции интегрирования систем API

С внешними приложениями и сервисами	Единая информационная система закупок	Внешние электронные торговые площадки	Сервисы проверки контрагентов	Системы электронного документооборота
С внутренними приложениями заказчика	Бухгалтерские и финансовые подсистемы управления	Подсистемы управления электронным документооборотом	Производственные и логистические подсистемы управления	Подсистемы управления взаимоотношениями с покупателями

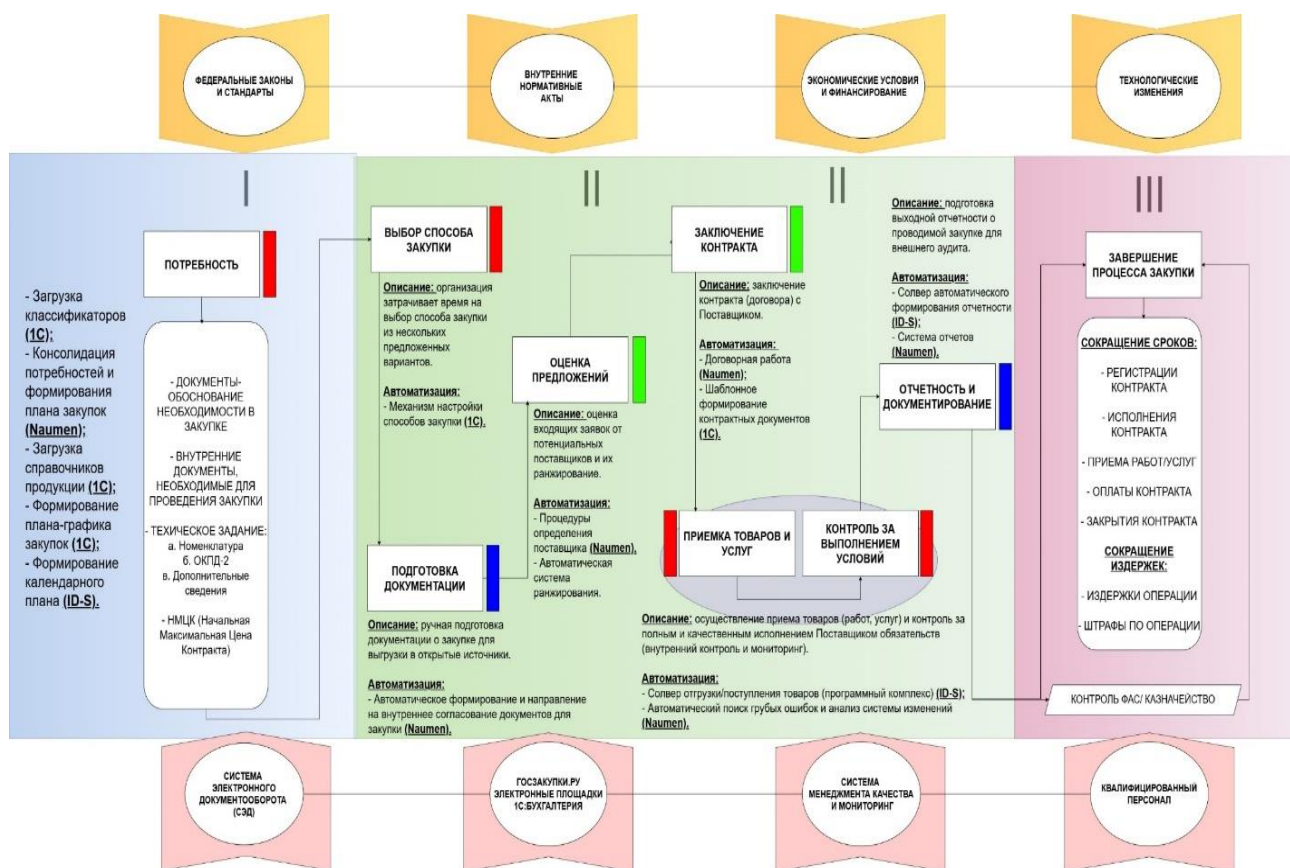


Рис. 2. Сводная схема процесса закупочной деятельности

Инструмент дает возможность гибкой настройки способов закупок, в конфигурации реализован конструктор, позволяющий:

- настроить содержание описательной части закупки;
- определить перечень стандартных и специфических требований к участникам закупок;
- установить критерии и подкритерии оценки предложений;
- настроить печатные форму документов и др.

Полезным эффектом от введения подобного механизма автоматизации процесса будет сокращение сроков работ по описанию, подбору и настройке способов закупок, установлению критериев и подкритериев оценки предложений.

Для этапа «Подготовка документации», на котором проходит ручная подготовка необходимых документов о закупке для выгрузки в открытые

источники, программный продукт от Naumen предлагает автоматическое формирование и направление на внутреннее согласование всех требующихся документов, что сокращает сроки их подготовки и делает качество завершенных официальных бумаг более высоким.

Осуществление приема товаров (работ, услуг) и контроль за полным и качественным исполнением Поставщиком обязательств происходит в рамках этапов «Приемка товаров и услуг» и «Контроль за выполнением условий». Автоматизацией может выступать солвер отгрузки/поступления товаров от группы «Индасофт», который помогает в учете входящих в рамках контракта товаров, и программный продукт Naumen, отвечающий за автоматический поиск грубых ошибок и анализ системы изменений. Представленные функциональные решения предлагают оптимизацию и автоматизацию процесса не только приемки товаров, их срочную проверку и экспертизу, но и мониторинг исполнения условий контракта, что понижает риски возникновения ошибок или некачественных поставок.

Таким образом, получилось выделить области процесса для возможной автоматизации, описать их и оценить по степени «важности». С помощью наложения на закупочную деятельность функций программных продуктов, в определенных областях были выявлены возможности для автоматизации и определен полезный эффект от ее интегрирования, выражающийся в сокращении сроков исполнения этапов или повышении качества процесса.

Подобная точечная автоматизация полезна для процесса, но не является полноценным выходом в вопросе урегулирования потенциальных рисков. Самым эффективным решением для оптимизации закупочной деятельности может быть внедрение комплексной автоматизации, однако она невозможна на основе интеграции в систему лишь одного программного продукта. На основе всего вышеизложенного можно заключить, что для автоматизации всего жизненного цикла закупочной деятельности требуется более универсальный и сбалансированный подход, в последующем подлежащий оценке.

Библиографический список:

1. Порта «ELMA365». Управление закупками: 6 ключевых этапов, типовые ошибки и практическое внедрение на предприятии. [Режим доступа] – Электронный ресурс: <https://elma365.com/ru/articles/procurement-management>
2. Официальный сайт АО «НАУМЕН». Комплексный подход к импортозамещению на базе российских технологий Naumen. [Режим доступа] – Электронный ресурс: <https://www.naumen.ru>
3. Официальный сайт ООО «ИндаСофт». Цифровизация производства. [Режим доступа] – Электронный ресурс: <https://indusoft.ru>
4. Официальный сайт ООО «1С». «1С: Государственные и муниципальные закупки 8». [Режим доступа] – Электронный ресурс: <https://v8.1c.ru/gmz>
5. Официальный портал Федеральной службы судебных приставов. Федеральный закон от 05.04.2013 N 44–ФЗ (ред. от 14.11.2023) «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд». [Режим доступа] – Электронный ресурс: https://fssp.gov.ru/storage/77cd70cd-ba78-4085-83e9-f8d447fb3b6e/00npa2024/prikaz_fssp_44.pdf
6. Официальный портал «КонсультантПлюс – надежная правовая поддержка». Федеральный закон «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» от 18.07.2011 №223-ФЗ (последняя редакция). [Режим доступа] – Электронный ресурс: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116964

Буянов Кирилл Олегович — студент 2 курса магистратуры по направлению Управление качеством, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, Россия; kiri.litsa@yandex.ru

Buyanov Kirill Olegovich — 2nd year student of the Master's program in Quality Management, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow State Technological University «STANKIN», Moscow, Russia; kiri.litsa@yandex.ru

Попов Дмитрий Владимирович — к.э.н., доцент кафедры экономики и управления предприятием, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»; d.popov@stankin.ru

Popov Dmitry Vladimirovich - cand. Sc. of Economics, Associate Professor, Department of Economics and Business Management, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow State University of Technology «STANKIN»; d.popov@stankin.ru

УДК 336.64

Васина А. А., Червенкова С.Г.

Vasina A. A., Chervenкова S.G.

**Разработка подхода к управлению чистым оборотным капиталом
станкостроительного предприятия на основе экономико-математического
моделирования с учетом масштабирования объемов выпуска**

**Development of an approach to managing the net working capital of a machine-
tool manufacturing enterprise based on economic and mathematical modeling,
taking into account the scaling of output volumes**

В статье рассматривается подход к управлению чистым оборотным капиталом (ЧОК) станкостроительных предприятий в условиях значительного увеличения объемов производства, вызванного импортозамещением и ростом спроса на металлообрабатывающее оборудование. Предложена экономико-математическая модель, позволяющая прогнозировать величину ЧОК с учетом изменения поведения ключевых статей оборотных активов и обязательств под воздействием роста объёмов выпуска продукции. Модель включает поправочные коэффициенты, отражающие влияние масштаба производства на уровень товарно-материальных запасов, дебиторской и кредиторской задолженности. Разработанный инструментарий позволяет оптимизировать структуру оборотного капитала, снизить потребность в заемном финансировании и повысить финансовую устойчивость предприятия.

This article examines an approach to managing net working capital (NWC) at machine tool manufacturing companies in the context of a significant increase in production volumes caused by import substitution and growing demand for metalworking equipment. An economic and mathematical model is proposed for forecasting NWC, taking into account changes in the behavior of key current asset and liability items as a result of increased output. The model includes adjustment factors reflecting the impact of production scale on inventory levels, accounts receivable, and accounts

payable. The developed tools enable optimization of the working capital structure, reduction in the need for debt financing, and improvement of the company's financial stability.

Ключевые слова: чистый оборотный капитал, станкостроительное предприятие, экономико-математическое моделирование, управление оборотными активами, рост производства

Keywords: net working capital, machine-building enterprise, economic and mathematical modeling, management of working assets, and production growth

Станкостроительная отрасль, являясь ключевым сегментом машиностроительного комплекса России, играет стратегическую роль в обеспечении технологического суверенитета и обороноспособности страны. Продукция станкостроения составляет основу производственного аппарата практически всех отраслей промышленности, определяя их технический уровень и конкурентоспособность.

В последние годы отечественное станкостроение функционировало в условиях значительной трансформации внешней и внутренней среды. Санкционное давление и разрыв традиционных кооперационных цепочек после 2022 года создали серьезные вызовы, обострив проблему зависимости от импорта комплектующих и готового оборудования. Однако эти же факторы, наложившись на политику импортозамещения и возросший внутренний спрос со стороны оборонно-промышленного комплекса и других отраслей, стали катализатором для интенсивного развития внутреннего производства.

Динамика выпуска металлообрабатывающих станков (рис. 1) наглядно демонстрирует реакцию отрасли на новые условия. После стагнации в 2020-2021 годах, обусловленной последствиями пандемии, наблюдается резкий рост производственных показателей. Так, в 2023 году объем производства составил 20,2 тыс. штук, что на 63,8% превысило показатель 2022 года (12,3 тыс. штук). 2024 год подтверждает сохранение восходящего тренда, объем выпуска составил порядка 21,5 тыс. штук. Представленные данные свидетельствуют об активной

адаптации отрасли и ее растущем значении для переориентации промышленности на внутренние источники снабжения.

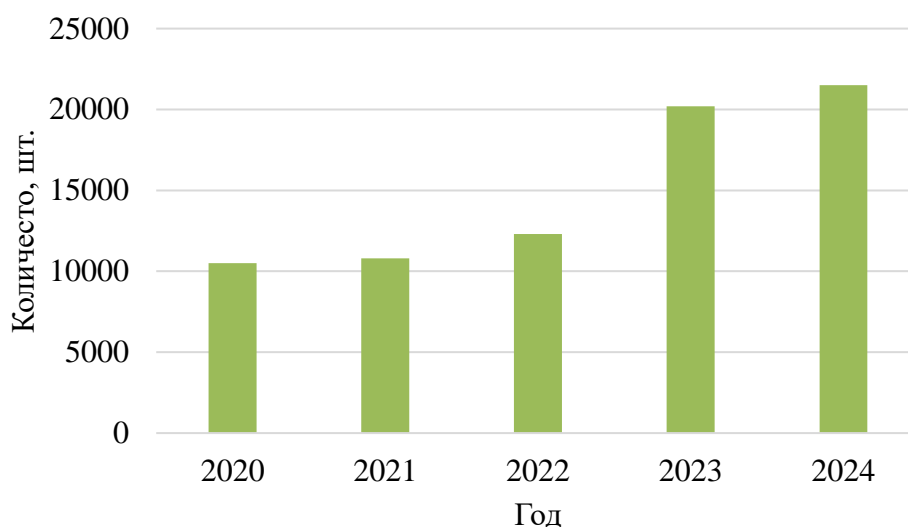


Рис. 1. Динамика производства металлообрабатывающих станков в России за 2020–2024 гг. (шт.)

Современные вызовы, стоящие перед отечественным станкостроением, включают необходимость кратного увеличения объемов выпуска в условиях санкционных ограничений и возросшего внутреннего спроса. Рост производства сопровождается увеличением потребности в оборотном капитале, что обуславливает актуальность задач по эффективному управлению его структурой и объемом [2, 3].

Чистый оборотный капитал является финансовым показателем, рассчитываемый как превышение оборотных активов над краткосрочными обязательствами. Его положительное значение свидетельствует о том, что часть оборотных активов иммобилизована в постоянные запасы и финансируется из долгосрочных источников, обеспечивая компании запас ликвидности и снижая риски финансовой неустойчивости [5]. В станкостроении, характеризующемся длительным производственным циклом и высокой материалоемкостью, оптимизация величины ЧОК становится критически важной для обеспечения непрерывности производства и минимизации стоимости его финансирования [7].

Целью данного исследования является разработка подхода с применением экономико-математического моделирования для прогнозирования величины ЧОК станкостроительного предприятия с учетом масштабирования объемов выпуска.

Теоретической основой работы послужили концепции управления оборотным капиталом, в частности, подходы к анализу и нормированию его составляющих.

Модель прогнозирования величины чистого оборотного капитала

Эффективное управление чистым оборотным капиталом приобретает особую значимость в условиях наращивания производственных мощностей станкостроительными предприятиями. Следует подчеркнуть, что увеличение объемов выпуска продукции не может осуществляться исключительно за счет более интенсивного использования существующих ресурсов – оно объективно требует инвестиций как в основной, так и в оборотный капитал. В противном случае возникает дисбаланс, ведущий к нарушению операционного цикла и кассовым разрывам.

В контексте планирования важно учитывать, что рост производственной программы закономерно формирует дополнительную потребность в чистом оборотном капитале. Увеличение масштабов деятельности неизбежно влечет за собой рост товарно-материальных запасов сырья и комплектующих, объемов незавершенного производства, запасов готовой продукции на складах, а также дебиторской задолженности в связи с ростом числа отгрузок.

Для целей стратегического и тактического финансового планирования представляется методологически обоснованным проведение расчетов на основе среднего значения ЧОК за период. Периодичность прогнозирования (год, полугодие, квартал, месяц) определяется предприятием самостоятельно, исходя из горизонта планирования, отраслевой специфики производственного цикла и требований к детализации управленческой отчетности. Использование средних значений позволяет снизить влияние сезонных колебаний, обеспечивая более объективную оценку потребности в финансировании.

С учетом изложенного, базовое представление ЧОК может быть формализовано следующим образом:

$$\text{ЧОК} = \text{ТМЗ} + \text{ДЗ} - \text{КЗ},$$

где:

ТМЗ – товарно-материальные запасы (сырье и материалы, незавершенное производство, готовая продукция) (Включает все запасы по продуктовым группам);

ДЗ – дебиторская задолженность покупателей (Включает виды дебиторской задолженности по различным контрагентам);

КЗ – кредиторская задолженность перед поставщиками и подрядчиками (без учета прочей кредиторской задолженности, связанной с обязательствами перед персоналом и бюджетом) (В рамках данной модели не рассматриваются краткосрочные кредиты и займы. Под краткосрочными обязательствами понимается только кредиторская задолженность).

В условиях роста производства поведение каждой компоненты ЧОК имеет свою специфику (рис. 2).

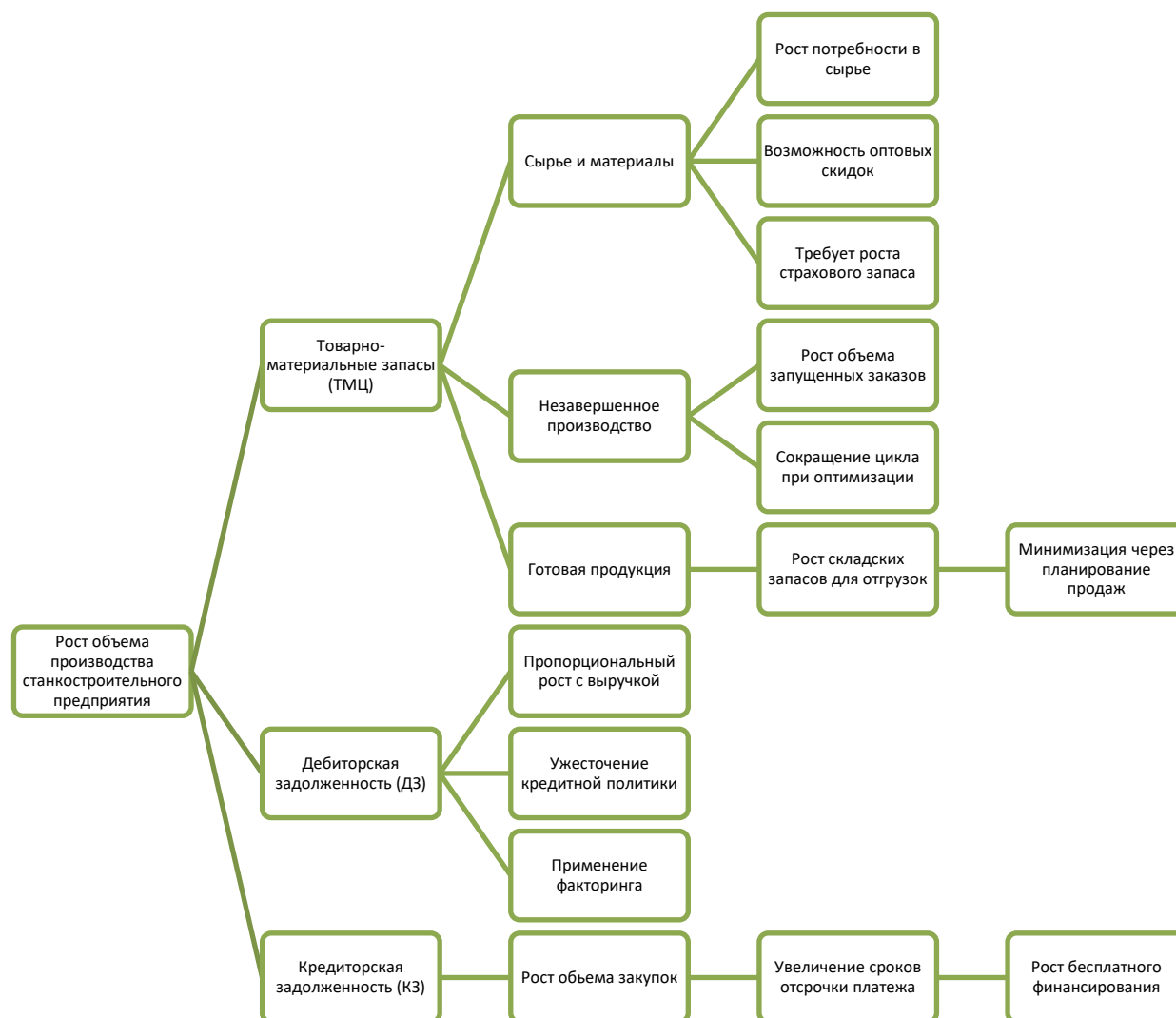


Рис. 2. Схема влияние роста объема производства на компоненты ЧОК станкостроительного предприятия

Специфика поведения товарно-материальных запасов (ТМЗ) при росте объемов производства:

- сырье и материалы: рост объемов закупок может приводить к получению оптовых скидок, снижая удельные затраты, но одновременно требует формирования большего страхового запаса;
- незавершенное производство (НЗП): увеличение количества запущенных в производство заказов приводит к росту

НЗП. Однако, оптимизация технологических процессов может сократить длительность цикла и высвободить средства;

- готовая продукция (ГП): наращивание выпуска требует увеличения складских запасов готово продукции для обеспечения ритмичности отгрузок. В то же время, эффективное планирование продаж и логистики позволяет минимизировать данный вид запасов.

Специфика поведения дебиторской задолженности (ДЗ) – рост выручки, как правило, ведет к пропорциональному росту дебиторской задолженности. Однако ужесточение кредитной политики и применение инструментов факторинга могут замедлить темпы этого роста [8].

Специфика поведения кредиторской задолженности (КЗ) при росте объемов производства заключается в том, что увеличение объемов закупок предоставляет предприятию возможность договориться с поставщиками об увеличении сроков отсрочки платежа, тем самым увеличивая объем бесплатного финансирования.

Для учета нелинейности изменения компонентов ЧОК при росте производства предлагается использовать поправочные коэффициенты, что позволяет перейти от статичной оценки к динамическому прогнозу, адекватно отражающему влияние масштаба деятельности на финансовые потребности предприятия.

На основе проведенного анализа была разработана экономико-математическая модель прогнозирования чистого оборотного капитала:

$$\text{ЧОК}(Q) = \sum_{i=1}^a \text{ТМЗ}_0 * k_{\text{ТМЗ}} * Q + \sum_{i=1}^a \text{ДЗ}_0 * k_{\text{ДЗ}} * Q - \sum_{i=1}^a \text{КЗ}_0 * k_{\text{ДЗ}} * Q \quad (i = \overline{1, a}),$$

где:

$\text{ЧОК}(Q)$ – прогнозируемая величина чистого оборотного капитала при объеме производства Q ;

ТМЗ_0 , ДЗ_0 , КЗ_0 – базовые значения статей при некотором начальном объеме производства;

Q – индекс роста объемов производства;

$k_{\text{ТМЗ}}$, $k_{\text{ДЗ}}$, $k_{\text{КЗ}}$ – поправочные коэффициенты, отражающие нелинейность изменения статей при росте Q .

Коэффициент изменения товарно-материальных запасов ($k_{\text{ТМЗ}}$) учитывает эффект экономии на масштабе и оптимизацию логистики. Коэффициент изменения дебиторской задолженности ($k_{\text{ДЗ}}$) отражает изменение кредитной политики. Коэффициент изменения кредиторской задолженности ($k_{\text{КЗ}}$) характеризует способность предприятия увеличивать сроки отсрочки платежа поставщикам.

Динамика данных коэффициентов в зависимости от роста объема выпуска (Q) представлена на рисунке 3.

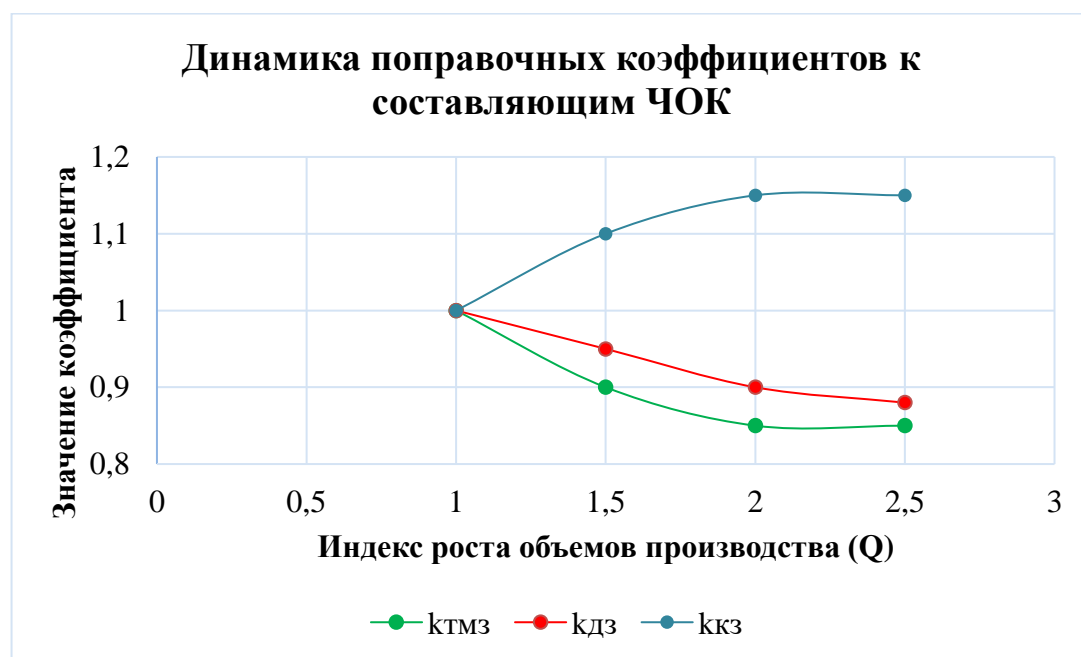


Рис. 3. Логика изменения поправочных коэффициентов в зависимости от объема производства (Q)

Ось X – объем производства (Q) в относительных единицах ($1,0 = 100\%$ от базового уровня). Ось Y – значение поправочного коэффициента

Значение коэффициента для товарно-материальных запасов в области $Q = \{1; 1,5\}$ падает с $1,0$ до $0,9$. Это отражает эффект экономии от масштаба – предприятие начинает получать оптовые скидки от поставщиков, а также оптимизирует логистику, благодаря чему объем запасов растет медленнее, чем объем производства. В области $Q > 1,5$ значение стабилизируется на уровне $0,85$. Достигнут предел оптимизации, дальнейшее снижение затруднено без кардинальных изменений в производственной логистике.

Относительно коэффициента для дебиторской задолженности в области $Q = \{1; 1,5\}$ наблюдается плавное снижение с $1,0$ до $0,95$. Предприятие ужесточает кредитную политику для новых клиентов и активизирует работу по инкассации, чтобы не допустить пропорционального роста ДЗ. В области $Q > 1,5$ снижение продолжается до $0,88$. Внедряются более эффективные инструменты управления (например, факторинг, строгое лимитирование), что позволяет еще сильнее сократить цикл оборачиваемости дебиторской задолженности.

По коэффициенту для кредиторской задолженности в область $Q = \{1; 1,5\}$ наблюдается рост с $1,0$ до $1,1$. Увеличивая объемы закупок, предприятие получает рычаг для переговоров с поставщиками об увеличении сроков отсрочки платежа, тем самым наращивая объем бесплатного финансирования. Область $Q > 1,5$ показывает, что рост замедляется, значение достигает $1,15$. Достигнут предел возможностей по удлинению отсрочки в рамках действующих контрактов.

График наглядно демонстрирует, что при росте производства предприятие может целенаправленно влиять на компоненты ЧОК, добиваясь нелинейного изменения его общей величины. Оптимальное управление заключается в одновременном снижении коэффициентов по активам ($k_{\text{ТМЗ}}$, $k_{\text{ДЗ}}$) и повышении коэффициента по обязательствам ($k_{\text{КЗ}}$), что минимизирует итоговую потребность в финансировании оборотного капитала.

Заключение

Разработанная модель управления чистым оборотным капиталом позволяет количественно оценить влияние роста производства на потребность в финансировании оборотных активов. Ключевым практическим результатом оптимизации структуры и объема ЧОК является снижение потребности в привлечении заемных источников финансирования.

Сокращение объемов чистого оборотного капитала, достигаемое за счет оптимизации управления запасами, дебиторской и кредиторской задолженностью, напрямую уменьшает потребность в финансовых ресурсах, необходимых для обслуживания операционного цикла. Высвобождаемые денежные средства могут быть направлены на финансирование стратегических инвестиционных проектов или досрочное погашение дорогостоящих кредитов, что в конечном итоге способствует снижению средневзвешенной стоимости капитала и повышению рыночной стоимости компании.

Эффективное управление величиной ЧОК создает предпосылки для укрепления финансовой устойчивости предприятия и повышения его инвестиционной привлекательности в условиях динамично изменяющейся внешней среды. Разработанная экономико-математическая модель позволяет станкостроительным предприятиям количественно оценить влияние роста объемов выпуска на потребность в чистом оборотном капитале. Учет поправочных коэффициентов дает возможность моделировать различные сценарии управления запасами, дебиторской и кредиторской задолженностью, выбирая оптимальный для конкретных условий вариант.

Применение модели на практике способствует:

- снижению риска кассовых разрывов за счет точного прогнозирования потребности в финансировании;
- повышению оборачиваемости оборотного капитала;
- сокращению средневзвешенной стоимости капитала за счет увеличения доли бесплатной кредиторской задолженности.

Перспективой дальнейших исследований является адаптация модели для крупных станкостроительных холдингов и интеграция в систему бюджетного управления предприятием.

Библиографический список:

1. Грязнова А.Г. Управление оборотным капиталом промышленного предприятия в условиях нестабильности // Финансы и кредит. – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 284-301.
2. Иванов С.В., Петрова Е.К. Современные инструменты управления ликвидностью и оборотным капиталом // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 1 (150). – С. 45-49.
3. Ковалев В.В. Финансовый менеджмент: теория и практика. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Проспект, 2023. – 1088 с.
4. Лысенко Д.В., Сидоренко О.С. Управление денежными потоками и оборотным капиталом в машиностроении // Экономика промышленности. – 2022. – Т. 15, № 4. – С. 521-536.
5. Модильяни Ф., Миллер М.Х. Стоимость капитала, корпоративные финансы и теория инвестиций: пер. с англ. – М.: Дело, 2022. – 352 с.
6. Савицкая Г.В. Экономический анализ: учебник. – 16-е изд., перераб. и доп. – М.: Инфра-М, 2024. – 944 с.
7. Теплова Т.В., Шапкин И.Н. Управление стоимостью компании: стратегии и финансовые решения. – М.: Юрайт, 2023. – 542 с.
8. Федорова Е.А., Муравьева А.А. Влияние структуры оборотного капитала на финансовую устойчивость машиностроительных предприятий // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 21-40.
9. Чернышев Л.А. Экономико-математические методы и модели в управлении финансами: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: УрФУ, 2023. – 258 с.

Васина Анастасия Андреевна — студент 3 курса магистратуры по направлению Финансовый менеджмент, Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, Россия; stunese@yandex.ru

Vasina Anastasia Andreevna – 3rd-year master's student in Financial Management at the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow State Technological University «STANKIN», Moscow, Russia; stunese@yandex.ru

Червенкова Светлана Геннадьевна — к.э.н., доцент кафедры Финансового менеджмента, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»; gensveta@inbox.ru

Chervenkova Svetlana Gennadievna - cand. Sc. of Economics, Associate Professor of the Department of Financial Management, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow State University of Technology «STANKIN»; gensveta@inbox.ru

УДК 004.94

Волков А.А., Поливанов А.Ю.

Volkov A.A., Polivanov A.Yu.

Цифровой двойник сферической платформы для стабилизации камеры: параметрическое проектирование**Digital twin of a spherical platform for camera stabilization: parametric design**

В статье предложен метод параметрического проектирования сферической мехатронной платформы с параллельной структурой для стабилизации камеры для мобильного робота. Разработана параметрическая 3D-модель в Onshape, обеспечивающая автоматическую перестройку конструкции при изменении геометрических и кинематических параметров. Выполнена оптимизация формы звеньев и расположения шарниров по показателям жёсткости, массы и диапазона ориентации. Модель интегрирована с системой виртуального моделирования для проверки корректности параметризации. Показано, что применение параметрического подхода ускоряет этап проектирования, снижает риск геометрических ошибок и повышает точность последующего цифровой проверки.

This article presents a method for the parametric design of a spherical mechatronic platform with a parallel structure intended for camera stabilization on a mobile robot. A parametric 3D model was developed in Onshape, providing automatic reconstruction of the design when geometric and kinematic parameters are modified. Optimization of the link shapes and joint placements was performed based on stiffness, mass, and orientation range criteria. The model was integrated with a virtual simulation system to verify the correctness of parameterization. It is shown that the use of a parametric approach accelerates the design phase, reduces the risk of geometric errors, and increases the accuracy of subsequent digital verification.

Ключевые слова: параметрическая модель, цифровой двойник, стабилизация камеры, параллельная кинематика, Onshape, автоматизация, мехатроника.

Keywords: parametric model, digital twin, camera stabilization, parallel kinematics, Onshape, automation, mechatronics.

Развитие мехатроники и робототехники представляет собой быстрый процесс, который требует полного смешения механики, электроники, информатики и управления в одну систему. Мехатроника объединяет принципы механики, электроники, информатики и управления, позволяя создавать сложные устройства, способные к самостоятельной работе и приспособлению к новым условиям. В робототехнике этот полный подход особенно важен, поскольку роботы часто выполняют задачи в быстрых окружениях, где требуется высокая точность и прочность. Например, в промышленной робототехнике, такой как сборочные линии или хирургические роботы, смешение механических частей с электронными датчиками и программным обеспечением обеспечивает совместную работу, уменьшая ошибки и повышая производительность [1, 2]. Исследования показывают, что такой подход позволяет сократить время разработки на 20–30%, а также улучшить использование энергии систем.

Это особенно актуально при создании параллельных механизмов стабилизации, где точность положения подвижной платформы напрямую зависит от геометрии конструкции. Параллельные манипуляторы, в отличие от последовательных, предлагают повышенную жёсткость и точность за счёт множества кинематических цепей, работающих одновременно, что делает их подходящими для задач стабилизации, таких платформы для оптических приборов и системах[3]. Геометрия здесь играет ключевую роль: малейшие отклонения в углах или длинах звеньев могут привести к потере точности, поэтому проектирование требует детального изучения.

Для снижения трудозатрат при проектировании и повышения точности применяется параметрическое моделирование, при котором размеры, углы и взаимное расположение элементов задаются набором зависимостей и алгоритмов[4, 5]. Этот метод, основанный на математических параметрах, позволяет создавать модели, где изменение одного значения автоматически

распространяется на всю конструкцию, избегая ручного перестроения. В контексте мехатроники параметрическое моделирование служит основой для цифровых двойников — виртуальных копий реальных устройств, которые имитируют поведение системы в реальном времени. Цифровые двойники предоставляют множество преимуществ: от предиктивного обслуживания (предсказание поломок) до оптимизации процессов, снижая затраты на 15–25% в робототехнике. Такой приём позволяет быстро изменять конструкцию без ручного перестроения, что особенно полезно в итеративном дизайне, где тестируются множественные варианты. Например, в разработке роботов для инспекции, параметрическое моделирование помогает адаптировать геометрию под разные сценарии, обеспечивая кинематическую совместимость и минимизируя риски. Кроме того, оно интегрируется с ИИ для автоматизированного анализа, повышая точность на 20–30% по сравнению с традиционными методами. В целом, параметрическое моделирование меняет процесс проектирования, делая его более гибким и эффективным, и лежит в основе перехода к Индустрии 4.0.

Целью работы является создание параметрической 3D-модели сферической мехатронной платформы с параллельной структурой для стабилизации видеокамеры и проверка её корректности посредством виртуальной симуляции. Эта платформа предназначена для обеспечения стабильного положения камеры в трёх степенях свободы (вращение по осям roll, pitch, yaw), что критично для приложений в видеонаблюдении, дронах или автономных транспортных средствах. Виртуальная симуляция позволяет тестировать модель в различных условиях, таких как вибрации или внешние воздействия, без физического прототипа, снижая затраты и время. Исследования подтверждают, что такие модели улучшают безопасность и эффективность, особенно в коллаборативной робототехнике. Проверка корректности включает анализ кинематики, динамики и интеграции с контроллерами, обеспечивая соответствие реальным сценариям.

Для реализации параметрической модели использована облачная CAD-система Onshape, предоставляющая широкие возможности для совместного дизайна. Onshape поддерживает задания геометрических и логических связей между параметрами, позволяя определять зависимости, такие как уравнения для длин звеньев. Автоматическая перестройка элементов при изменении исходных данных обеспечивает мгновенные обновления, минимизируя ошибки[6]. Экспорт в форматы .STEP и .OBJ облегчает интеграцию с внешними средами, такими как симуляторы или 3D-печать. В отличие от традиционных CAD, Onshape использует облачную архитектуру. Дополнительно, функции конфигураций и multi-part studios позволяют создавать вариации моделей без создания отдельных файлов, что идеально для робототехники с множественными компонентами.

Платформа состоит из базы (рис. 1), представляющей фиксированную основу с радиусом R , трёх ведущих и трёх ведомых сегментов (рис. 2), обеспечивающих движение, а также фланца (рис. 3) для крепления камеры (приёмника изображения в составе камеры) [7, 8]. Оси приводов размещены под углом 120° , что обеспечивает равномерное распределение нагрузок и минимизирует вибрации.

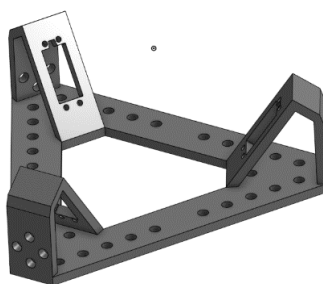


Рис. 1. База платформы

Такие конфигурации предлагают высокую жёсткость и точность, в отличие от последовательных манипуляторов, где ошибки накапливаются. Ведущие сегменты управляются сервоприводами, ведомые — обеспечивают пассивную поддержку, а фланец фиксирует камеру для стабильного положения.



Рис. 2. Ведущие и ведомые сегменты платформы

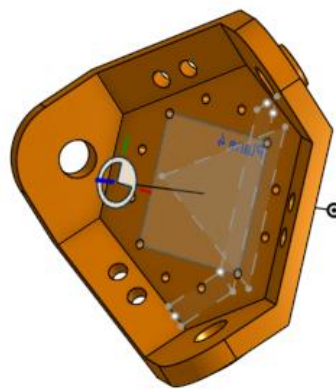


Рис. 3. Фланец платформы

Эта структура позволяет быстро ориентировать камеру в робототехнике.

Основные переменные модели: радиус базы R , определяющий общий масштаб; длины звеньев L_1 и L_2 , влияющие на диапазон движения; углы между осями α , β , γ , контролирующие ориентацию. Эти переменные позволяют параметризовать модель для разных приложений, от компактных дронов до промышленных систем.

Зависимости между параметрами задаются уравнениями:

$L_1 = R \cdot \sin(\alpha)$, где $\sin(\alpha)$ определяет проекцию по высоте;

$L_2 = R \cdot \cos(\beta)$, фиксирующий горизонтальную компоненту;

$H = L_1 + L_2 \cdot \sin(\gamma)$, рассчитывающий текущую высоту платформы.

Эти тригонометрические уравнения обеспечивают кинематическую

совместимость, предотвращая конфликты в движении. Например, \sin и \cos используются для учёта угловых зависимостей в сферических координатах, типичных для параллельных манипуляторов. Изменение любого параметра, такого как R , вызывает автоматическую перестройку всей конструкции в Onshape, что даёт возможность варьировать размеры и диапазоны стабилизации, не нарушая кинематической совместимости. Это позволяет тестировать сценарии, такие как увеличение нагрузки или изменение углов, с мгновенной визуализацией.

На базе параметрической модели проведён анализ влияния радиуса основания и толщины звеньев на жёсткость и моменты инерции. Жёсткость оценивалась по сопротивлению деформациям, моменты инерции — по динамике вращения. Метод вариаций, как оптимизационный подход, включал итеративные изменения параметров для поиска минимума/максимума целевых функций, таких как минимизация инерции при сохранении жёсткости.

Анализ показал, что увеличение R на 20% повышает жёсткость на 15%, но увеличивает инерцию на 10%.

Применённый подход позволил:

- сократить время проектирования на 45–50 %, благодаря автоматическим обновлениям и конфигурациям в Onshape;
- выявлять геометрические несоответствия через встроенные проверки;
- оптимизировать параметры, используя быстрое перестраивание модели.

Дополнительно, цифровые двойники позволили симулировать реальные сценарии, снижая риски и улучшая безопасность в взаимодействии человека и робота. В сравнении с традиционными методами, это снижает ошибки на 30% и ускоряет итерации.

В результате созданная параметрическая модель сферической платформы для стабилизации видеокамеры обеспечивает возможность изменения конструкции под разные условия эксплуатации. Она является эффективным

инструментом при создании цифровых двойников мехатронных и робототехнических систем, позволяя предварительный анализ, снижение затрат и повышение надёжности, а также позволяет мониторить систему в реальном времени, предсказывая сбои и оптимизируя.

Библиографический список:

1. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами: Учеб. Для вузов – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 400с.
2. Лукинов А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: Учебное пособие – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 608 с.
3. Волков А. А. Применение параллельной кинематики в системе стабилизации камеры // Высокоэффективные инновационные технологии и инженерия поверхности — Москва: МГТУ «СТАНКИН», 2024. — С. 59–60.
4. Бербюк, В. Е. Динамика и оптимизация робототехнических систем / В.Е. Бербюк. - М.: Наукова думка, 2014. - 192 с.
5. Тывес, Л. И. Механизмы робототехники. Концепция развязок в кинематике, динамике и планировании движений / Л.И. Тывес. - М.: Ленанд, 2014. - 208 с.
6. Волков А. А. Кинематическое моделирование и 3D-проектирование сферической платформы с параллельной структурой для стабилизации камеры робота // XLIX Академические чтения по космонавтике. Том 2 — Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2025. — С. 379–380.
7. Волков А. А. Кинематическая характеристика платформы для стабилизации камеры робота: сборка, рабочие режимы и анализ сингулярностей // Строительные и дорожные машины. – 2025. – Т. 69, № 1. – С. 40–48.
8. Волков А. А. Решение прямой и обратной задачи кинематики сферической платформы для стабилизации приемника изображения системы технического зрения мобильного робота. // Ежегодная национальная (с международным участием) научно-техническая конференция профессорско-преподавательского

состава, аспирантов и студентов мытищинского филиала МГТУ им. Н. Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ за 2024 год — Мытищи: Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2025.

Волков Андрей Алексеевич - аспирант Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», e-mail: endaudio@yandex.ru

Volkov Andrey Alexeevich - postgraduate student Moscow State Technological University «STANKIN», e-mail: endaudio@yandex.ru

Поливанов Александр Юрьевич - к.т.н., доцент Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва

Polivanov Alexander Yurievich - Cand. Tech. Sci., associate professor Moscow State Technological University «STANKIN».

УДК 336,338

Гимадинова Л.Р.

Gimadinova L.R.

Роль и ограничения «малых данных» (внутренняя финансовая отчетность) в процессе принятия корпоративных решений**The role and limitations of «small data» (internal financial reporting) in the corporate decision-making process**

Актуальность статьи обусловлена необходимостью систематизации области корректного применения «малых данных» в оперативных и стратегических решениях в компании и описать ограничения их использования. Внутренняя финансовая отчетность, часто характеризующаяся как «малые данные», представляет собой важный, но ограниченный информационный ресурс для лиц, принимающих корпоративные решения. В то время как внешняя финансовая отчетность служит интересам инвесторов и регулирующих органов, внутренняя отчетность направлена на предоставление руководству своевременной и полезной информации для оперативного контроля и стратегического планирования. Понимание как ее мощных возможностей, так и присущих ей ограничений имеет важное значение для эффективного корпоративного управления.

The relevance of this article stems from the need to systematize the correct application of “small data” in operational and strategic decisions within a company and to describe the limitations of its use. Internal financial reporting, often characterized as “small data,” is an important but limited information resource for corporate decision-makers. While external financial reporting serves the interests of investors and regulators, internal reporting is aimed at providing management with timely and useful information for operational control and strategic planning. Understanding both its powerful capabilities and inherent limitations is essential for effective corporate governance.

Ключевые слова: технологии анализа данных, принятие стратегических и оперативных решений, малые данные, финансово-экономическое управление.

Keywords: data analysis technologies, strategic and operational decision-making, small data, financial and economic management.

Стратегическая роль малых данных в процессе принятия решений

Малые данные во внутренней финансовой отчетности отлично подходят для обеспечения контекстуального понимания и немедленного (оперативного) применения к бизнес-проблемам. В отличие от аналитики больших данных, которая выявляет общие корреляции между огромными массивами данных, малые данные сосредоточены на выявлении причинно-следственных связей, которые «достаточно малы и логичны, чтобы быть понятыми в контексте данного бизнеса». Это делает их особенно ценными для операционных решений, где скорость и ясность превосходят статистическую полноту. [1,8,9,11].

Внутренние финансовые отчеты расширяют возможности менеджмента компании благодаря нескольким ключевым функциям: [5,13,14].

- Бюджетирование и прогнозирование, которые устанавливают реалистичные финансовые цели на основе исторических показателей.
- Анализ отклонений, сравнивающий фактические результаты с бюджетом, что позволяет быстро принимать корректирующие меры.
- Анализ затрат, выявляющий неэффективность и возможности для экономии.
- Оценка результатов деятельности с помощью ключевых показателей эффективности, адаптированных к конкретным бизнес-целям.
- Отчетность по подразделениям, предоставляющая подробную информацию о результатах деятельности на уровне подразделений.

Поддержка принятия решений в режиме реального времени

Одним из наиболее значительных преимуществ малых данных является своевременность. Внутренние отчеты могут генерироваться ежедневно, еженедельно или даже в режиме реального времени, в отличие от квартальной или годовой периодичности внешней отчетности. Такая оперативность

позволяет организациям быстро реагировать на возникающие проблемы — будь то выявление проблем с денежным потоком, определение неэффективных продуктов или использование неожиданных возможностей [7,15,16].

Исследования показывают, что компании, использующие отчетность в режиме реального времени, достигают 15-25% роста EBITDA, в первую очередь за счет более быстрого решения проблем и проактивной корректировки стратегии. Особенно для малых и средних предприятий такая гибкость может выровнять условия конкуренции с более крупными конкурентами, располагающими большими ресурсами [7].

Оперативный контроль и управленческий учет

Управленческий учет — дисциплина, лежащая в основе внутренней финансовой отчетности, служит мостом между необработанными финансовыми данными и стратегическими действиями. Управленческий учет выполняет три основные функции: планирование деятельности, управление деятельностью, контроль деятельности [14].

Эти функции позволяют менеджерам поддерживать операционную эффективность и обеспечивать соответствие повседневной деятельности стратегическим целям. В отличие от внешней отчетности, ориентированной на историческую точность, управленческий учет является перспективным и гибким, адаптируя отчеты для удовлетворения конкретных внутренних потребностей без нормативных ограничений [7].

Качественный контекст для количественных показателей

Эффективная внутренняя отчетность сочетает в себе как количественные, так и качественные данные. Цифры показывают, что происходит, а качественные данные объясняют, почему и как. Например, снижение показателей продаж (количественные данные) приобретает смысл в сочетании с отзывами клиентов о качестве обслуживания или характеристиках продукта (качественные данные). Такой комплексный подход обеспечивает обоснование для принятия

стратегических решений и не позволяет руководителям «зацикливаться на нескольких данных», не понимая основных движущих сил [12].

Фундаментальные ограничения малых данных

Объем и полнота

Наиболее значительным ограничением малых данных является их узкий объем. Сосредоточиваясь на конкретных, управляемых наборах данных, внутренняя отчетность может не отражать всю сложность операций организации или не давать полного представления о динамике рынка. Этот «ограниченный объем» может привести к «неполным или искаженным выводам», когда лица, принимающие решения, не имеют представления о закономерностях, которые проявляются только в более крупных и разнообразных наборах данных [7,18].

Проблемы качества и точности данных

Внутренняя финансовая отчетность сталкивается с постоянными проблемами, связанными с качеством и точностью данных. К общим проблемам относятся [18]:

- Человеческие ошибки при ручном вводе данных и процессах сверки.
- Несогласованность отчетности между отделами, использующими разные методы классификации.
- Изолированность данных при ненадлежащей интеграции систем, требующая ручной передачи данных, что приводит к ошибкам.
- Ограниченные ресурсы для проверки данных и контроля качества, особенно в малых предприятиях.

Статистика показывает: 65 % опрошенных финансовых специалистов сообщили, что их компании были вынуждены пересчитывать прибыль из-за неточностей, не выявленных до закрытия бухгалтерской отчетности. Несмотря на то, что эти неточности могут быть незначительными, их распространенность подрывает доверие к внутренней отчетности при принятии важных решений [18].

Компромиссы в отношении своевременности

Управленческая отчетность, которая поступает слишком поздно, «из практической становится в лучшем случае устаревшей, а в худшем — бесполезной». Такая проблема сроков особенно актуальна для организаций с ограниченным штатом бухгалтеров, где нехватка персонала и неэффективная система могут привести к задержкам в отчетности на «два или три месяца» — слишком долго для эффективного оперативного управления.

Отсутствие внешнего бенчмаркинга

Внутренняя отчетность фокусируется исключительно на результатах деятельности организации, не предоставляя сравнительного контекста. Без внешних ориентиров лица, принимающие решения, не могут оценить, представляют ли их показатели конкурентные преимущества или недостатки. Десятипроцентная (10%) прибыль может казаться хорошим показателем внутри компании, но на самом деле может сигнализировать о низкой эффективности по сравнению с отраслевыми стандартами.

Подобная изолированность ограничивает возможности стратегического планирования, поскольку руководство не имеет представления о конкурентной позиции, тенденциях в отрасли или передовом опыте, применяемом конкурентами [4,6].

Технологические и интеграционные пробелы

Многие организации сталкиваются с технологическими ограничениями, которые снижают эффективность внутренней отчетности [2,10,17]:

- Устаревшие системы, не имеющие функций мониторинга в режиме реального времени и автоматических оповещений.
- Недостаточная интеграция систем, приводящая к накоплению данных и необходимости ручной работы.
- Ограниченный доступ к сложным аналитическим инструментам, особенно для малых и средних предприятий с ограниченными ресурсами.

Такие технологические пробелы означают, что организации не могут в полной мере использовать свои внутренние данные, упуская возможности для углубленного анализа, прогнозного моделирования и автоматического выявления исключений.

Семантические и организационные проблемы

Даже технически правильные данные становятся проблематичными, когда вмешиваются организационные факторы [2,3,10,17]:

1. Неясная семантика данных: бизнес-пользователи сталкиваются с трудностями, когда организация данных не соответствует операционной терминологии.
2. Несогласованные определения: разные отделы могут по-разному определять один и тот же показатель, что создает проблемы при сверке данных.
3. Сложность инструментов самообслуживания: многие аналитические платформы «самообслуживания» по-прежнему требуют технических навыков, которыми бизнес-пользователи не обладают.

Показательный пример из практики: сеть ресторанов в США обнаружила, что в одном из заведений молочные коктейли кодировались как напитки, а в других — как десерты, что приводило к противоречивым отчетам о продажах и делало невозможным сравнение показателей разных заведений. Такие семантические несоответствия подрывают достоверность агрегированных внутренних отчетов [16].

Оптимальные варианты использования малых данных

Малые данные превосходны в ситуациях, требующих [8,11]:

- быстрого принятия оперативных решений на основе четко определенных внутренних показателей;
- анализа на уровне отдела или проекта, где важны мельчайшие детали;
- понимания поведения клиентов на индивидуальном уровне или на уровне сегмента;
- инициативы по контролю затрат, нацеленные на конкретные категории расходов;

- краткосрочные тактические корректировки в ответ на неотложные проблемы с производительностью.

Укрепление систем внутренней отчетности

Организации могут смягчить ограничения малых данных посредством систематических улучшений [2,3,15,16,10]:

1. Автоматизировать сбор и проверку данных, чтобы сократить количество человеческих ошибок и ускорить циклы отчетности.
2. Обеспечить надежный внутренний контроль, включая разделение обязанностей и регулярные аудиты.
3. Стандартизировать протоколы отчетности с помощью унифицированных планов счетов и единой классификации.
4. Инвестировать в интегрированные системы ERP (Enterprise Resource Planning), которые устраняют разрозненность данных и позволяют вести отчетность в режиме реального времени.
5. Установить четкое управление данными, обеспечивающее семантическую согласованность и стандарты качества.
6. Проводить постоянное обучение финансовых команд по вопросам развития инструментов, технологий и нормативных требований.

Заключение

«Малые данные» внутренней финансовой отчетности обеспечивают менеджеров оперативной, контекстуальной информацией для контроля и тактических решений. Их преимущества — скорость, ясность и практическая применимость. Однако ограниченность объема, уязвимость к ошибкам и отсутствие внешнего контекста делают их недостаточными для стратегического планирования.

Эффективные организации комбинируют внутренние данные с внешними источниками и аналитическими инструментами, создавая целостную информационную экосистему. При таком подходе «малые данные»

превращаются из ограниченного ресурса в важный инструмент обоснованного и гибкого корпоративного управления.

Библиографический список

1. Гимадинова Л.Р. Использование возможностей технологии аналитики данных для эффективного управления экономикой и финансами предприятия. УИРП-2024 / Москва: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Изд-во «Янус-К», 2024. – 596 с.: ил.
2. Small Business Problems in Data Collection. FormAssembly.URL: <https://clcl.li/Zpisb>.
3. Causes of Financial Discrepancies in Scaling Teams. Phoenix Strategy Group. URL: <https://clcl.li/qriPp>.
4. Financial Data Points that Inform Business Strategy. AccountingDepartment.com. URL: <https://clcl.li/bmqKD>.
5. Data Governance in Action: 4 Challenges for Small and Mid-Sized Businesses (SMBs). The SERO Group. URL: <https://clcl.li/ggDQR>
6. Financial Reporting for Different Business Sizes. ReachReporting. URL: <https://clcl.li/Vtshh>.
7. Flexible Real-Time Reporting: The Future of Data-Driven Decision Making. Ringy. URL: <https://clcl.li/GtWwC>.
8. Internal management reporting. Syft Analytics Inc. URL: <https://goo.su/jTBAXeH>.
9. Internal Reporting Defined. Aurora training advantage.com.URL: <https://goo.su/7WWn0xm>.
10. Limitations of Internal Controls and How to Fix Them? Metricstream. URL: <https://clcl.li/TdBgk>.
11. Management Accounting and Decision-Making: How Accountants Drive Business Strategy. Raymond A Mason School of Business. URL: <https://clcl.li/GRWUK>

12. Quantitative vs Qualitative Data. The M&E Specialist. URL: <https://clc.li/auoTv>.
13. Small and Wide Data is Important and Relevant: Is the Era of Big Data Coming to an End? SignumAI. URL: <https://goo.su/jGyjIEi>.
14. Small data: data strategies that most companies can profit from. California Review Management. URL: <https://goo.su/xlOzs>.
15. Why Are Business Financial Reporting Important for Small Businesses? Invensis Technologies Pvt Ltd. URL: <https://goo.su/uI4s>.
16. Why Small Data Is the New Big Data. Business journal from the Wharton School of the University of Pennsylvania. URL: <https://goo.su/ETHHe>.
17. Why You Should be Focused on Small Data, Not Big Data. Silectis. URL: <https://clc.li/OXYIO>.
18. Wrong Numbers: The Risks of Inaccurate Financial Statements. AFERM. URL: <https://clc.li/qMMjl>.

Гимадинова Лилия Ринатовна – магистрант кафедры финансового менеджмента ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», lgimadinova@bk.ru

Liliya Rinatovna Gimadinova – student of the Department of Financial Management of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «MSTU «STANKIN», lgimadinova@bk.ru

УДК 621.833.5:621.81-181.4:004.42

Глазунов Д., Соболев А.Н.

Glazunov D., Sobolev A.N.

Компактные силовые узлы: сквозное проектирование планетарного редуктора в интегрированной среде

Compact Power Units: Integrated Design of a Planetary Reducer in a Unified Software Environment

В данной работе рассматривается комплексный подход к проектированию малогабаритного трехступенчатого планетарного редуктора с двумя выходными валами, ориентированного на применение в робототехнике и автоматизированном оборудовании. Исследование охватывает полный цикл разработки – от кинематического расчета и силового анализа до создания трехмерной модели и конструкторской документации. Процесс проектирования реализован в интегрированной среде T-FLEX PLM с активным использованием САЕ-модуля «Зубчатые передачи» для верификации параметров планетарных рядов. Особенностью работы является применение методологии «сверху-вниз», обеспечивающей целостность проекта и согласованность компонентов. Разработка выполнена в рамках учебного проекта, а ее результаты интегрированы в образовательный процесс для формирования компетенций в области автоматизированного проектирования сложных механических систем.

This paper presents a comprehensive approach to the design of a compact three-stage planetary gearbox with two output shafts, intended for use in robotics and automated equipment. The research covers the full development cycle - from kinematic analysis and strength calculations to the creation of a 3D model and engineering documentation. The design process was implemented in the integrated T-FLEX PLM environment, actively utilizing the «Gear Trains» CAE module for the verification of planetary stage parameters. A distinctive feature of this work is the application of the top-down methodology, which ensures project integrity and component consistency.

The development was carried out as part of an educational project, and its results have been integrated into the curriculum to build competencies in the computer-aided design of complex mechanical systems.

Ключевые слова: силовой привод, планетарная передача, T-FLEX PLM, сквозное проектирование, CAE-анализ, 3D-моделирование, малогабаритная техника.

Keywords: power drive, planetary gear, T-FLEX PLM, end-to-end design, CAE analysis, 3D modeling, compact machinery.

Современные тенденции в машиностроении, такие как роботизация и миниатюризация оборудования, формируют устойчивый спрос на компактные, высокоэффективные и надежные механические передачи. Среди множества конструктивных решений планетарные редукторы занимают особое положение, поскольку сочетают в себе высокую плотность мощности, значительное передаточное число и минимальные массогабаритные показатели [3-5]. Эти качества обуславливают их широкое применение в критически важных узлах промышленных роботов, станков с ЧПУ, медицинских аппаратов и аэрокосмической техники.

Эффективное проектирование таких сложных механизмов, как многоступенчатые планетарные редукторы, требует от инженера не только глубоких теоретических знаний, но и владения современными инструментами компьютерного моделирования. Необходимость одновременного учета кинематических, прочностных и технологических аспектов делает процесс разработки многогранной задачей, оптимальное решение которой возможно в рамках интегрированных CAD/CAE/CAM-систем.

Целью настоящей работы является демонстрация практического применения среды T-FLEX PLM для сквозного проектирования компактного трехступенчатого планетарного редуктора, а также апробация данной методики в рамках проектно-ориентированного обучения.

Конструктивные особенности и преимущества планетарных механизмов

Планетарный редуктор представляет собой сложную кинематическую схему, основу которой составляют зубчатые колеса, движущиеся по траекториям, аналогичным планетарной системе. Ключевыми компонентами механизма являются:

1. Солнечная шестерня (центральное колесо): расположена в геометрическом центре системы и часто служит звеном, воспринимающим входную мощность.

2. Сателлиты (планетарные шестерни): группа одинаковых зубчатых колес, находящихся в одновременном зацеплении с солнечной и коронной шестернями. Они установлены на подшипниках и закреплены на водиле.

3. Коронная шестерня (эпицикл): крупное зубчатое колесо с внутренним зацеплением, обрамляющее всю планетарную систему и механически связанное с корпусом редуктора.

4. Водило: несущий элемент, объединяющий оси сателлитов и выполняющий функцию выходного вала.

Ключевые эксплуатационные преимущества данной схемы проистекают из ее конструктивного исполнения:

1. Компактность и высокая удельная мощность. Многопоточная передача мощности через несколько сателлитов позволяет распределить нагрузку и существенно уменьшить габариты механизма по сравнению с традиционными ступенчатыми редукторами при равном крутящем моменте.

2. Высокий КПД. Равномерное распределение усилий между сателлитами минимизирует потери на трение, обеспечивая коэффициент полезного действия на уровне 95–98% для одной ступени.

3. Соосность входного и выходного валов. Данное свойство упрощает компоновку приводных систем в ограниченном пространстве.

Наиболее ответственным этапом стало проектирование зубчатых зацеплений. Для его реализации был задействован специализированный CAE-модуль «Зубчатые передачи» системы T-FLEX PLM. Этот инструмент позволил автоматизировать решение ряда фундаментальных задач:

1. Кинематический расчет: определение передаточных чисел и подбор чисел зубьев для всех шестерен планетарного ряда.
2. Проверка условий сборки и соседства: обеспечение физической возможности монтажа механизма и отсутствия пересечения сателлитов в пространстве.
3. Соблюдение условия соосности: гарантия выравнивания центральных валов системы после сборки.
4. Прочностной расчет: верификация зубчатых передач на контактную и изгибную прочность, а также определение долговечности подшипниковых узлов.

Модуль предоставляет инженеру возможность проводить итерационный анализ множества вариантов компоновки, визуализируя результаты и выбирая оптимальную конфигурацию, удовлетворяющую техническому заданию и критериям производительности (рис. 2).

Рис. 2. Расчет планетарного ряда в T-FLEX PLM

Реализация проекта и результаты

На основании результатов САЕ-анализа была создана параметрическая трехмерная модель редуктора (рис. 3, 4). Процесс твердотельного моделирования осуществлялся с ориентацией на действующие стандарты (ГОСТ) и рекомендации справочников по машиностроению. Были смоделированы все компоненты: солнечные шестерни, сателлиты, коронные шестерни, водила, корпусные детали и элементы крепления.

Сборка виртуального прототипа выполнялась в контексте общей модели, что позволило контролировать геометрические связи между компонентами и исключить коллизии. Конструкция корпуса оптимизировалась на основе компоновочных размеров внутренних механизмов, обеспечивая их защиту и правильное функционирование.

Итогом проектной деятельности стал полный комплект конструкторской документации, включающий:

1. Трехмерную ассоциативную модель редуктора в сборе и в разобранном состоянии.
2. Сборочные чертежи с спецификацией.
3. Чертежи общих видов и деталировочные чертежи ключевых компонентов.

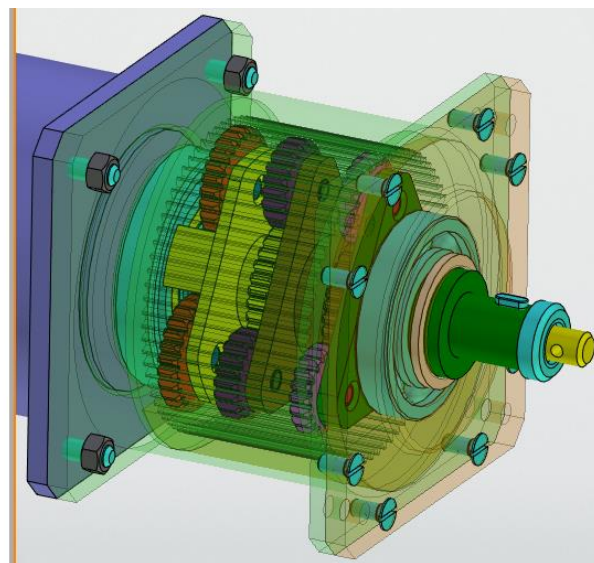
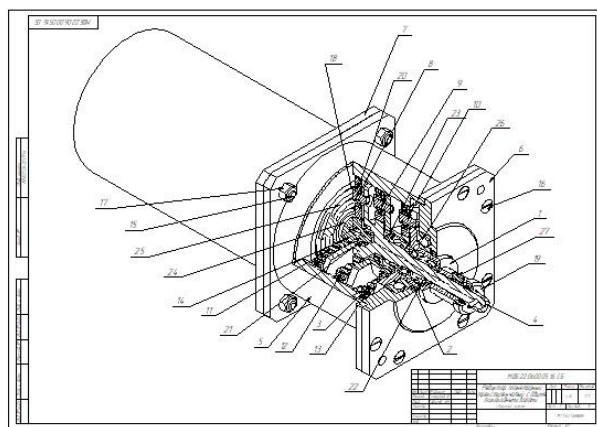


Рис. 3. Планетарный редуктор в сборе

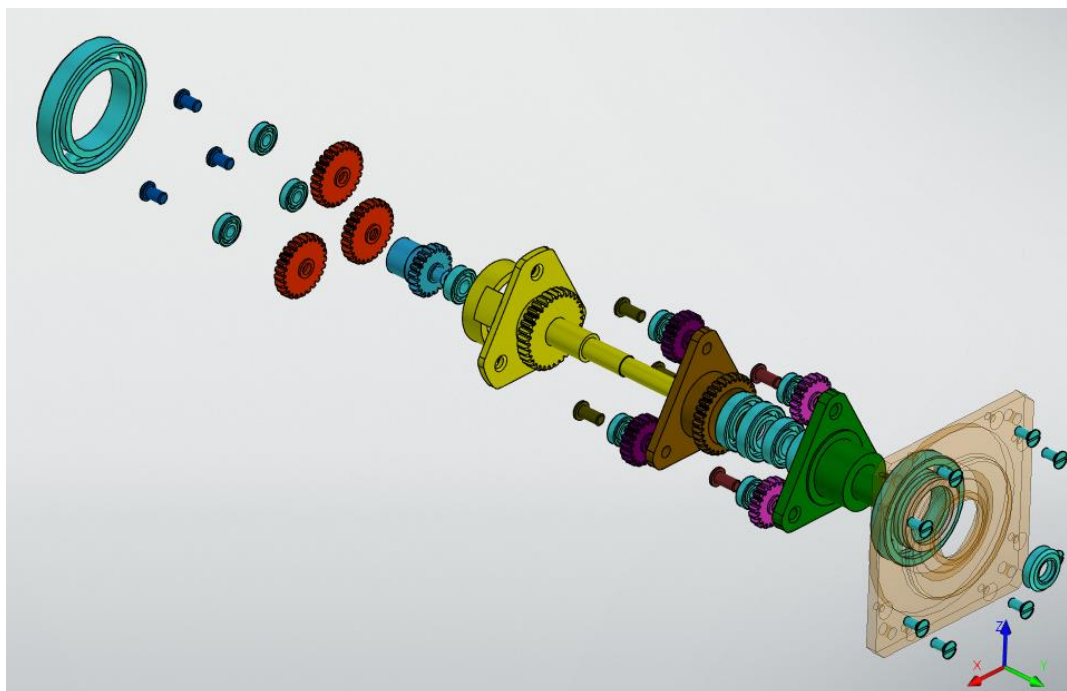


Рис. 4. Планетарный редуктор в разборе

Интеграция в образовательный процесс и перспективы

Выполненный проект является наглядным примером успешной интеграции проектной деятельности в учебный процесс. Он демонстрирует переход от абстрактного изучения теории механизмов к решению конкретной инженерной задачи с использованием промышленного программного обеспечения [1,2].

Полученные результаты имеют практическую ценность для образовательной программы:

1. Формирование фонда учебных кейсов. Разработанная модель и методика проектирования будут использоваться в качестве учебного материала в курсах «Теория механизмов и машин» и «САПР».
2. Подготовка к реальной инженерной деятельности. Студенты получают опыт сквозного проектирования, от идеи до подготовки управляющих программ для ЧПУ.
3. Создание задела для НИОКР. Накопленные компетенции и готовые решения могут быть оперативно использованы для выполнения контрактных работ и исследований в интересах промышленных партнеров университета.

Заключение

В рамках работы была успешно реализована задача сквозного проектирования малогабаритного планетарного редуктора с применением современных технологий компьютерного инжиниринга. Использование интегрированной среды T-FLEX PLM и ее CAE-модуля позволило не только создать конкурентоспособную конструкцию, но и оптимизировать процесс ее разработки, минимизировав вероятность ошибок.

Проведенная работа подтверждает эффективность проектно-ориентированного подхода в подготовке инженерных кадров. Формирование у студентов компетенций в области сквозного проектирования сложных технических систем напрямую способствует достижению целей Передовой инженерной школы, ориентированной на подготовку специалистов, готовых к решению задач нового технологического уклада.

Библиографический список

1. Бильчук М.В. Роль профессионального образования молодёжи в реализации государственной молодёжной политики // Техническое творчество молодежи. 2024. № 5. С. 1.
2. Бильчук М.В. Будущее инженерной профориентации - уже сегодня // Техническое творчество молодежи. 2023. № 6. С. 1-2.
3. Руденко В. Н. Планетарные и волновые передачи. М. Машиностроение, 1980г. - 148 с.
4. Соболев А.Н., Некрасов А.Я., Ривкин А.В. Разработка основ методологии проектирования планетарных механизмов 3К с применением T-FLEX PLM для нужд станкостроения // Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 4. С. 71-85.
5. Соболев А.Н., Косов М.Г. Автоматизация кинематического и динамического анализа технологических машин. Вестник МГТУ «Станкин». 2010. №2. С. 32-36.

Глазунов Данил – студент 4 курса, кафедра станков, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», danil.da.gl.02@mail.ru

Glazunov Danil – 4th year student, Department of Machine Tools, Moscow State University of Technology «STANKIN», danil.da.gl.02@mail.ru

Соболев Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры станков, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», t-64@mail.ru

Sobolev Alexander Nikolaevich – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Machine Tools, Moscow State University of Technology «STANKIN», t-64@mail.ru

УДК621.9.06-112.6

Далечин А.С., Феофанов А.Н.

Dalechin A.S., Feofanov A.N.

Автоматизированный выбор компоновок агрегатного станка на этапе технического проекта

Automated selection of unit machine layouts at the technical design stage

В статье обозначен вопрос о необходимости сохранения и передачи наработанного опыта в области конструирования агрегатных станков и автоматических линий. В работе рассматривается выбор компоновок агрегатных станков по параметрам обрабатываемого изделия и технологического процесса. На основе предложенных параметров предлагается таблица выведенных ограничений для выбора габаритов узлов агрегатных станков. Рассмотрен алгоритм работы модуля автоматизированной системы выбора компоновок агрегатных станков.

The article raises the issue of the need to preserve and transfer the accumulated experience in the design of transfer machine tools and automatic lines. The work examines the selection of transfer machine tool layouts based on the parameters of the workpiece and the technological process. Based on the proposed parameters, a table of derived constraints for selecting the overall dimensions of transfer machine tool components is presented. The algorithm of the automated system module for selecting transfer machine tool layouts is considered.

Ключевые слова: Автоматизированная система, агрегатный станок, компоновка, таблица ограничений

Keywords: Automated system, transfer machine, modular machine tool layout, constraint table

Введение. Обеспечение технологического суверенитета страны напрямую зависит от роста производительности труда, достигаемого как внедрением нового технологического оборудования, так и автоматизацией всех этапов

жизненного цикла станков. В современной парадигме быстроменяющегося спроса на изделия машиностроения востребованно технологическое оборудование, обладающее большой гибкостью в переналадке на выпуск новой номенклатуры. Для мелко- и среднесерийного производства задачу по переходу на выпуск новых изделий выполняют станки с ЧПУ. В контексте крупносерийного и массового производства наиболее рационально использование агрегатных станков (АС), состоящих из унифицированных и кинематически не связанных между собой модулей. Так, в работе [1] авторами отмечается, что одной из ключевых задач для реорганизации производственных систем машиностроительных предприятий является налаживание массового выпуска сложных технических объектов в разных отраслях производства. Это обстоятельство связано с необходимостью сокращения отставания российских производителей от стран-индустриальных лидеров в областях космонавтики, авиации и общего потребительского сектора машиностроения. Отчасти авторы статьи объясняют потребность в переходе на крупносерийный выпуск продукции нежизнеспособностью большинства инновационных российских продуктов, выпущенных в единственном экземпляре, в реальной эксплуатации, так как нет локального производства компонентой базы этих изделий. В другой работе [2] указывается, что в современных условиях станки должны быть гибкими и иметь возможность групповой обработки изделий, т.к. в настоящий период машиностроительным предприятиям необходимо изготавливать детали малыми партиями с соблюдением условия стабильности качества. Следовательно, необходимо внедрение современных автоматизированных решений для достижения целей по цифровой трансформации станкостроения, обозначенных в [3]-[5].

При проектировании АС одними из важных этапов являются стадии технического предложения и эскизного проекта [6]. Автоматизация процесса проектирования АС на данных этапах позволит уменьшить трудоемкость проектно-конструкторских работ. Компоновка является ключевым элементом в конструкции технологического оборудования, так как она отражает ключевые

технико-экономические характеристики проектируемого АС. В настоящее время стоит острая необходимость передать базы знаний и опыт, наработанный профильными конструкторскими бюро для создания перспективного, наукоемкого и конкурентоспособного производства. Для автоматизации процесса проектирования была создана БД [7] на основе разработанных геометрических рядов габаритов агрегатных станков, которая дает возможность перейти на выпуск новой перспективной продукции. Учитывая сильную связь структуры компоновки, АС с характеристиками обрабатываемого на нем изделия и технологическим процессом, актуально создание автоматизированной системы по выбору компоновок АС по параметрам изготавливаемой детали для выдачи предварительных решений на ранних стадиях проектирования.

В данной статье продолжается исследование вопроса, посвященного автоматизированному выбору компоновок, АС по параметрам обрабатываемой заготовки, ранее обозначенного в работах [8]-[10].

Алгоритм работы модуля автоматизированной системы выбора компоновок АС. При составлении алгоритма работы модуля автоматизированной системы выбора компоновок АС необходимо установить ограничения для параметров узлов АС. В данной работе обозначены ключевые параметры обрабатываемого изделия при выборе компоновки АС: габаритные размеры заготовки, её масса, усилие резания. Изменение какого-либо из этих элементов определяет вид компоновки АС, состоящей из унифицированных узлов [11], [7]. В таблице 1 представлены выведенные ограничения, которые устанавливаются габариты узлов АС (от 1 до 7), исходя из характеристик обрабатываемого изделия и параметров технологического процесса.

Таблица 1.

Выведенные ограничения для установления габаритов узлов АС

Габарит Параметр	1	2	3	4	5	6	7
Установочная база, мм	250	300	350	400	450	500	350
Масса заготовок, кг	2000	2000	3000	3000	4000	4000	5000
Площадь верхней плоскости S1, мм ²	100000	200000	400000	630000	800000	1000000	1562500
Площадь боковой плоскости S2, мм ²	100000	200000	400000	630000	800000	1000000	1562500
Усилие резания, Н*м	10	160	320	630	1250	2500	5000

Для выбора средней станины и поворотного делительного стола в таблице представлены значения установочной базы и массы обрабатываемой заготовки для выбора соответствующего габарита. Значения размеров установочной базы установлены экспериментально путем размещения максимально габаритной детали на планшайбе делительного стола. Величины массы приняты на основе допустимых грузоподъемностей делительных столов. Для установления габаритов присоединительных станин, узлов подачи и узлов резания в таблице приведены значения площади обрабатываемой поверхности (S1 и S2) и величин усилия резания. Ряды значений площадей S1 и S2 выбраны исходя из размеров габаритов шпиндельных коробок, бабок по каталогу. Они устанавливают возможность обработки горизонтально расположенной поверхности заготовки или вертикально (углы 1 и 2) относительно плоскости делительного стола рисунок 1.

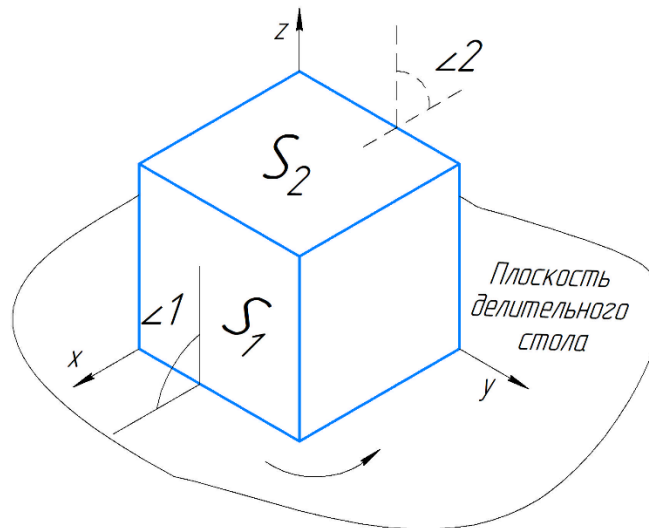


Рис. 1. Расположение обрабатываемых поверхностей S_1 и S_2 относительно плоскости делительного стола

Площади обрабатываемых поверхностей S_1 и S_2 связаны с концепцией обобщенной детали, ранее введенной в [8]. Усилие резания, приведенное в таблице 1, выбрано на основе максимально допустимых значений моментов резания, обеспечиваемых приводами шпиндельных коробок и бабок [11].

На основе таблицы выведенных ограничений разработан алгоритм работы модуля автоматизированной системы выбора компоновок АС по характеристикам обрабатываемого изделия и параметрам технологического процесса, рисунок 2.

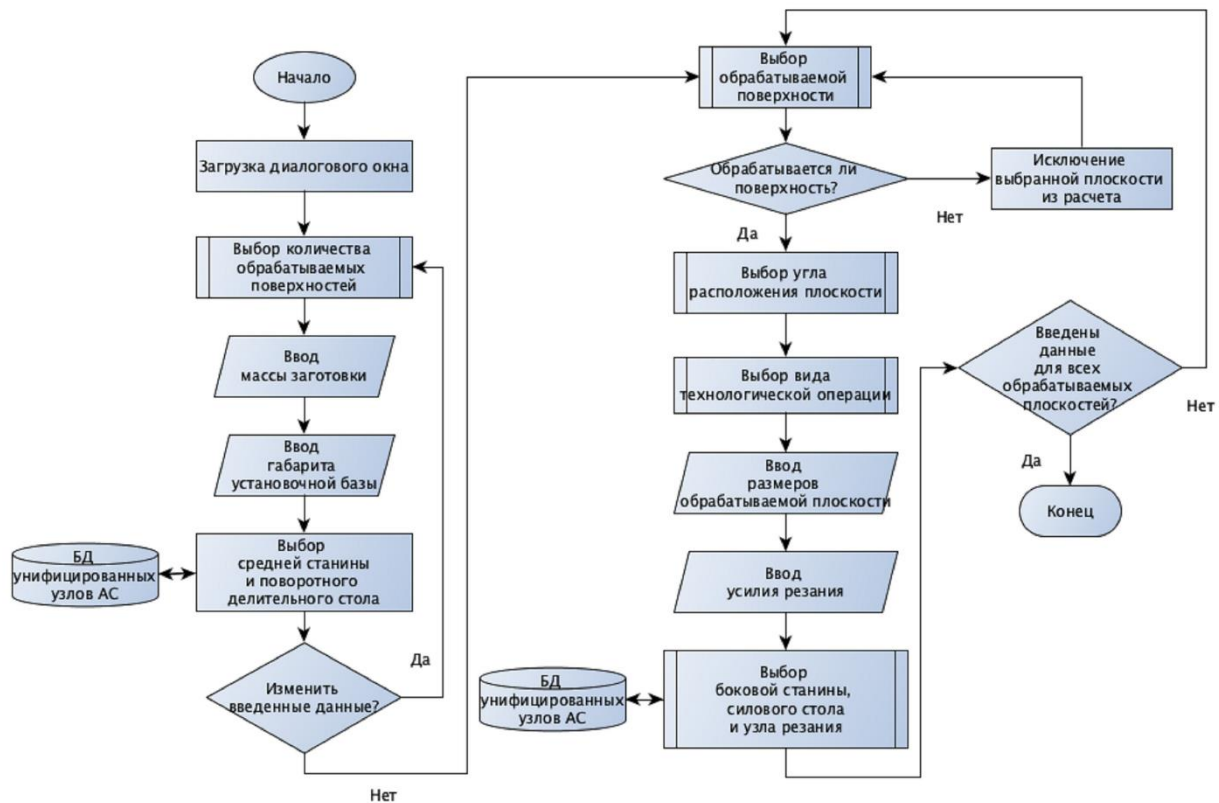


Рис. 2. Алгоритм работы модуля автоматизированной системы для выбора параметрической модели многопозиционного агрегатного станка

Исходными данными для работы алгоритма являются следующие параметры заготовки и технологического процесса, полученные из технического задания заказчика:

1. Количество обрабатываемых плоскостей заготовки, шт
2. Масса заготовки, кг
3. Наибольший габарит установочной базы, мм
4. Углы расположения обрабатываемых плоскостей относительно плоскости делительного стола, град
5. Габариты обрабатываемых плоскостей, мм
6. Усилие резания (момент), Н*м

Разработанный алгоритм позволяет выбирать компоновки многопозиционного АС в автоматизированном режиме по параметрам обрабатываемой заготовки.

В начале анализируется количество обрабатываемых плоскостей для установления граней средней станины АС. Далее выполняется ввод массы обрабатываемых заготовок и габарита установочной технологической базы для выбора габаритов средней станины и поворотного делительного стола. Следующим шагом происходит заполнение параметров обработки конкретной плоскости изделия. Осуществляется выбор угла расположения обрабатываемой плоскости относительно поверхности делительного стола, ввод габаритных размеров выбранной плоскости изделия и значений требуемого усилия резания. При отсутствии необходимости в обработке плоскость изделия можно исключить из расчета. Габариты унифицированных узлов АС изменяются, исходя из установленных связей, выявленных зависимостей и наложенных ограничений между параметрами детали и размерами узлов. Результатом работы алгоритма является подготовленная параметрическая визуализированная модель АС.

Процесс считается завершенным после того, как пользователь удостоверится, что визуализированная параметрическая модель соответствует заданным требованиям технического задания заказчика. Таким образом, вводится понятие конфигуратора компоновки агрегатного станка по параметрам обрабатываемого изделия.

Заключение. Предложенный выше алгоритм для автоматизированного выбора компоновки АС позволяет сократить трудоемкость конструкторских работ на ранних стадиях проектирования. Последующая программная реализация на базе рассмотренного алгоритма позволит сохранить и применить отечественный опыт по проектированию металлообрабатывающего технологического оборудования для крупносерийного производства при создании современных машиностроительных предприятий.

Библиографический список

1. Гарнов, А. П. Реорганизация производственной системы машиностроительных предприятий: чрезвычайный период / А. П. Гарнов, А. С. Славянов // Экономика промышленности. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 59-66.

2. Горлов, И. В. Синтез технологических маршрутов изготовления деталей при производстве и ремонте торфяных машин в условиях многономенклатурного производства / И. В. Горлов, Е. В. Полетаева // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2024. – № 1(21). – С. 49-59.
3. Стратегия развития станкоинструментальной промышленности на период до 2035 года [Текст]: распоряжение Правительства Российской Федерации от 05.11.2020 № 2869-р // Собр. Законодательства РФ. - 2020. - № 26 (22 июля). - С. 23285-23304 (ст. 7316).
4. Позднеев Б.М., Никитин Д.В., Бабенко Е.В. Перспективы развития и интеграции станкостроения в экосистему цифровой промышленности / Станкоинструмент. - 2023. - № 2 (31). - С. 88-96.
5. Феофанов, А. Н. Цифровизация российского станкостроения. Перспективы развития / А. Н. Феофанов, Е. Д. Коршунова // Инженерная экономика: Материалы международной научно-технической конференции, Минск, 27–28 ноября 2024 года. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2024. – С. 531-536.
6. Далечин, А. С. Роль автоматизированной системы выбора компоновок агрегатных станков на стадии эскизного проектирования / А. С. Далечин, А. Н. Феофанов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2(73). – С. 126-133.
7. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025620903 Российская Федерация. База данных визуализированных унифицированных узлов агрегатных станков: заявл. 13.02.2025; опубл. 25.02.2025 / А. С. Далечин, А. Н. Феофанов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН».
8. Феофанов, А. Н. Разработка алгоритма фрагмента автоматизированной системы для создания компоновки трехстороннего агрегатного станка / А. Н. Феофанов, А. С. Далечин // Технология машиностроения. – 2024. – № 7. – С. 46-51.

9. Далечин, А. С. Роль автоматизированной системы выбора компоновок агрегатных станков на стадии эскизного проектирования / А. С. Далечин, А. Н. Феофанов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2(73). – С. 126-133.
10. Далечин, А. С. Разработка модели подсистемы автоматизированной компоновки агрегатного станка на примере корпусных деталей с целью уменьшения трудоемкости проектирования технологического оборудования / А. С. Далечин, А. Н. Феофанов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1(68). – С. 159-167.
11. Брон Л.С., Зайцева А.М., Токарева С.В. Унифицированные узлы агрегатных станков и автоматических линий. - 69 изд. - М.: НИИмаш, 1983. - 136 с.

Далечин Александр Сергеевич – аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», dalechin.as.99@gmail.com

Dalechin Alexander Sergeevich – postgraduate student at the sub-department of «Automatic Information Processing and Control Systems», MSUT «STANKIN», dalechin.as.99@gmail.com

Феофанов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной графики, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», feofanov.fan1@yandex.ru

Feofanov Alexander Nikolaevich – D.Sc. of Engineering, professor at the sub-department of «Engineering Graphics», MSUT «STANKIN», feofanov.fan1@yandex.ru

УДК 338.2

Еленева Ю.Я., Андреев В.Н., Успенская Е.Г.

Eleneva J.Y., Andreev V.N., Uspenskaia E.G.

Сравнительный анализ подходов к определению понятия технологического суверенитета Российской Федерации и Европейского Союза

Comparative analysis of approaches to the definition of technological sovereignty of the Russian Federation and the European Union

В данной статье проводится сравнительный анализ концепций технологического суверенитета, разрабатываемых и реализуемых в Российской Федерации и Европейском Союзе. Актуальность исследования обусловлена глобальной геополитической трансформацией и обострением конкуренции в технологической сфере, которые выводят вопрос обеспечения технологической независимости на уровень ключевых стратегических приоритетов. В работе систематизированы и рассмотрены официальные документы, стратегические инициативы и научные подходы к определению технологического суверенитета в двух политико-экономических контекстах. Исследование показывает, что, несмотря на общую цель – снижение критических внешних зависимостей, – подходы РФ и ЕС имеют существенные различия. Центральным элементом исследования является анализ системы показателей для комплексной оценки уровня технологического суверенитета. На основе сравнительного анализа делается вывод о различных траекториях достижения технологического суверенитета: интеграционной и кооперационной для ЕС и более изоляционистской и мобилизационной для РФ.

The article provides a comparative analysis of the concepts of technological sovereignty being developed and implemented in the Russian Federation and the European Union. The relevance of the research is due to the global geopolitical transformation and the intensification of competition in the technological sphere which bring the issue of ensuring technological independence to the level of key strategic priorities. The article systematizes and examines official documents, strategic

initiatives and scientific approaches to the definition of technological sovereignty in two political and economic contexts. The study shows that, despite the common goal of reducing critical external dependencies, the approaches of the Russian Federation and the EU have significant differences. The central element of the research is the analysis of a system of indicators for a comprehensive assessment of the level of technological sovereignty. Based on a comparative analysis, it is concluded that there are different trajectories for achieving technological sovereignty: integration and cooperation for the EU and more isolationist and mobilization for the Russian Federation.

Ключевые слова: технологический суверенитет, импортозамещение, промышленная политика, технологическое лидерство.

Key words: technological sovereignty, import substitution, industrial policy, technological leadership.

Понятие технологического суверенитета в последние годы стало одним из ключевых направлений повестки в области промышленности как в Российской Федерации, так и в Европейском союзе. Однако подходы к его определению и реализации заметно различаются, отражая специфику экономических моделей, политических приоритетов и международного позиционирования каждой из сторон. Технологический суверенитет трактуется как способность государства или наднационального объединения самостоятельно разрабатывать, производить, внедрять и защищать критически важные технологии, обеспечивающие экономическую безопасность, устойчивость и конкурентоспособность [3]. При этом в научной и политической литературе подчеркивается, что суверенитет в данной сфере не тождественен полной изоляции или автаркии: речь идет о стратегической автономии, то есть способности действовать независимо при сохранении участия в глобальных технологических цепочках [6].

В российской концепции технологического суверенитета акцент делается на независимости и контроле над ключевыми технологическими направлениями. Согласно «Концепции технологического развития Российской Федерации на

период до 2030 года», под технологическим суверенитетом понимается способность страны самостоятельно разрабатывать, производить и контролировать критически важные технологии и инфраструктуру, необходимые для обеспечения национальной безопасности и устойчивого экономического роста [5]. В официальных и экспертных источниках отмечается, что основная цель заключается не только в импортозамещении, но и в формировании внутренней технологической базы, которая позволит минимизировать внешние уязвимости [10]. Таким образом, технологический суверенитет трактуется как комплексная способность национальной системы к самодостаточному развитию при ограниченных внешних зависимостях.

В Европейском союзе концепция технологического суверенитета имеет иную логическую основу. Согласно отчету Европейского парламента 2025 года, под технологическим суверенитетом понимается способность ЕС «разрабатывать, предоставлять, защищать и сохранять критически важные технологии, необходимые для экономического процветания и общественной безопасности, а также действовать независимо в глобализированном мире» [6].

Европейская модель технологического суверенитета выстраивается в логике одновременной открытости и защиты. Европейский подход ориентирован на понятие «открытой стратегической автономии» (open strategic autonomy), где ключевым становится не столько полное устранение зависимостей, сколько управление изменениями: диверсификация цепочек поставок, укрепление внутренних компетенций и снижение чрезмерной зависимости от внешних поставщиков. В ЕС признают, что более 80% цифровых продуктов и услуг по-прежнему зависят от импорта из стран, находящихся за пределами Союза, что подчеркивает важность структурных изменений [2].

Сравнительное исследование трактовок технологического суверенитета отражено в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнительный анализ подходов
к определению технологического суверенитета

Аспект сравнения	Российская Федерация	Европейский союз
Официальная дефиниция	Имеются множественные официальные формулировки в стратегических документах	Отсутствует единое официальное определение или правовая основа в нормативных документах
Ключевая концепция	Независимость и государственный контроль над критическими технологиями и собственными линиями разработки	Открытая стратегическая автономия, баланс открытости и защиты
Отношение к автаркии	Направленность на обеспечение независимости в критических сферах, замещение импортных технологий отечественными	Явно отвергается идея всеобъемлющей технологической автаркии
Роль кооперации	Технологический суверенитет – не изоляция, а сильная переговорная позиция при выстраивании альянсов	Предполагается активное использование внешних технологических возможностей через надежные партнерства и торговые отношения
Факторы, определяющие политику	Введение санкций и геополитические потрясения, что привело к переходу от импортозамещения к созданию собственных разработок	Нарушения глобальных цепочек создания стоимости, асимметричное распределение критически важного сырья, а также стремление сохранить глобальную конкурентоспособность

Различия между российским и европейским подходами наиболее ярко проявляются в целеполагании и институциональной архитектуре. Для России технологический суверенитет прежде всего является вопросом национальной безопасности и политической самостоятельности. Технологический суверенитет реализуется через государственные программы, нормативные акты, инициативы по импортозамещению и локализации продукции, создание национальных технологических платформ и определение перечня критически важных технологий [4]. В Европе этот процесс носит более рыночный и регуляторный характер: технологический суверенитет обеспечивается с помощью общеевропейских регламентов, программ финансирования научных исследований, таких как Horizon Europe, Digital Europe и инициатив по укреплению конкурентоспособности в области цифровой инфраструктуры, микроэлектроники, искусственного интеллекта и облачных технологий.

Таким образом, если Россия концентрируется на внутреннем производстве и снижении зависимости от внешних поставок, то ЕС стремится к укреплению технологической устойчивости за счет диверсификации и создания баланса между автономией и международным сотрудничеством. Российский подход можно охарактеризовать как более автономистский, ориентированный на внутреннюю мобилизацию ресурсов, тогда как европейский – как кооперационный, предполагающий интеграцию в глобальные цепочки при сохранении контроля над стратегическими звеньями.

Однако, можно выделить сходства между двумя моделями. И Россия, и Европейский союз рассматривают технологический суверенитет как условие экономической устойчивости и стратегического выживания в условиях геополитической турбулентности и многополярности. Обе стороны формируют институциональные и нормативные механизмы для поддержки критических технологий, инвестируют в науку и образование, создают собственные технологические платформы и программы стимулирования инноваций. В обоих случаях государство играет ключевую роль – будь то через прямое управление в России или через регуляторное сопровождение и финансирование в ЕС.

Главным вызовом для Российской Федерации остается масштаб и глубина технологической зависимости, а также недостаточная вовлеченность частного капитала в инновационное развитие [3]. Для Европейского союза – концентрация иностранных игроков на рынке цифровых услуг, дефицит квалифицированных кадров и замедленная скорость принятия общих решений внутри интеграционного объединения [3]. Несмотря на различие стратегий, обе стороны сталкиваются с общей проблемой – необходимостью разработки объективных критериев оценки уровня технологического суверенитета и эффективности реализуемых мер.

Оценка технологического суверенитета является сложной методологической задачей, требующей интеграции производственных, технологических и экономических показателей. Методология оценки существенно различается в зависимости от целей и контекста: европейская

ориентация на концепцию стратегической зависимости против российского акцента на импортозамещение и создание собственных линий разработки.

В Европейском союзе оценка технологического суверенитета часто проводится через измерение стратегической зависимости, особенно в критических цепочках поставок [1].

В Российской Федерации при оценке технологического суверенитета акцент делается на наличии собственных технологий и национальном контроле над критическими и сквозными технологиями [7].

Поскольку агрегация показателя технологического суверенитета для всей экономики считается нецелесообразной и может привести к неверной интерпретации, оценка должна проводиться по конкретным производственно-технологическим направлениям (таблица 2).

Таблица 2.

Показатели комплексной оценки технологического суверенитета

Категория методологии	Наименование показателя	Цель измерения	Описание и ключевые компоненты
Комплексный анализ стратегической зависимости и технологического суверенитета (модель ЕС)			
Оценка стратегической зависимости	Индекс импортной зависимости (IDER)	Измерение уровня стратегической зависимости на уровне страны, сегмента производственной цепочки и продукта [1]	Объединяет три компонента: 1) Чистый торговый баланс (Net Balance) 2) Доля импорта от основного поставщика 3) Доля экспорта основного поставщика
Оценка технологических возможностей	Доля патентов	Оценка технологического позиционирования страны в отрасли	Доля патентов, связанных с конкретной технологией, от общего числа патентов страны/сегмента/класса
	Выявленное технологическое преимущество (RTA)	Оценка технологической специализации страны в конкретной технологии	Показатель, при котором $RTA > 1$, указывает на специализацию в отрасли
Интегрированный анализ	Квадрантная диаграмма	Идентификация критических ситуаций, требующих политических действий	Сочетание IDER и RTA. Критическая ситуация – высокий уровень IDER и низкий RTA
Методы оценки технологического суверенитета (модель РФ)			
Относительная и эффективностная оценка	Отношение числа отечественных	Оценка уровня технологического	Технологический суверенитет = TO/TI . Если $TI=0$, $TC=TO$. Уровни:

	технологий к импортным	суверенитета (ТС) по конкретному сегменту	ТС=0 (полная зависимость), $ТС \leq 1$ (импорт преобладает), $ТС > 1$ (отечественные преобладают), $ТС = TO$ (импорт отсутствует).
	Показатель технологичности (T)	Оценка эффективности технологии для принятия решения о замещении импорта	$T = dS/dR$, где dS – изменение создаваемой стоимости, dR – изменение ресурса. Критерий для замещения импортной (TI) отечественной (TO): $TO \geq TI$
Оценка локализации и компонентной базы	Структурная технологическая независимость	Оценка доли типов отечественных станков (признанных по Постановлению Правительства РФ от 17.07.2015 № 719) относительно всего классификационного типажа [7]	Включает средневзвешенную долю степени локализации, оцененную по балльной системе
	Оценка по техническим параметрам	Определение подлинной независимости и технологического лидерства	Использование показателей точности (согласно международному стандарту ISO 230-2-2014 или Вассенаарским договоренностям) и производительности
Официальные агрегированные индексы	Комплексный индекс технологической независимости Российской Федерации	Агрегированная оценка уровня технологической независимости	Рассчитывается как средневзвешенное значение трех групп составляющих частного от деления разностей текущих, плановых и базовых значений показателей технологической независимости (утвержден Приказом Минэкономразвития от 27.03.2025 № 193)
Прогностические и системные модели	S-образная кривая	Анализ и прогнозирование эволюционных процессов развития и оценка показателей технологического суверенитета	Показатели технологического суверенитета определяются их отношением к максимально достижимому

			(технологическому пределу) значению
Индикаторы на основе «экономики знаний»	Валовая добавленная стоимость сектора «Экономика знаний»	Оценка влияния сектора «Экономика знаний» (включающего науку, образование, высокотехнологичное производство) на технологическое развитие и суверенитет [9]	Расчет валовой добавленной стоимости сектора и ее вклад в ВВП и темп экономического роста

В долгосрочной перспективе технологический суверенитет не должен рассматриваться как изоляционистская модель. Его устойчивость определяется не столько замыканием на собственные ресурсы, сколько способностью сохранять контроль над ключевыми технологиями при участии в глобальных инновационных процессах. Для России это означает необходимость перехода от политики импортозамещения к политике *технологического лидерства*, а для Европейского союза — ускорение процессов консолидации внутреннего технологического пространства и повышение автономии без ущерба для открытости.

Таким образом, сравнительный анализ показывает, что российская модель технологического суверенитета имеет преимущественно оборонительный, мобилизационный характер, в то время как европейская модель носит стратегически адаптивный, сетевой характер. Обе концепции отвечают своим институциональным и геополитическим реалиям, однако успех каждой из них будет зависеть от способности сочетать независимость с гибкостью, а национальные интересы — с глобальной интеграцией. В этом контексте технологический суверенитет выступает не только как средство защиты, но и как инструмент формирования нового типа международной конкурентоспособности, где устойчивость и инновационность становятся взаимодополняющими элементами единой стратегической парадигмы.

Библиографический список

1. Caravella S., Crespi F., Cucignatto G., Guarascio D. Technological sovereignty and strategic dependencies: The case of the photovoltaic supply chain. *Journal of Cleaner Production*, Volume 434, 2024.
2. Mariotti S. «Open strategic autonomy» as an industrial policy compass for the EU competitiveness and growth: The good, the bad, or the ugly? *J. Ind. Bus. Econ.* 52, 1–26 (2025).
3. Zaloilo M. V. Legal Issues of Ensuring Technological Sovereignty. *Journal of Digital Technologies and Law*, 2024, 2(3), 500–520.
4. Горячева Т. В., Мызрова О. А. Роль и место технологического суверенитета в обеспечении устойчивости экономики России // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право*. 2023. Т. 23, вып. 2. С. 134–145.
5. Концепция технологического развития на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406831204/>.
6. Кузнецов А.П. Технологический суверенитет в станкостроении. Состояние и развитие // *Станкоинструмент*. 2024. № 2 (035). С. 34-55.
7. Кузнецов А.П. Технологический суверенитет в станкостроении: статистика, неопределенность, особенность измерения развития. *Экономика науки*, 2025, 11(3):47–66.
8. Макарова А.А. Регулирование прямых иностранных инвестиций для укрепления технологического суверенитета в Европейском союзе // *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)*. 2025. Т. 16. № 1. С. 167–18.
9. Сухарев О.С. Технологический суверенитет России: формирование на базе развития сектора «экономика знаний»// *Вестник Института экономики Российской академии наук* № 1. 2024. С. 47–64.
10. Янковская Е.С. Технологический суверенитет России: понятие, сущность, стратегия и пути ее реализации // *Ученые записки Санкт-*

Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии. 2022. № 4 (84). С. 76–81.

Еленева Юлия Яковлевна – д.э.н., профессор, заведующий кафедрой финансового менеджмента, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», e-mail: aprelenv@inbox.ru

Eleneva Yulia Yakovlevna – Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Financial Management, Moscow State Technological University «STANKIN», e-mail: aprelenv@inbox.ru

Андреев Владимир Николаевич – д.э.н., доцент, профессор кафедры финансового менеджмента, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», e-mail: andreevv85@mail.ru

Andreev Vladimir Nikolaevich – Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Department of Financial Management, Moscow State Technological University «STANKIN», e-mail: andreevv85@mail.ru

Успенская Елена Григорьевна – аспирант кафедры финансового менеджмента, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», e-mail: e-uspens@yandex.ru

Uspenskaya Elena Grigoryevna – postgraduate student of the Department of Financial Management, Moscow State Technological University «STANKIN», e-mail: e-uspens@yandex.ru

УДК 681.7-1/-9

Еремин Д. Д., Мастеренко Д.А.

Eremin D.D., Masterenko D.A.

Контактный интерферометр для измерения прецизионных деталей и поверки средств измерений в машиностроении

Contact interferometer for measuring precision parts and checking measuring instruments in mechanical engineering

В данном докладе описывается вариант конструкции контактного лазерного интерферометра для определения линейных размеров концевых мер длины и деталей машин с использованием доступных комплектующих, технологий и материалов. В работе представлена схема измерительной системы и приведен алгоритм работы интерферометра. Описываемая измерительная система отличается масштабируемостью, ремонтпригодностью и сравнительно невысокими требованиями к точности изготовления составляющих, а также предоставляет возможность автоматизации процесса измерения.

This paper describes a design for a contact laser interferometer for determining the linear dimensions of gauge blocks using readily available components, technologies, and materials. The paper presents the diagram of the measuring system and an algorithm for its operation. The described measuring system is scalable, maintainable, and requires relatively low manufacturing precision, while also offering the ability to automate the measurement process.

Ключевые слова: лазерный интерферометр, контактный интерферометр, автоматизация измерений, оптические схемы.

Keywords: laser interferometer, interference pattern processing, automatic programming, optic circuits.

Введение. В современной машиностроительной промышленности одним из основных инструментов, используемых для определения линейных размеров, являются плоскопараллельные концевые меры длины (КМД). Данные средства

измерений (СИ) позволяют воспроизвести заданное расстояние между двумя точками исследуемого объекта с высокой точностью, обеспечивая единство измерений при контроле линейных размеров деталей, настройке механизмов и другой схожей деятельности. [1, с. 12] Для поддержания высокой точности измерений необходимо регулярно проводить мероприятия по подтверждению соответствия КМД заявленным метрологическим характеристикам [4, с. 19]. Исследование отклонений размеров при поверке концевых мер длины осуществимо интерференционными методами. Так, например, в прошлом для этих целей применялся интерферометр Уверского [3, с. 1]. Также известны разработанные на кафедре Измерительных информационных систем и технологий МГТУ «Станкин» интерферометры контактные вертикальные компьютеризированные ИКПВ-К. [2, с. 1; 5]. Принцип действия прибора основан на интерферометрической схеме Майкельсона. В актуальном варианте конструкции ИКПВ-К подвижный отражатель жестко связан с измерительным штоком, контактирующим с исследуемым объектом. Измерения осуществляются методом сравнения с мерой. Регистрация интерференционной картины осуществляется при помощи ПЗС-матрицы, закрепленной на окуляр оптической трубки, что позволяет автоматизировать обработку результатов измерений. Описываемые интерферометры отличаются надежностью и полностью подходят для выполнения поставленных задач. Тем не менее, внесение доработок в существующую конструкцию позволит повысить точность измерений, избавить от необходимости использования комплекта эталонных КМД при измерениях и наделить систему масштабируемостью. Следует также добавить, что все существующие ИКПВ-К реализованы на базе интерферометров, выпущенных в СССР. На данный момент производство этих интерферометров остановлено. По этой причине разработка нового средства измерения, предназначенного для проверки КМД и других измерителей является актуальной задачей в условиях развития российского машиностроения. Вариант конструкции модернизированного контактного интерферометра описан далее.

Описание конструкции и принципа работы

Предлагаемая схема по аналогии с контактным интерферометром Уверского содержит 2 аналогичных друг другу измерительных канала, позволяющих определять результат измерений, как разность расстояний от точек касания измерительных штоков с поверхностью измеряемого объекта до их нулевого положения (поверхности измерительного столика, на которой располагается исследуемый объект). Основные отличия заключаются в использовании лазера в качестве источника монохроматического когерентного излучения, наличии цифрового электронного блока подсчета количества интерференционных полос, позволяющего сопоставлять число полос с пройденным подвижным отражателем расстоянием, а также конструктивных особенностей, позволяющих выравнивать подвижные измерительные элементы системы. Комбинированная схема интерферометра представлена на рисунке 1. Повторяющиеся номера элементов указывают на полную их идентичность.

Измерительная система состоит из двух лазерных источников излучения (1), двух светоделительных зеркал (2, 5, 8), двух оптических призм с прямым углом (3), четырех экранов для считывания интерференционных картин (4, 7), четырех отражающих зеркал (6, 9), четырех подвижных зеркал (13, 14, 18, 19), двух упорных бортов (10), четырех подстраиваемых стоек (11, 12), двух подвижных кареток (15), и измерительного столика (17) с исследуемым объектом (16).

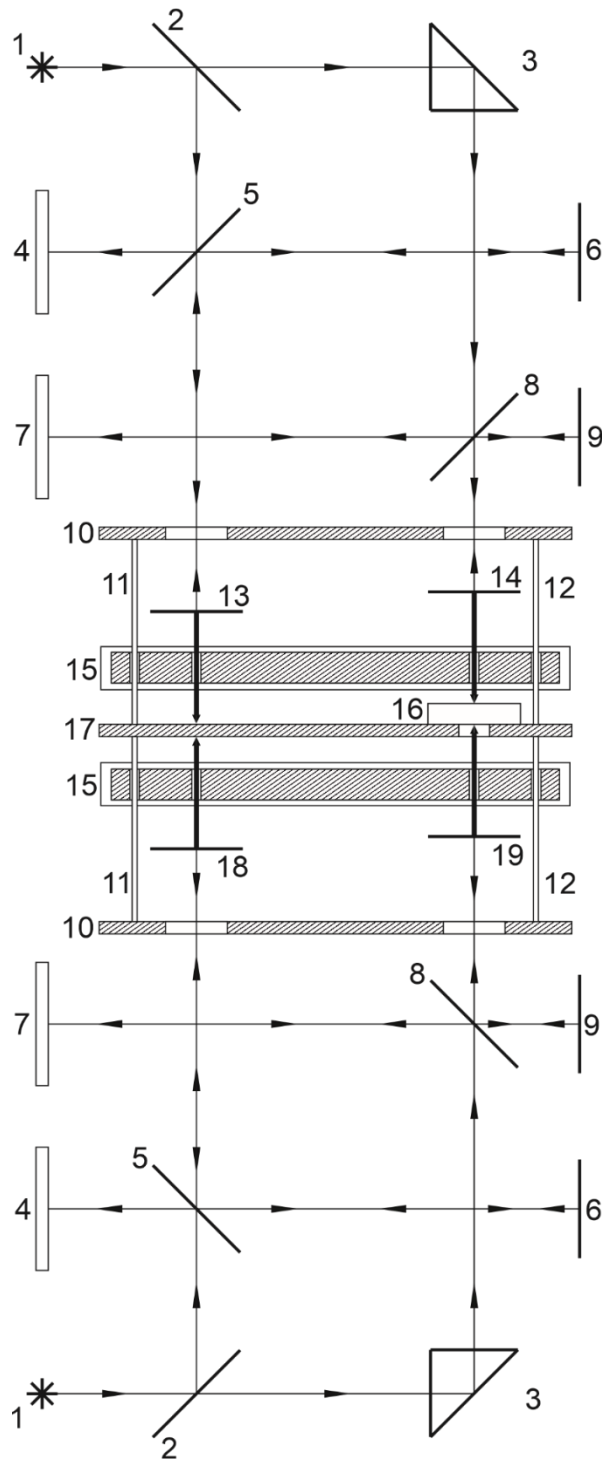


Рис. 1. Вариант конструкции контактного интерферометра для определения линейных размеров

Устройство обоих измерительных каналов реализованы по схеме интерферометра Майкельсона с разделением выходящего из источника пучка на 2 части, что позволяет отслеживать перемещения обоих подвижных зеркал (13, 14). Лазерный луч источника (1), проходя через светоделительную пластинку (2),

расположенную под углом 45 градусов, разделяется на 2 когерентных пучка, один из которых проходит дальше, попадая на призму (3). Второй пучок попадает на подобный пластинке 2 светоделитель (5), который еще раз разделяет его на 2 когерентных пучка. Первая его часть попадает на неподвижное зеркало (6), вторая часть направлена на зеркало (10), жестко связанное с измерительным стержнем (12). Пучки света, отраженные зеркалами (6, 10), возвращаются к светоделителю (5), интерферируя в плоскости экрана (4). Таким же образом при помощи аналогичного светоделителя (8), зеркал (9, 11) достигается интерференционная картина в плоскости экрана (7).

Измерение осуществляется следующим образом:

1) Достигается нулевое (равное) положение подвижных измерительных штоков (12, 13) за счет подведения каретки (15) с ними к упорному борту (10) до момента касания плоскостей зеркал и упорного борта (10). При этом, на экранах (4, 7) появляется статичная интерференционная картина.

2) Каретка со стороны поверхности столика, на которую устанавливается исследуемый объект (сторона измерительного штока 14), отводится на достаточное расстояние для его размещения.

3) На измерительный столик (17) под шток (14) устанавливается измеряемый объект (16).

4) Каретка со штоками (13, 14) подводится к измеряемому объекту. В момент начала смещения интерференционных полос на экране 4 начинается процесс измерения.

5) При помощи датчика подсчитывается количество сместившихся интерференционных полос в точке экрана до момента появления смещения полос интерференционной картины на экране (7), сигнализирующем о завершении процесса измерения.

6) Количество смещенных интерференционных полос сопоставляется с перемещением каретки со штоками (13, 14). Расстояние l_1 от точки соприкосновения измерительного штока и поверхности объекта до поверхности измерительного столика определено.

7) Аналогично п. 1 достигается нулевое (равное) положение подвижных измерительных штоков (12, 13).

8) Каретка со штоками (18, 19) подводится к измерительному столику (17). В момент начала смещения интерференционных полос на экране 4 со стороны, противопоставленной поверхности столика, на котором располагается исследуемый объект, начинается процесс измерения.

9) При помощи датчика подсчитывается количество сместившихся интерференционных полос в точке экрана до момента появления смещения полос интерференционной картины на экране (7), сигнализирующем о завершении процесса измерения.

10) Количество смещенных интерференционных полос сопоставляется с перемещением каретки со штоками (13, 14). Из результата вычитается толщина измерительного столика, определенная в процессе калибровки прибора. Расстояние l_2 от поверхности измерительного столика до точки соприкосновения измерительного штока и поверхности объекта определено.

11) Результат измерения определяется как $\Delta = l_1 - l_2$

Выводы.

Описанная выше система обладает рядом преимуществ над классическими схемами контактных интерферометров. Использование лазера в качестве источника излучения и цифрового отсчетного устройства при горизонтальной компоновке интерферометра, во-первых, улучшает точность измерений более, чем в 2 раза по сравнению с ИКПВ, и, во-вторых, позволяет расширить масштабируемость благодаря малой расходимости лазерного пучка. Наличие запоминающего устройства дает возможность отказаться от метода прямого сравнения объекта с концевой мерой длины путём сохранения в памяти измерителя таблицы сопоставления количества смещенных интерференционных полос и расстояния. Таким образом, КМД необходимы только для начального заполнения таблицы при калибровке и обеспечения параллельности плоскостей поверхностей упорных бортов и измерительного столика. Также калибровка позволит учесть аберрации интерференционной картины, которые могут

возникнуть вследствие несовершенства соприкасающихся поверхностей подвижной каретки или измерительных штоков при условии их повторяемости. Для ускорения процесса измерения левый и правый канал интерферометра возможно запустить параллельно. Очевидным недостатком системы является усложнение конструкции. Тем не менее, описанные ранее достоинства способны его перевесить.

Библиографический список

1. Анфилофьева, И.Д. Особенности поверки концевых мер длины / И.Д. Анфилофьева, Г.В. Симонова. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2019. – т.7. – С.12. – Текст: непосредственный.
2. Описание типа средства измерений. Интерферометры контактные вертикальные компьютеризированные ИКПВ-К: внесены в Государственный реестр средств измерений: регистрационный № 22357-07: взамен № 22357-02: дата утверждения 19-03-2007 / ГЦИ СИ ФГУП «ВНИИМС». Москва, 2007. – С.1. – Текст: непосредственный.
3. Патент № 207427 СССР, МПК G01B 9/02. Контактный интерферометр Уверского для линейных измерений : №1013170/26-25 : заявл. 17.06.1965 : опубл. 22.12.1967 / Уверский И. Т. – С.1. – Текст: непосредственный.
4. Уменьшение погрешности нелинейности компьютеризированного контактного интерферометра путём цифровой обработки изображения шкалы / П. Н. Емельянов, А. В. Забелин, Д. А. Мастеренко, В. И. Телешевский <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2024-8-4-12>
5. Этингоф М.И. Роль концевых мер длины в современных технических измерениях / М.И. Этингоф // Измерительная техника. – Москва: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2012. – №3. – С.19. – Текст: непосредственный.

Еремин Дмитрий Денисович – аспирант, кафедра информационно-измерительные и управляющие системы ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», alterdim@gmail.com

Eremin Dmitry Denisovich— graduate student, Department of Information, Measurement and Control Systems, Moscow State Technical University «STANKIN», alterdim@gmail.com

Мастеренко Дмитрий Александрович - д.т.н., доцент, профессор кафедры информационно-измерительные и управляющие системы ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», zagr_eb@mail.ru

Masterenko Dmitry Aleksandrovich – Doctor of Engineering, Associate Professor, Professor, Department of Information, Measurement and Control Systems, Moscow State Technical University «STANKIN», zagr_eb@mail.ru

УДК 681.586.54

Зайцев И.А., Телешевский В.И.

Zaitsev I.A., Teleshevskii V.I.

Фазовое измерительное акустооптоэлектронное преобразование линейных и угловых перемещений на растровых мерах**Phase measuring acoustic-optical-electronic conversion of linear and angular movements on raster meters**

В статье рассмотрены растровые оптоэлектронные измерительные преобразователи (ИП) линейных и угловых перемещений — важнейшие элементы современных промышленных измерительных систем. Описан физический принцип их работы, основанный на оптическом сопряжении измерительного и индикаторного растров. Показано, что традиционные методы измерения (амплитудные) имеют принципиальное ограничение по точности — методическую погрешность 10–15 % шага растра. Предложен перспективный гетеродинный метод с использованием акустооптического модулятора, позволяющий достичь дискретности отсчёта до тысячных долей шага растра и обеспечивающий возможность дистанционного управления ИП. Подчёркнуто, что интеграция современных оптоволоконных технологий и полупроводниковых лазеров открывает новые перспективы для дальнейшего повышения точности растровых оптоэлектронных преобразователей.

The article discusses raster optoelectronic measuring transducers (MT) of linear and angular movements — the most important elements of modern industrial measuring systems. The physical principle of their operation based on the optical coupling of the measuring and indicator raster is described. It is shown that traditional measurement methods (amplitude) have a fundamental limitation on accuracy — a methodological error of 10–15 % of the raster step. A promising heterodyne method using an acousto-optic modulator is proposed, which allows to achieve a sampling rate of up to thousandths of a raster step and provides the possibility of remote control of the IP. It

is emphasized that the integration of modern fiber-optic technologies and semiconductor lasers opens up new prospects for further improving the accuracy of raster optoelectronic converters.

Ключевые слова: растровые оптоэлектронные измерительные преобразователи, оптическое сопряжение растров, измерительный растр, индикаторный растр, амплитудно-импульсное измерительное преобразование.

Keywords: *raster optoelectronic measuring transducers, optical coupling of rasters, measuring raster, indicator raster, amplitude-impulse measuring conversion.*

Введение

Современные требования к точности измерений линейных и угловых перемещений в прецизионном машиностроении, робототехнике, микро- и нанотехнологиях непрерывно возрастают. Это обуславливает необходимость развития методов и средств измерения, обеспечивающих субмикронную и нанометровые дискретности отсчёта при высокой надёжности и стабильности результатов.

В настоящее время широко применяются растровые оптоэлектронные преобразователи перемещений (ИП) [1-5]. Традиционные методы растрового преобразования (обтюрационные, нониусные, муаровые) реализуют амплитудно-импульсное измерительное преобразование.

Существенный прогресс в повышении точности достигнут благодаря внедрению интерференционных методов отсчёта, реализуемых, в частности, фирмой Heidenhain (Германия) на растрах технологии Diadur. В таких системах используется гомодинный интерференционно-дифракционный метод, позволяющий существенно улучшить разрешающую способность за счёт анализа фазовых сдвигов интерференционных картин при перемещении измерительного растра.

Однако и гомодинный метод имеет ограничения, связанные с фиксированной структурой индикаторного растра. В связи с этим актуальным направлением развития является переход к гетеродинным схемам, в которых

индикаторный растр заменяется бегущей ультразвуковой волной, возбуждаемой в акустооптическом модуляторе (АОМ).

Растровые измерительные преобразователи

Физический принцип действия ИП основан на оптическом сопряжении двух периодических структур (растров), один из которых является измерительным и жёстко связан с контролируемым перемещением, а второй — индикаторным и является неподвижным.

В разнообразных средствах измерения применяются различные типы сопряжения: обтюрационные, нониусные и муаровые. Так, например, в широко распространённом приборе — механическом штангенциркуле — используется нониусное сопряжение. В ИП линейно-угловых перемещений ведущих компаний мира, как правило, используется обтюрационное сопряжение, где оба растра представляют собой пространственные меандры с одинаковыми шагами $g_1 = g_2 = g$ и параллельными прозрачными и непрозрачными окнами, равными $\frac{g}{2}$

[4].

Отсчет перемещения в ИП такого типа основан на фотоэлектрическом детектировании светового потока, то есть, по существу, представляет амплитудно-импульсное измерительное преобразование. Измерительный растр имеет функцию пропускания (отражения) $T_1(x)$, индикаторный растр — функцию пропускания (отражения) $T_2(x)$. При перемещении на x_0 функция пропускания (отражения) имеет вид: $T_1(x - x_0)$. Тогда сигнал интенсивности света на фотоприемнике описывается интегралом свертки:

$$I(x_0) = T_1(x - x_0) \otimes T_2(x) = \int_0^L T_1(x - x_0) \cdot T_2(x) dx, \quad (1)$$

где \otimes - символ интеграла свертки, L — диапазон перемещений.

Теоретически это означает, что при перемещении измерительного растра сигнал на фотоэлектрическом приемнике имеет вид треугольного периодического сигнала. В действительности сигнал приближается к

квазигармоническому. Фурье анализ растрового взаимодействия прямоугольных растров приведен в уравнениях (2)-(3):

$$F\{T_1(x-x_0)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} T_1(x-x_0)e^{-j\omega_x x} dx, \quad (2)$$

$$F\{T_1(x-x_0)\} = \frac{A}{2} + \frac{2A}{\pi} \left(\cos\left(\frac{2\pi}{g}(x-x_0)\right) - \frac{1}{3} \cos\left(3\frac{2\pi}{g}(x-x_0)\right) + \frac{1}{5} \cos\left(5\frac{2\pi}{g}(x-x_0)\right) - \dots \right) \quad (3)$$

где $\omega_x = \frac{2\pi}{g}$ - пространственная частота измерительного раstra.

Преобразование Фурье (3) имеет много членов ряда, однако для измерения информативным является только первый член разложения:

$$\frac{2A}{\pi} \cos\left(\frac{2\pi}{g}(x-x_0)\right) \quad (4)$$

Первый член разложения является периодическим гармоническим пространственным сигналом. Пространственная фаза этого сигнала пропорциональна контролируемому перемещению. Однако в Фурье разложении измерительного раstra присутствуют другие составляющие разложения согласно формуле (3). Сигнал не является чисто гармоническим, и при пространственной интерполяции внутри шага возникают погрешности формирования интерполяционных импульсов, которые составляют порядка 10-15% шага g в зависимости от уровня формирования этих импульсов. Экспериментальные данные, приводимые в ряде источников [2-4] подтверждают эти значения погрешностей. Поэтому амплитудно-импульсный метод растровых мер обладает методической погрешностью, которая практически не устранима. В известных источниках [2-4] указывается, что шаг g сопрягаемых растров составляет единицы-десятки мкм, а пространственная интерполяция известных моделей Heidenhain, СКИБ и других производителей, ограничивается делением шага на 4 и 8, хотя существуют схемы деления до нескольких десятков [1] и даже сотен, не нашедшие практического применения.

Дальнейшее повышение точности растровых оптоэлектронных преобразователей перемещений лежит на пути применения интерференционных методов отсчета.

В настоящее время интерференционные методы отсчета перемещений в оптико-электронных ИП осуществляет фирма Heidenhain (Германия) на растрах, изготавливаемых по технологии Diadur [2-3] с шагом g , равным несколько мкм. На таких решетках авторами получена эффективная картина дифракции (рис.1).



Рис. 1. Дифракция на решетке Heidenhain

На рисунке 2 представлен принцип интерференционного отсчета при использовании двух дифракционных решеток.

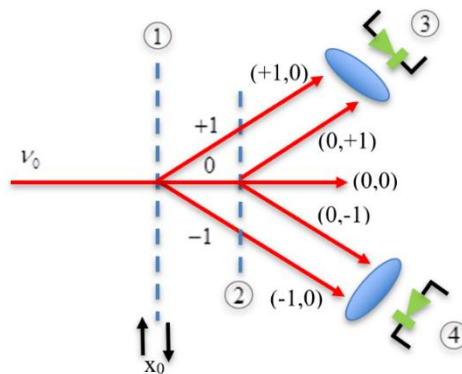


Рис. 1. Гомодинный метод отсчета

Монохроматический лазерный луч исходного излучения с частотой ν_0 падает на дифракционную решетку 1, являющуюся измерительным растром, в результате дифракции света на этой решетке возникают дифракционные максимумы 0, +1 и -1 порядка. В свою очередь, эти максимумы дифрагируют на 2 решетке, являющейся индикаторным растром, образуя от каждого из падающих на эту решетку лучей свои дифракционные максимумы 0, +1 и -1 порядка. Таким образом образуются в направлении дифракции +1 порядка под углом $\alpha = \sin\left(\frac{\lambda}{g}\right)$ распространяются две интерференционные волны с индексами (0,+1) и (+1,0) – суммарный индекс +1. Аналогично интерферируют

дифракционные под углом $-\alpha = \sin\left(\frac{\lambda}{g}\right)$ максимумы с индексами (0,-1) и (-1,0) – суммарный индекс -1. При перемещении измерительного раstra фазы дифрагированных волн (+1,0) и (-1,0) будут сдвигаться пропорционально перемещению на значение $\varphi_x = \frac{2\pi}{g} x_0$ в противоположных направлениях. Этот пространственный сдвиг фазы φ_x интерференционных картин в направлениях $\sin\left(\frac{\lambda}{g}\right)$ и $\sin\left(-\frac{\lambda}{g}\right)$ детектируется фотоприемниками 3 и 4. Таким образом в известных ИП фирмы Heidenhain реализуется **гомодинный** интерференционно-дифракционный метод отсчета перемещений.

В докладе предлагается дальнейшее развитие интерференционно-дифракционного метода отчета с целью повышения разрешающей способности и точности ИП перемещения. Предлагается **гетеродинный** отсчета, заключающийся в том, что вместо неподвижной дифракционной решетки 2 предлагается **бегущая ультразвуковая волна**, возбуждаемая в акустооптическом модуляторе (АОМ) (рис. 3).

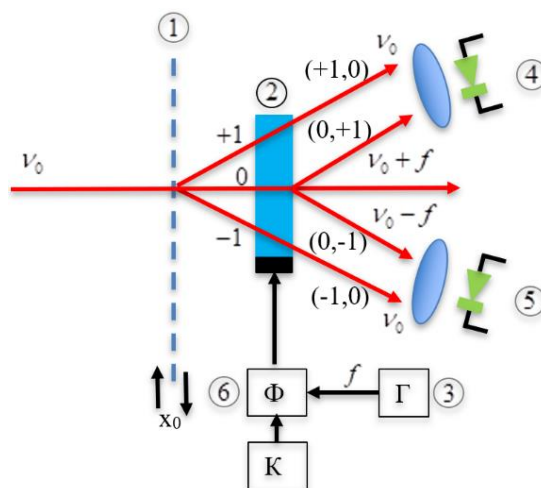


Рис. 3. Гетеродинный метод отсчета

Ультразвуковая волна возбуждается в АОМ 2 посредством пьезоизлучателя от электронного генератора 3 на частоте f . Дифракционные максимумы от первого измерительного раstra дифрагируют на бегущей ультразвуковой волне как на фазовой решетке, с той лишь разницей, что

дифракционные порядка $+1$ и -1 имеют соответственно оптические частоты $\nu_0 + f$ и $\nu_0 - f$. Фотоприемники 4 и 5 работают в режиме фотосмещения, выделяя сигналы:

$$U_{\text{вых}1} = U_1 \sin(2\pi ft + kx_0), \quad (3)$$

$$U_{\text{вых}2} = U_2 \sin(2\pi ft - kx_0), \quad (4)$$

Таким образом имеется фазовое преобразование с высокой разрешающей способностью. При перемещении измерительного растра 1 на $x_0 = g$ фаза сигналов с фотоприемников изменяется на 360° . Фазометрическое преобразование измерительной информации позволяет иметь дискретность отсчета $\frac{g}{360}$ при дискретности фазового измерения 1 электрический градус. При более высоком разрешении фазовых измерений до 0,1 электрического градуса возможно измерение x_0 с дискретностью отсчета до нескольких тысяч долей шага g .

Данное в докладе предложение имеет еще одну существенную особенность. Оно открывает возможность дистанционного управления ИП за счет изменения фазы возбуждающего ультразвук в АОМ сигнала посредством управляемого фазовращателя 6, действующего от внешнего контроллера К. Благодаря этому свойству становится возможна программная коррекция измерений и решение задачи дистанционной поверки средств измерений – одной из фундаментальных проблем современной метрологии.

Развитие данного подхода открывает возможности при использовании дифракционных решеток, как мер длины, последних достижений физики, таких как оптоволоконные акустооптические преобразователи частоты [6], брэгговские оптоволоконные решетки, полупроводниковые лазеры ИК диапазона.

Заключение

В работе рассмотрен перспективный подход к измерению линейных и угловых перемещений, основанный на гетеродинном интерференционно-дифракционном методе с применением АОМ. Проведённый анализ демонстрирует, что данный метод позволяет преодолеть ключевые ограничения традиционных растровых оптоэлектронных преобразователей (ИП), связанных с методической погрешностью амплитудно-импульсного преобразования.

Показано, что традиционные растровые ИП, использующие обтюрационные, нониусные и муаровые типы сопряжения, имеют принципиальное ограничение точности (погрешность 10 -15 % шага раstra g).

Обоснована эффективность перехода от гомодинного к гетеродинному методу отсчёта, в котором индикаторный растр заменён бегущей ультразвуковой волной в АОМ.

Библиографический список

1. Л. Н. Преснухин, В. Ф. Шаньгин, Ю. А. Шаталов. Муаровые растровые датчики положения и их применение. - Москва: Машиностроение, 1969. - 203 с.
2. Heidenhain. Датчики линейных перемещений для станков с ЧПУ. 2008г. -56 стр.
3. Heidenhain. Обзорный каталог. 2009 г. - 60 стр.
4. В.В. Коротаев, А.В. Прокофьев, А.Н. Тимофеев Оптико-электронные преобразователи линейных и угловых перемещений. Часть 1. Оптикоэлектронные преобразователи линейных перемещений /Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 114 стр.
5. Инкрементные преобразователи линейных перемещений. СКИБ ИС, 2008 г., 35 стр.
6. Brimrose. Fiber-coupled Acousto-Optic Frequency Shifters. 4 стр.

Зайцев Илья Алексеевич - аспирант ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»,
zaitsev99ilya99@gmail.com

Zaitsev Ilya Alekseevich - postgraduate student at MSTU STANKIN,
zaitsev99ilya99@gmail.com

Телешевский Владимир Ильич - д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «МГТУ
«СТАНКИН», vladtele@yandex.ru

Teleshevsky Vladimir Ilyich - Doctor of Engineering, Professor at MSTU STANKIN,
vladtele@yandex.ru

УДК 614.84

Иванова Н. А., Рябов С. А., Колпакова А.В.

Ivanova N.A., Ryabov S.A., Kolpakova A.V.

Разработка системы оперативного контроля по предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций на предприятиях машиностроения
Development of an operational control system to prevent emergencies at engineering enterprises

В статье рассмотрена система оперативного контроля, направленная на предупреждение и минимизацию рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на предприятиях машиностроительной отрасли. Основной целью разработки является создание комплексной автоматизированной системы мониторинга производственных процессов, позволяющей своевременно выявлять потенциальные угрозы и оперативно реагировать на критические ситуации.

The article considers an operational control system aimed at preventing and minimizing the risks of emergencies in the machine-building industry. The main goal of the development is to create a comprehensive automated monitoring system for production processes that allows timely identification of potential threats and prompt response to critical situations.

Ключевые слова: пожары, технологический процесс, машиностроительное производство, автоматизированная система, чрезвычайные ситуации.

Keywords: fires, technological process, machine-building production, automated system, emergency situations.

Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения уровня производственной безопасности на предприятиях машиностроения, где высок риск возникновения аварийных ситуаций из-за сложных технологических процессов и эксплуатации дорогостоящего оборудования. Современная система оперативного контроля позволяет своевременно выявлять и устранять факторы, способствующие возникновению чрезвычайных ситуаций, снижая экономические потери и повышая

эффективность производственного процесса. Развитие цифровых технологий открывает новые возможности для автоматизации мониторинга и принятия решений, делая такую систему необходимой составляющей современной промышленности.

Пожар - неконтролируемый процесс горения, который причиняет материальный, моральный и физический ущерб, создает опасность для здоровья людей и приносит за собой ряд разрушений для окружающей среды. Процесс горения характеризуется стремительным распространением пламени, высоким уровнем тепловой нагрузки и интенсивностью выделения токсичных продуктов сгорания.

Пожар на предприятии описывается следующими особенностями:

1. Высокая плотность горючих материалов (На предприятиях имеются запасы сырья, готовой продукции, упаковочного материала и различных вариантов отходов, что в свою очередь способствует быстрому развитию пожара)
2. Разнообразие горючих материалов (В зависимости от специфики предприятия при его работе используются различные виды топлива, жидкостей и газов, хранящихся в баллонах под избыточным давлением, что усложняет процесс тушения возгорания и является потенциальным источником возникновения взрыва)
3. Большие площади распространения пламени
4. Опасность взрывов и последующих выбросов вредных, опасных веществ в атмосферу.

Процесс развития пожара представляет собой сложный математический процесс, который можно представить в виде графика [1]. Данный график будет показывать изменение параметров пожара во времени и пространстве с момента его зарождения до полной ликвидации. Различают три основных периода развития пожара:

1. Свободное развитие - момент от начала развития пожара до принятия начальных мер его тушения

2. Локализация - развитие пожара до момента ограничения распространения по площади сосредоточенными силами.

3. Ликвидация пожара

График строится в декартовой системе координат, где по вертикальной оси откладывается значение площади пожара и тушения, на горизонтальной оси откладывается временной интервал (рис.1).

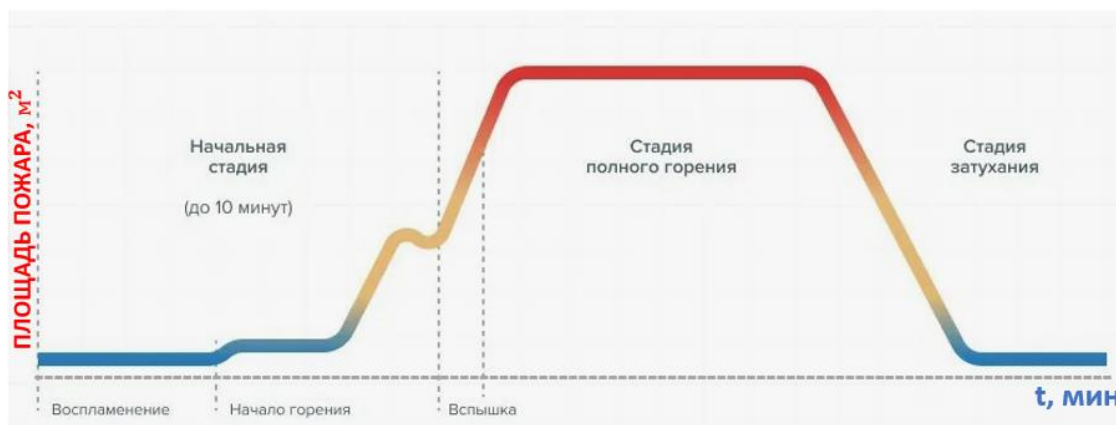


Рис.1. Усредненный график развития пожара

Опираясь на статистику МЧС РОССИИ за 12 месяцев 2024 года произошло 347 210 пожаров, погибло в которых 7545 человек, получили травмы – 8372 человека. Общий материальный ущерб от пожаров составил 18,1 млрд. рублей.

Одной из ключевых задач при обеспечении пожарной безопасности предприятия является оценка пожаровзрывоопасности помещений. Данная процедура направлена на выявление степени риска возникновения и развития пожара либо взрыва, обусловленных наличием и характером распределённых в объёме помещения горючих веществ и материалов.

Методология оценки предусматривает комплексный подход, направленный на установление количественных показателей, позволяющих объективно судить о степени пожарной опасности конкретного помещения.

Основные этапы включают:

1. **Определение категорий помещений** (согласно требованиям нормативных актов, помещения подразделяются на классы в зависимости от

видов горючих веществ, их количества и особенностей технологического процесса)

2. Расчёт показателей пожароопасности (Проводится расчёт удельной пожарной нагрузки, масс испарившихся веществ, площадей распространения огня и других важных параметров)

3. Оценка динамики развития пожара (Моделирование процесса развития пожара позволяет спрогнозировать масштабы бедствия и принять своевременные меры по локализации и устранению пожара)

Категория помещений по пожаровзрывоопасности отражает степень риска возникновения и распространения пожара или взрыва внутри помещения (рис.2). Одной из главных целей категорирования помещений является минимизация рисков, связанных с возникновением и распространением пожара [2]. Определение категории помещения позволяет четко понять, какие противопожарные меры необходимо предпринять, чтобы снизить вероятность возгорания и защитить людей, находящихся в здании.



Рис.2. Категории помещений по пожаровзрывоопасности

Например, для помещений категории А или Б, где есть высокий риск взрыва или быстрого распространения огня, требуется установка более сложных и эффективных систем пожаротушения (например, автоматические газовые системы). Кроме того, такие помещения должны иметь улучшенные системы вентиляции, чтобы предотвратить накопление взрывоопасных веществ.

Помещения категории В и Г также нуждаются в соответствующем оборудовании, но требования могут быть менее строгими, чем для помещений с высоким риском взрыва. Таким образом, категорирование помещений позволяет применять дифференцированный подход к противопожарной защите в зависимости от уровня риска.

Выделяют 5 основных показателей, влияющих на категорию взрывопожароопасности [2]:

- Удельная пожарная нагрузка (УПП) — энергия, выделяемая при сгорании всех горючих материалов в помещении.
- Коэффициент участия в горении (Z) — доля участия горючих газов и паров в формировании взрывоопасной смеси.
- Время распространения пожара — время, за которое огонь достигает критических размеров.
- Максимальное избыточное давление взрыва (ΔP_{\max}) — сила удара при взрыве.
- Безопасная дистанция эвакуации ($L_{\text{эвак}}$) — минимальный безопасный путь выхода из помещения.

Процедура оценки пожаровзрывоопасности помещений включает в себя три основных этапа: сбор информации о помещении, выполнение расчета, подготовка технического заключения и основана на анализе ключевых параметров:

- Характеристика горючих веществ и материалов, расположенных в помещении. Изучается химический состав, температура вспышки, огнестойкость и прочие характеристики.
- Количество и расположение горючих веществ. Производится инвентаризация запасов материалов, выясняется степень изоляции и защищённости хранилищ.
- Особенность технологического процесса. Процессы переработки, перевозки, нагрева и охлаждения могут повлиять на возникновение пожароопасных ситуаций.
- Объемно-планировочные решения помещения. Архитектурные особенности (размеры окон, дверей, форма помещения, местоположение машин и оборудования) влияют на распространение огня и выделение опасных газов.

- Эффективность систем пожарной защиты. Оцениваются работоспособность сигнализаций, спринклерных систем, качество эвакуации.

Для поддержания необходимой категории пожаровзрывоопасности помещения обязательным условием является выполнение следующих требований:

- Использование сертифицированного оборудования, соответствующего нормам пожарной безопасности.
- Периодическое техническое обслуживание и проверка работоспособности систем пожаротушения.
- Подготовка квалифицированного персонала, прошедшего специальное обучение действиям в условиях чрезвычайной ситуации.
- Постоянный мониторинг состояния материалов и условий в помещении, предупреждение накопления горючих веществ.

Вопрос обеспечения пожарной безопасности является одним из важнейших аспектов обеспечения нормального функционирования любого производства, будь то лакокрасочный завод или же офис юридической конторы.

Одним из методов обеспечения оперативного контроля и информирования оператора о превышении нормативных значений технологических параметров может стать автоматизированная система мониторинга и оценки пожарной опасности технологических процессов. Предлагаемая система представляет собой инструмент контроля пожарной опасности помещений на производственном объекте. Она необходима для обеспечения оперативного выявления потенциально опасных условий рабочей среды, способствующих возникновению пожара, и немедленного оповещения оператора о данной угрозе. Принцип работы, предлагаемой системы основан на циклическом процессе (рис.3).

Структура работы системы включает в себя 3 основных этапа: сбор данных, анализ и оповещение.

Сбор данных осуществляется с помощью современных датчиков контроля параметров микроклимата, таких как устройство типа MagicAir. Эти

датчики фиксируют важнейшие характеристики окружающей среды: температуру воздуха и концентрацию вредных газов и примесей.

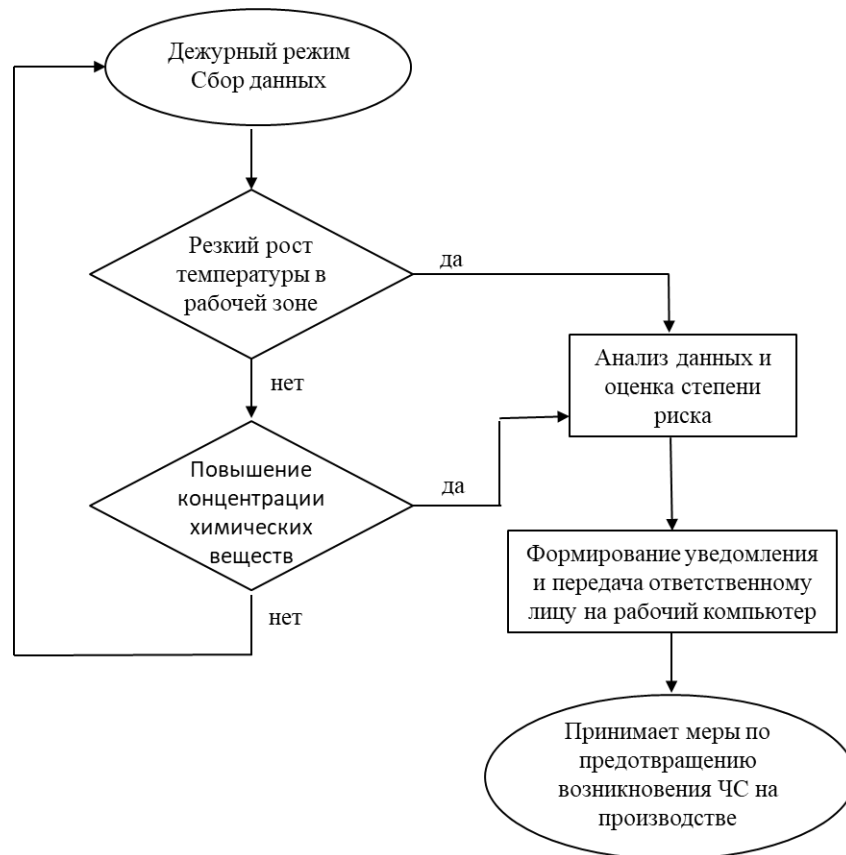


Рис.3. Алгоритм работы программного комплекса

Собранные данные подвергаются интеллектуальному анализу. Алгоритмы позволяют выявить закономерности и факторы риска, способные привести к возгоранию:

1. Резкий рост температуры в рабочей зоне.
2. Повышение концентраций веществ.
3. Изменение значений влажности воздуха рабочей зоны.

Если система распознает превышение допустимых уровней какого-либо из контролируемых параметров, то формируется уведомление и передается ответственному лицу на рабочий компьютер и дублируется через специальный интерфейс- чат бот Telegram. Полученное уведомление чётко информирует о характере возникшей угрозы.

Актуальность и значимость системы напрямую связана с развитием промышленности и расширением производства, следовательно, и с увеличением количества техногенных рисков. Традиционные средства противопожарной защиты, основаны преимущественно на мониторинге пламени, дыма и увеличения температуры за счет уже произошедшего возгорания. Поэтому они оказываются недостаточно эффективными для предотвращения возгорания на ранних стадиях. Система данного программного комплекса и направлена на устранение этого недостатка. Помимо этого, интеграция данной системы с коммуникативными платформами обеспечивает удобство и простоту оповещения ответственных лиц независимо от их местонахождения, существенно снижая риск задержки реагирования на данную угрозу.

Применение данной системы позволит значительно повысить уровень промышленной безопасности, снизить вероятность аварийных происшествий и минимизировать ущерб от возможных ЧС, обеспечивая стабильную работу предприятий машиностроительного комплекса.

Библиографический список:

1. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699 (дата обращения: 26.10.2025)
2. «Свод правил «Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» СП 12.12130.2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=188234> (дата обращения: 26.10.2025)

Иванова Наталья Александровна – к.т.н., доцент кафедры инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», E-Mail: ivanova_na2006@mail.ru

Ivanova Natalia Aleksandrovna - candidate of Sc. in engineering, associate Professor of the Department of environmental engineering and life safety of MSTU «STANKIN», E-Mail: ivanova_na2006@mail.ru

Рябов Сергей Александрович – к.т.н., доцент кафедры инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», E-Mail: zarr05@mail.ru

Ryabov Sergey Aleksandrovich - candidate of Sc. in engineering, associate Professor of the Department of environmental engineering and life safety of MSTU «STANKIN», E-Mail: zarr05@mail.ru

Колпакова Анастасия Владимировна – студент (ЭДБ-22-08), кафедры инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», E-Mail: kolpakova.anastasi@yandex.ru

Kolpakova Anastasia Vladimirovna – student (ЭДБ-22-08), of the Department of environmental engineering and life safety of MSTU «STANKIN», E-Mail: kolpakova.anastasi@yandex.ru

УДК 502.131.1

Иванова Н. А., Рябов С. А., Стрекалова К.А.

Ivanova N.A., Ryabov S.A., Strekalova K.A.

Применение стратегии устойчивого развития в современном производстве для повышения его конкурентоспособности**Applying a sustainable development strategy in modern production to increase its competitiveness**

Данная статья посвящена изучению перспектив внедрения стратегии устойчивого развития в промышленное производство. Рассматриваются ключевые принципы экологически ориентированного подхода, включая минимизацию воздействия на окружающую среду, рациональное использование ресурсов и внедрение инновационных технологий. Особое внимание уделено применению альтернативных видов топлива, как способ снижения углеродного следа и издержек предприятий.

This article explores the prospects for implementing a sustainable development strategy in industrial production. It examines the key principles of an environmentally-oriented approach, including minimizing environmental impact, rational resource use, and the implementation of innovative technologies. Special attention is given to the use of alternative fuels as a way to reduce the carbon footprint and costs of enterprises.

Ключевые слова: *альтернативное топливо, производство, утилизация отходов, снижение выбросов CO₂, экономика замкнутого цикла, экологическая модернизация, энергоэффективность.*

Keywords: *alternative fuel, production, waste disposal, reduction of CO₂ emissions, closed-loop economy, environmental modernization, and energy efficiency.*

Стратегия устойчивого развития ориентирована на обеспечение баланса между экономическими интересами предприятия, экологическим благополучием окружающей среды и социальной ответственностью перед обществом. Применение стратегии устойчивого развития (рис.1.) в

машиностроительном производстве предполагает комплекс мероприятий, направленных на повышение эффективности технологий, снижение негативного воздействия на окружающую среду и улучшение условий труда сотрудников.



Рис.1. Применение стратегии устойчивого развития

Применение энергоэффективных решений даёт возможность заметно уменьшить расходы на изготовление товаров и сократить вредные выбросы. Этого добиваются путём введения передовых подходов к управлению потреблением энергоресурсов, оснащением автоматическими системами мониторинга и учёта потребления энергии, улучшением производственных циклов и обновлением техники и технологии. Ресурсосбережение помогает оптимизировать закупку исходных компонентов, повысить эффективность труда и улучшить качество готовой продукции. Вторичное использование ресурсов сокращает количество отходов и уменьшает вредное воздействие на окружающую среду. Выполнение стандартов экологической безопасности все чаще является необходимым требованием успешной деятельности каждого производственного объекта. Для повышения “экологической устойчивости” важно разрабатывать и внедрять экологически чистые технологии, контролировать объёмы выбросов загрязнителей и правильно перерабатывать опасные отходы.

Повышение квалификации работников в области новых методов и технологий улучшает производительность труда и повышает качество конечной продукции. Формирование безопасных условий труда благоприятно сказывается на самочувствии и работоспособности сотрудников, снижая число профессиональных заболеваний и несчастных случаев на производстве.

Последовательная реализация предложенных мер способна серьёзно укрепить позиции машиностроительных предприятий и способствовать повышению их конкурентоспособности.

В настоящее время мы всё чаще видим, как множество заводов становятся всё более технологичными и трансформируются в высокотехнологичные комплексы. Одним из примеров является завод «Цементум» (бывший Воскресенский цементный завод), где в ходе комплексной модернизации были внедрены следующие природоохранные технологии: использование альтернативного топлива (АТ), технология укрепления грунта, технология очистки сточных вод, технология по сокращению потребления водных ресурсов [1].

Основное экологическое направление данного завода — это уменьшение вредных выбросов в окружающую среду. С этим также связанная технология использования альтернативного топлива. На цементных заводах чаще всего используют: твердое измельченное топливо - производится из несортированных бытовых, промышленных и коммерческих отходов (исключая опасные). После сортировки, измельчения и сепарации извлекаются полезные фракции (металл, стекло), а горючая часть (пластик, бумага, текстиль, дерево) и превращается в топливную гранулу. Также к альтернативному топливу относят вторичные ресурсы, такие как использованные шины, древесные отходы (кора, опилки), нефтешламы и др.

Основываясь на ГОСТ Р 71858-2024 «Ресурсосбережение. Альтернативное топливо из твёрдых коммунальных отходов для цементной промышленности [2]. Технические условия» определяются требования к

альтернативному топливу из неопасных отходов для цементной промышленности, которые включают в себя, в частности:

- требования к составу исходного сырья для производства топлива;
- требования к предельным значениям теплотехнических и экологических параметров топлива;
- правила приёмки и методы определения показателей качества;
- требования по безопасности при работе с топливом;
- правила хранения, транспортирования;
- правила подтверждения соответствия уровню качества изготовителем.

Переход цементного производства на альтернативное топливо несет в себе комплекс фундаментальных экологических преимуществ, реализуя стратегию устойчивого развития в одной из самых «грязных» отраслей.

Прежде всего, это значительное снижение углеродного следа. Ключевой вклад здесь вносит использование биогенных видов топлива, таких как древесные отходы, сельскохозяйственная биомасса и продукты переработки ТКО органического происхождения. CO₂, выделяющийся при их сгорании, считается углеродно-нейтральным. Это позволяет заводу напрямую сократить объем выбросов парниковых газов. Этот экологический эффект напрямую связан со сбережением не возобновляемых природных ресурсов. Каждая тонна альтернативного топлива, будь то RDF или отработанные масла, замещает собой эквивалентное количество угля или газа. Таким образом, цементный завод не только снижает свою операционную зависимость от ископаемого топлива, но и вносит прямой вклад в сохранение природы для будущих поколений, двигая экономику в сторону большей ресурсной эффективности.

Пожалуй, одним из самых социально значимых преимуществ является кардинальное решение проблемы отходов. Цементные заводы, использующие технологию совместной переработки, становятся мощными инструментом борьбы с переполненными полигонами. Они обеспечивают альтернативное применение не перерабатываемых фракций отходов, которые в

ином случае были бы захоронены, загрязняя почву, воду и воздух. Это позволяет перейти от линейной модели экономики, построенной по принципу «произвел-использовал-выбросил», к экономике замкнутого цикла, где отходы одного процесса становятся сырьем для другого (рис.2.).

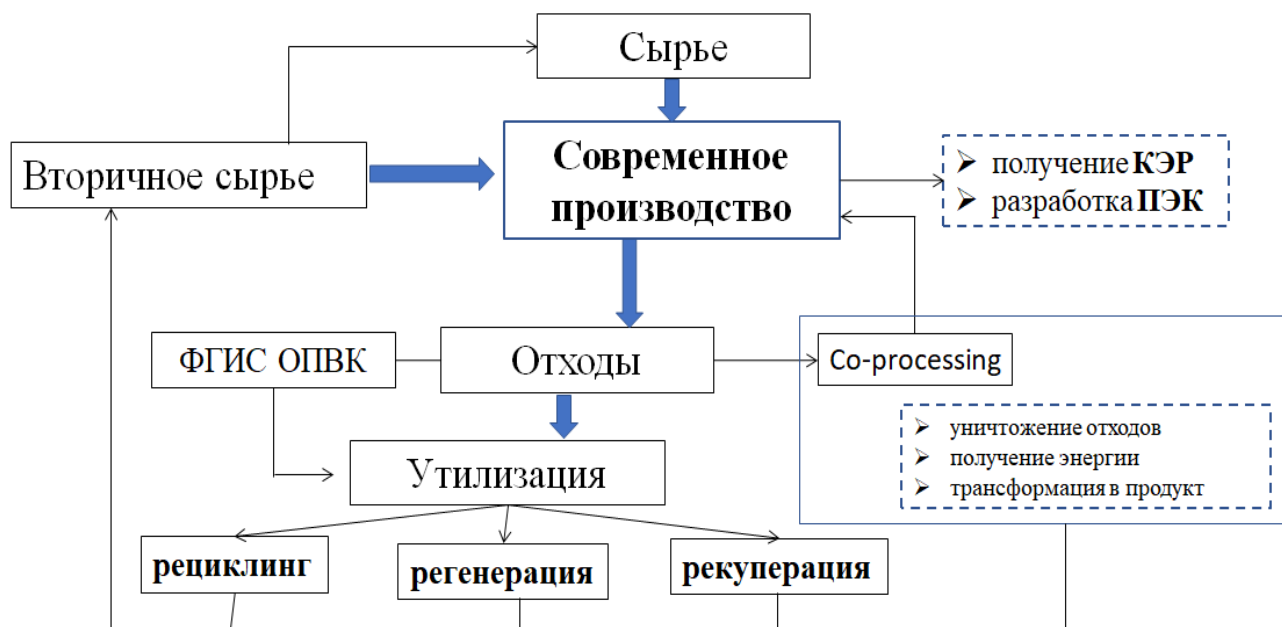


Рис. 2. Внедрение экономики замкнутого цикла в современное производство

«Экономика замкнутого цикла» — одна из 42 стратегических инициатив Правительства России, масштабная, межотраслевая задача. Сегодня принципы экономики замкнутого цикла занимают ведущее место в глобальной мировой повестке.

Цементная промышленность является одной из опор современной инфраструктуры и строительного комплекса, однако при этом она остается одним из крупнейших источников выбросов парниковых газов в мире. Процесс производства клинкера, «сердца» цемента, требует колоссальных энергозатрат и связан со значительными выбросами CO_2 как в результате химических реакций (декарбонизации сырья), так и при сжигании традиционного ископаемого топлива [3].

В условиях ужесточения экологического законодательства, роста цен на энергоносители и растущего давления со стороны общества и инвесторов,

цементные заводы стоят перед необходимостью кардинальной трансформации. Одним из наиболее эффективных и быстро внедряемых решений на этом пути является использование альтернативного топлива (АТ) [4].

Ключевая суть технологии заключается не в простом сжигании отходов, а в высокотемпературной утилизации с получением пользы. Это сложный инженерный процесс, основанный на двух главных принципах:

1. Энергетическая рекуперация: таким образом, мы не просто «избавляемся» от отходов, а извлекаем из них энергию, экономя ископаемое топливо.

2. Принцип «совместной переработки» (co-processing): это фундаментальная концепция, которая отличает простой мусоросжигательный завод от цементного производства и включает в себя:

- Уничтожение отходов: Высокие температуры (до 2000°C в факеле), длительное время пребывания газов в печи гарантируют полное и безопасное разрушение даже стойких органических загрязнителей.

- Получение энергии: тепло от сжигания используется в технологическом процессе.

- Использование минеральной составляющей (золы): Негорючие минеральные компоненты, содержащиеся в отходах (например, мел, глина, песок), не улетучиваются с дымовыми газами, а встраиваются в структуру клинкера, заменяя часть традиционного сырья.

Проведя сравнительный анализ применения использования альтернативного топлива на Воскресенском цементном заводе компании «Цементум», были выделены достоинства и недостатки применяемой технологии (табл.1.):

Таблица 1.

Сравнительный анализ использования альтернативного
топлива на цементном заводе

Критерий	Достоинства	Недостатки
Экономика	Снижение затрат до 40-60% Доход от утилизации отходов Окупаемость инвестиций: 3-7 лет	Капитальные затраты на модернизацию. Рост расходов на 10-15%
Экология	Снижение выбросов CO ₂ : до 40% (при 60% замещении) Сокращение захоронения отходов: до 300 000 т/год Нулевые отходы (co-processing)	Рост затрат на экологический мониторинг Риск выбросов диоксинов (при нарушении технологии)
Технология	Замещение ископаемого топлива: до 60-85% Стабильность минеральной части в клинкере	Снижение производительности печи: на 5-10% Ускоренная коррозия оборудования (срок службы сокращается на 15-20%)
Качество продукции	Соответствие клинкера ГОСТ 31108 Использование золы как сырья	Риск колебаний качества при несоблюдении контроля
Социальный эффект	Создание новых рабочих мест: +20-40 Снижение экологических платежей: 30-50%	Негативное восприятие общественностью («завод-мусоросжигатель») Риск репутационных потерь

Переход на альтернативное топливо — это комплексная трансформация предприятия, затрагивающая не только технологию, но и экономику, экологию и управление. Таким образом, внедрение технологии использования альтернативного топлива принесло заводу значительные преимущества.

В заключение можно сказать, что технология использования альтернативного топлива на Воскресенском цементном заводе «Цементум» — это яркий пример успешного внедрения принципов экономики замкнутого цикла. Она позволяет одновременно решать несколько задач: снижать себестоимость продукции, уменьшать зависимость от ископаемого топлива,

сокращать углеродный след и вносить вклад в решение общегосударственной проблемы утилизации твердых коммунальных отходов. Это не просто тренд, а стратегическое направление модернизации современной промышленности, делающее ее более устойчивой и экологически ответственной.

Библиографический список:

1. Приказ Минтруда России от 16.11.2020 N 781н. «Об утверждении Правил по охране труда при производстве цемента». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372024/ (дата обращения: 28.10.2025)
2. ГОСТ 31108-2020 «Цементы общестроительные. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2020 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data/738/73873.pdf> (дата обращения: 28.10.2025)
3. Германович В. Дурилин А. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли биомассы. — СПб.: Наука и Техника, 2014. — 320 с.
4. Фролов А. В. Новые источники энергии. – Тула:, 2013. – 390 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fr7910su.bget.ru/book1.pdf> (дата обращения: 28.10.2025)

Иванова Наталья Александровна – к.т.н., доцент кафедры инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», E-Mail: ivanova_na2006@mail.ru

Ivanova Natalia Aleksandrovna - candidate of Sc. in engineering, associate Professor of the Department of environmental engineering and life safety of MSTU «STANKIN», E-Mail: ivanova_na2006@mail.ru

Рябов Сергей Александрович – к.т.н., доцент кафедры инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», E-Mail: zarrr05@mail.ru

Ryabov Sergey Aleksandrovich - candidate of Sc. in engineering, associate Professor of the Department of environmental engineering and life safety of MSTU «STANKIN», E-Mail: zarr05@mail.ru

Стрекалова Ксения Алексеевна – студент (ЭДБ-23-08), кафедры инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», E-Mail: xenoninka@mail.ru

Strekalova Ksenia Alekseevna – student (ЭДБ-23-08), of the Department of environmental engineering and life safety of MSTU «STANKIN», E-Mail: xenoninka@mail.ru

УДК 62-52

Игитов Г. А.

Igitov G. A.

Разработка и испытания scara-манипулятора для задач экологического мониторинга**Development and testing of a scara manipulator for environmental monitoring tasks**

В статье рассматриваются результаты проектирования, изготовления и экспериментальных испытаний компактного робота-манипулятора с кинематикой SCARA. Разработка ориентирована на применение в области экологической безопасности для автоматизации операций отбора проб, точечного нанесения реагентов или установки датчиков в зонах локального загрязнения. Приведено обоснование выбора кинематической схемы, разработана математическая модель для управления в декартовой системе координат, реализована система управления на базе микроконтроллера Arduino Nano. Изготовлен функционирующий опытный образец методом аддитивных технологий (FDM-печать). В ходе испытаний подтверждена работоспособность манипулятора и оценена практическая точность позиционирования, которая составила ± 5 мм, что не превысило расчетного значения. Показана экономическая эффективность разработки. Результаты работы демонстрируют потенциал использования компактных SCARA-манипуляторов отечественной разработки в составе мобильных или стационарных комплексов экологического мониторинга и обслуживания.

The article discusses the results of the design, manufacture and experimental testing of a compact robotic arm with SCARA kinematics. The development is focused on applications in the field of environmental safety for automation of sampling operations, spot application of reagents or installation of sensors in areas of local pollution. The rationale for choosing a kinematic scheme is given, a mathematical model for control in the Cartesian coordinate system is developed, and a control system based on an

Arduino Nano microcontroller is implemented. A functioning prototype was manufactured using additive technology (FDM printing). During the tests, the operability of the manipulator was confirmed and the practical positioning accuracy was estimated, which was ± 5 mm, which did not exceed the calculated value. The economic efficiency of the development is shown. The results of the work demonstrate the potential of using compact SCARA manipulators of domestic development as part of mobile or stationary environmental monitoring and maintenance complexes.

Ключевые слова: SCARA-манипулятор, экологическая безопасность, система управления, декартова система координат, аддитивные технологии, Arduino, кинематическое моделирование, точность позиционирования

Keywords: SCARA manipulator, environmental safety, control system, Cartesian coordinate system, additive technologies, Arduino, kinematic modeling, positioning accuracy

Введение. Современные вызовы в области экологии, такие как ликвидация последствий разливов нефтепродуктов, мониторинг состояния почв и водоемов, требуют применения высокоточных и автоматизированных технических средств. Использование робототехнических комплексов позволяет минимизировать риски для персонала в опасных зонах, повысить скорость и точность операций [1, 2].

Одним из перспективных направлений является создание недорогих, универсальных и легко программируемых манипуляторов, способных выполнять операции в полуавтономном режиме. В условиях необходимости импортозамещения актуальность подобных отечественных разработок существенно возрастает [3].

Манипуляторы типа SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm) обладают рядом преимуществ для задач, требующих высокого быстродействия и точности в плоскости [4]. Их компактность, относительная простота кинематики и возможность управления в декартовой системе координат делают их идеальными кандидатами для оснащения мобильных платформ или стационарных постов экологического контроля.

Целью данной работы являлась разработка, изготовление и испытание функционального образца SCARA-манипулятора, адаптированного для решения прикладных задач в области экологической безопасности, таких как:

- Отбор проб грунта и воды.
- Установка датчиков контроля параметров окружающей среды.

Для реализации поставленных задач была выбрана классическая SCARA-кинематика с двумя вращательными степенями свободы в горизонтальной плоскости. Конструкция манипулятора включает два звена (плеча) длиной $L_1 = L_2 = 150$ мм, что формирует рабочую зону в виде кругового сектора с максимальным радиусом до 300 мм.

Для обеспечения удобства программирования операций (например, перемещения по прямой линии между точками отбора проб) была разработана математическая модель, связывающая угловые координаты приводов (α_1, α_2) с декартовыми координатами схвата (X, Y) на плоскости. Решение обратной задачи кинематики, необходимой для управления, осуществляется по формулам:

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{L_1^2 + R^2 - L_2^2}{2 * L_1 * R}\right)$$

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{Y}{R}\right), \text{ для } X \geq 0$$

$$\varphi = \arccos\left(\frac{Y}{R}\right) + 90^\circ, \text{ для } X < 0$$

$$\alpha_1 = \theta + \varphi$$

$$\alpha_2 = \arccos\left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - R^2}{2 * L_1 * L_2}\right)$$

Для перемещения схвата по прямой траектории между двумя точками ($X_{нач}, Y_{нач}$) и ($X_{кон}, Y_{кон}$) реализован алгоритм линейной интерполяции с заданным шагом.

Система управления построена на базе микроконтроллера Arduino Nano. В качестве приводов используются сервомоторы MG946R (для базового звена,

обладающий высоким моментом) и SG90 (для второго звена, обладающий малым весом). Для ввода целевых координат и управления режимами работы используется пульт с двумя потенциометрами и кнопками. Текущая информация выводится на LCD-дисплей 16x2 с I2C-интерфейсом.

Конструкция манипулятора (основание, два плеча) спроектирована в отечественной САПР T-FLEX CAD и изготовлена методом FDM-печати из PLA-пластика, что обеспечило низкую стоимость и быструю реализацию прототипа. Для обеспечения универсальности на конце второго звена предусмотрен быстросъемный разъем для установки сменных инструментов: механического захвата, шприца-дозатора для реагентов или держателя датчика.

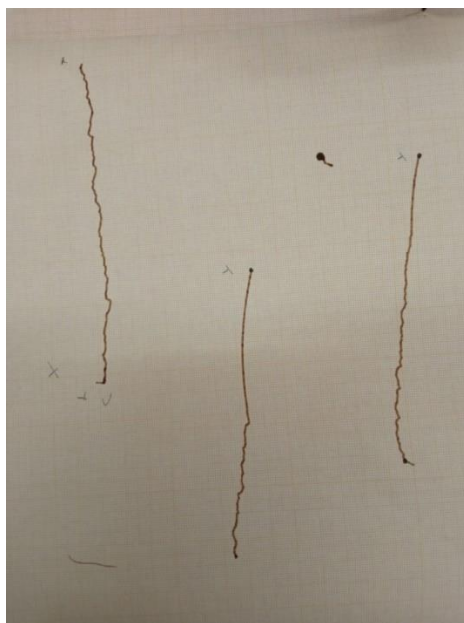
Программное обеспечение, реализованное в среде Arduino IDE, включает функции:

- Калибровки приводов.
- Опроса органов управления.
- Решения обратной задачи кинематики.
- Линейной интерполяции траектории.
- Управления ШИМ-сигналами для сервоприводов.

Для оценки эксплуатационных характеристик манипулятора был проведен цикл испытаний. Основное внимание уделялось точности позиционирования и отработки траекторий, как ключевым параметрам для задач экологического мониторинга.

Теоретическая оценка погрешности, обусловленная дискретностью сервоприводов ($\pm 0.5^\circ - 1^\circ$), показала максимальное отклонение до ± 5.2 мм на краю рабочей зоны.

Экспериментальная проверка заключалась в управляемом перемещении манипулятора с установленным пишущим инструментом по осям X и Y декартовой системы координат. Результаты (Рисунок 1) показали, что фактическая погрешность не превысила ± 5 мм, что хорошо согласуется с теоретическими расчетами.



**Рис. 1. Результаты тестирования точности
перемещения по осям X и Y**

Для демонстрации возможности автономной работы был запрограммирован цикл вычерчивания квадрата 50x50 мм. Манипулятор успешно отработал программу, показав хорошую повторяемость движений (Рисунок 2). Наблюдаемые незначительные искажения формы (37x52 мм) связаны с зоной нечувствительности сервоприводов и нелинейностью их характеристик, что указывает на направления для дальнейшего совершенствования системы управления.

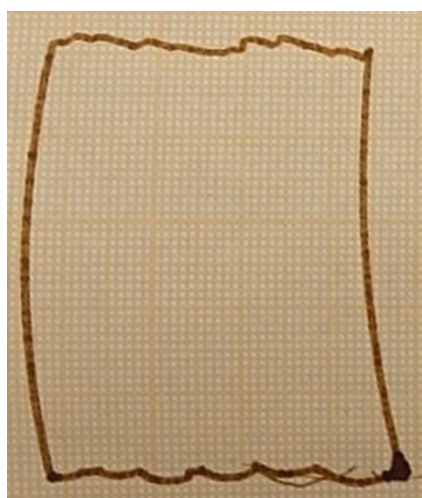


Рис. 2. Результат отработки автоматического цикла (квадрат)

Себестоимость изготовления опытного образца, без учета затрат на НИОКР, составила приблизительно 2500 рублей. Расчеты показывают, что при серийном выпуске 100 шт. отпускная цена может составить около 4700 рублей, что на порядок ниже стоимости зарубежных аналогов. Это подтверждает высокий потенциал разработки для широкого внедрения.

В ходе работы был успешно разработан, изготовлен и испытан функциональный образец SCARA-манипулятора. Экспериментально подтверждено, что его точность (± 5 мм) и функциональность достаточны для решения ряда прикладных задач в области экологической безопасности, таких как:

- Автоматизированный отбор проб в заранее заданных точках.
- Установка измерительных зондов.

Использование аддитивных технологий и доступной элементной базы позволило создать конкурентоспособный прототип, отвечающий задачам импортозамещения.

Перспективы дальнейших исследований связаны с повышением точности за счет применения шаговых двигателей и зубчатых ременных передач, разработкой специализированных сменных инструментов (пробоотборников, дозаторов), а также интеграцией манипулятора с мобильной роботизированной платформой или системой технического зрения для создания полноценного автономного комплекса экологического мониторинга и реагирования.

Библиографический список:

1. ГОСТ Р 60.0.0.4—2023/ИСО 8373:2021 Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения.
2. Давыдов Д.Г. Проектирование и Моделирование SCARA робота // Проспект Свободный – 2023: Материалы XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск: СФУ, 2023. – С. 1733-1736.

3. Махов А.А. Аддитивные технологии в опытном производстве приборов на солнечных батареях // Развитие экономики Российской Федерации в условиях формирования технологического суверенитета. – М., 2023. – С. 117-124.
4. Оганисян С.А. Анализ устойчивости системы управления роботоманипулятора типа SCARA // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2013. – № 3. – С. 27-29.
5. Пупков К.А. Интеллектуальные робототехнические системы. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019.

Игитов Григорий Андреевич - студент техносферная безопасность ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 11122200000@bk.ru

Igitov Grigory Andreevich - student of technosphere safety, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education, Moscow State Technical University, Stankin, 11122200000@bk.ru

УДК 621.793

Каламбетов А. И., Репкина Е. Ю.

Kalambetov A., Repkina E. Yu.

Методы ионной модификации поверхности деталей машиностроения**Methods of ion modification of the surface of mechanical engineering parts**

В статье представлен анализ и систематизация современных методов ионной модификации поверхности. Проведен анализ их физико-химических свойств в сравнении между собой. Показаны технологические возможности и перспективы совершенствования данных методов.

This article presents an analysis and systematization of modern methods of ionic surface modification. Their physicochemical properties are compared and analyzed. The technological capabilities and prospects for improving these methods are demonstrated.

Ключевые слова: модификация, поверхностный слой, ионная имплантация, ионное азотирование, дулексные технологии

Key words: modification, surface layer, ion implantation, ion nitriding, duplex technologies

Современные тенденции в машиностроении, авиакосмической и медицинской промышленности требуют создания материалов и конструкций, способных работать в экстремальных условиях: при высоких механических нагрузках, в агрессивных средах, в условиях трения и кавитации. Часто оказывается экономически и технически нецелесообразным использовать для изготовления деталей дорогостоящие и высокопрочные материалы. Данная проблема может быть решена применением методов поверхностного упрочнения, которые позволяют создавать на поверхности относительно дешевых материалов (таких как конструкционные стали, титановые и алюминиевые сплавы) тонкий слой с принципиально иными свойствами – высокой твердостью, износостойкостью и коррозионной стойкостью [1, 3-5].

Среди множества методов поверхностного упрочнения (лазерная закалка, химико-термическая обработка, напыление покрытий) особое место занимают методы ионной модификации. Их главное преимущество заключается в возможности прецизионного управления процессом в вакууме, что обеспечивает высокую чистоту и воспроизводимость результатов. Эти методы позволяют в широких пределах варьировать состав, структуру и толщину упрочненного слоя, модифицировать поверхность при относительно низких температурах, что минимизирует деформации и коробление обрабатываемых деталей. В то же время, изобилие методов ионной модификации требует их рационального выбора в условиях конкретного производства, базирующегося на анализе преимуществ и недостатков каждого способа и их сравнительной оценки, что и предопределило тему исследования [1-3, 6-8].

Ионная модификация поверхности основана на взаимодействии ускоренных в электрическом поле ионов с атомами мишени (обрабатываемой детали). Энергия ионов может варьироваться от десятков эВ до сотен кэВ, что определяет глубину их проникновения и механизм воздействия [2-5].

Основные процессы, протекающие при ионной бомбардировке:

- имплантация: внедрение ионов примеси в приповерхностный слой мишени с образованием пересыщенного твердого раствора или новых фаз;
- распыление: выбивание атомов мишени с ее поверхности, что приводит к ее очистке и может использоваться для прецизионного травления;
- генерация дефектов: создание в приповерхностном слое вакансий, межузельных атомов и их комплексов, что приводит к упрочнению по механизму деформационного упрочнения;
- ионное стимулирование: активация поверхности, интенсификация диффузионных процессов и фазообразования за счет передачи энергии ионов решетке мишени;

– нагрев: кинетическая энергия ионов преобразуется в тепловую, что может приводить к локальному или объемному нагреву обрабатываемой детали.

Соотношение этих процессов зависит от массы и энергии ионов, угла падения, а также от природы материала мишени.

На сегодняшний день к основным методам ионной модификации относятся ионная имплантация, ионное азотирование, а также комбинированные методы.

Ионная имплантация (рис.1) заключается во внедрении ионов легирующего элемента в приповерхностный слой материала с высокой энергией (10-500 кэВ). Ионы предварительно ускоряются в вакуумной камере в электрическом поле и бомбардируют мишень. Глубина имплантации определяется энергией ионов, а профиль распределения концентрации близок к гауссовскому [2, 4-7].

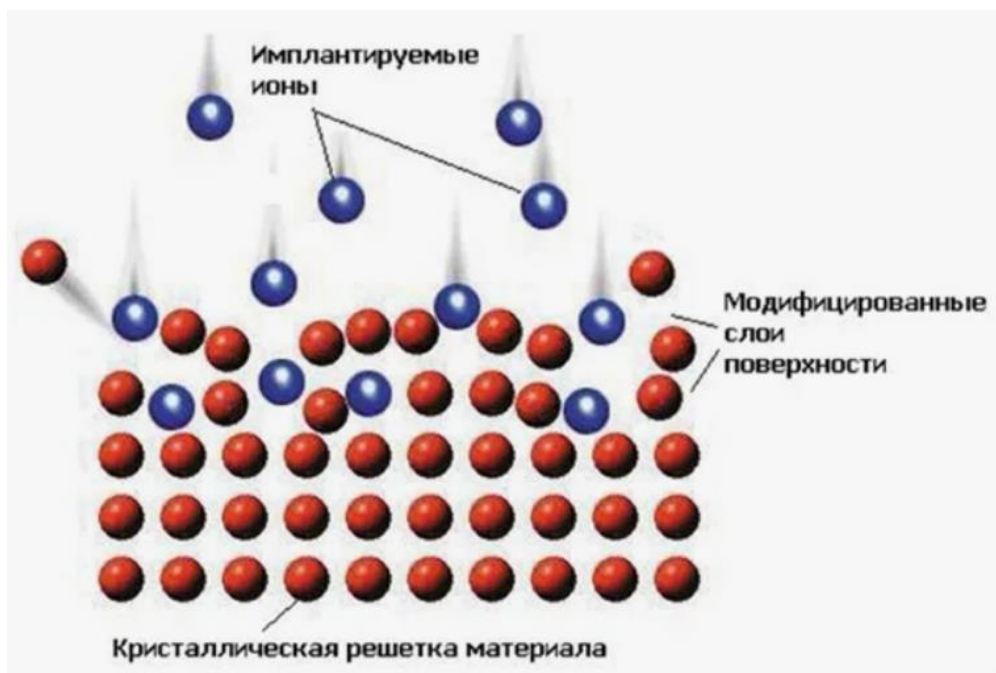


Рис.1. Процесс ионной имплантации

В качестве легирующих элементов могут быть использованы азот (N), углерод (C), бор (B), металлы (Ti, Cr, Y, Mo, Yb и др.).

Эффекты:

– Формирование пересыщенных твердых растворов.

- Создание остаточных напряжений сжатия.
- Образование дисперсных фаз-нитридов, карбидов, боридов, которые упрочняют матрицу по механизму дисперсионного упрочнения.
- Повышение твердости в 3-9 раз.
- Снижение коэффициента трения.

Преимущества и недостатки ионной имплантации представлены в табл.1.

Таблица 1.
Преимущества и недостатки ионной имплантации

Преимущества	Недостатки
Низкая температура процесса (обычно $<200^{\circ}\text{C}$), что исключает отпуск и коробление закаленных деталей	Малая глубина упрочненного слоя
Отсутствие проблем с адгезией, так как модифицированный слой является частью подложки	Эффект «теневого маскировки»: невозможность равномерной обработки сложнопрофильных деталей
Высокая точность контроля и дозирования количества внедряемой примеси	Высокая стоимость оборудования (ионные имплантеры) и процесса
Возможность легирования любыми элементами, не зависящая от их растворимости в материале по законам термодинамики	Риск распыления и травления поверхности, а не имплантации, при неправильном выборе режимов
Высокая чистота и воспроизводимость процесса, так как он проходит в вакууме	Возможное ухудшение чистоты поверхности из-за осаждения распыленного материала с оснастки

Ионно-плазменное азотирование (также известное как плазменное азотирование или азотирование в тлеющем разряде) является одним из наиболее распространенных методов диффузионного насыщения поверхности азотом. Деталь (катод) помещается в вакуумную камеру (рис. 2), заполненную азотом или азотосодержащей газовой смесью (например, $\text{N}_2 + \text{H}_2$). При подаче напряжения между катодом и анодом (стенки камеры) зажигается тлеющий разряд, ионизирующий газ. Положительные ионы азота ускоряются в

прикатодном слое (падение потенциала) и бомбардируют поверхность детали, вызывая ее нагрев и обеспечивая диффузию азота вглубь [2, 5-8].



Рис.2. Ионное азотирование деталей

Эффекты:

- Образование диффузионного азотированного слоя глубиной от 10 до 500 мкм.
- Формирование внешнего тонкого (5-20 мкм) соединенного слоя ($\epsilon\text{-Fe}_{2-3}\text{N}$, $\gamma'\text{-Fe}_4\text{N}$), обладающего высокой твердостью (1000-1200 HV) и коррозионной стойкостью.
- Зона внутреннего азотирования (диффузионная зона) с выделениями нитридов легирующих элементов (CrN , VN , MoN), обеспечивающая упрочнение на значительной глубине.

Преимущества и недостатки ионно-плазменного азотирования представлены в табл.2.

Таблица 2.

Преимущества и недостатки ионно-плазменного азотирования

Преимущества	Недостатки
Значительная глубина упрочненного слоя (до 500 мкм и более). Меньшие деформации деталей по сравнению с газовым азотированием	Более высокие температуры процесса (450-600°C), что может привести к отпуску высокотвердых сталей
Формирование поверхностного соединенного слоя с высокой	Эффект «краевого свечения» (перегрев и оплавление острых кромок и мелких деталей)

твердостью и коррозионной стойкостью	
Высокая производительность и возможность одновременной обработки больших партий деталей	Необходимость использования специальных экранов и приспособлений для обеспечения равномерности обработки
Экологическая чистота (не используются токсичные газы, как аммиак при газовом азотировании)	Сложность прямого контроля глубины и структуры слоя в процессе обработки
Возможность обработки нержавеющей сталей и титановых сплавов за счет катодного распыления пассивной оксидной пленки	Возможное образование пористости в соединенном слое при нарушении режимов, что снижает его свойства

Наиболее перспективными методами модификации поверхности являются технологии, объединяющие несколько методов в одном операционном пространстве. К таким методам относятся ионно-лучевое напыление с имплантацией, дулекс-технологии и др.

Ионно-лучевое напыление с имплантацией представляет собой комбинированную технологию, сочетающую осаждение покрытия (PVD-метод) и ионную имплантацию. Процесс проводится в вакуумной установке, где одновременно работают источник осаждения (например, магнетронный распылитель) и источник ионной имплантации (ионный источник или имплантер). Поток ионов (например, азота или аргона) бомбардирует растущее покрытие и подложку.

Эффекты:

- Ионное перемешивание: создание переходного слоя между покрытием и подложкой с градиентом состава, что кардинально повышает адгезию.
- Стимулирование роста покрытия: ионная бомбардировка приводит к уплотнению структуры покрытия, уменьшению размера зерна, формированию текстуры.

– Бомбардировка растущего титанового покрытия ионами азота приводит к синтезу стехиометрического нитрида титана (TiN) непосредственно в процессе осаждения.

Преимущества и недостатки ионно-лучевого напыления с имплантацией представлены в табл.3.

Таблица 3.

Преимущества и недостатки ионно-лучевого напыления с имплантацией

Преимущества	Недостатки
Превосходная адгезия покрытия к подложке за счет ионного перемешивания	Высокая сложность и стоимость оборудования, объединяющего несколько технологических модулей
Возможность получения толстых (несколько мкм) упрочненных слоев с контролируемыми свойствами	Процесс требует точной синхронизации работы разных источников (магнетрона, ионного источника)
Управление внутренними напряжениями в покрытии (можно переводить растягивающие напряжения в сжимающие)	Высокие энергозатраты
Формирование плотной, беспористой, мелкозернистой структуры покрытия под действием ионной бомбардировки	Риск перегрева подложки при интенсивной ионной бомбардировке

Дуплекс-технология ионно-плазменное азотирование (ИПА) + PVD-покрытие: сначала поверхность детали азотируется методом ИПА для создания глубокого упрочненного слоя, а затем на него наносится тонкое (2-5 мкм) износостойкое покрытие (например, TiN, CrN, DLC). Такая система сочетает высокую несущую способность азотированной подложки и низкий коэффициент трения твердого покрытия.

Преимущества комбинированных методов модификации поверхности представлены в табл. 4.

Таблица 4.

Преимущества комбинированных методов
ионной модификации поверхности

Преимущества	Недостатки
Синергетический эффект: сочетание преимуществ отдельных методов (глубина + твердость + низкое трение)	Наибольшая стоимость среди всех методов из-за сложности и длительности процесса
Высокая несущая способность системы «покрытие-подложка». Азотированная подложка предотвращает продавливание твердого, но тонкого покрытия	Высокие требования к подготовке поверхности между этапами
Максимальное повышение износостойкости, усталостной прочности и противозадирных свойств	Процесс требует высококвалифицированного персонала для настройки и контроля
Идеальное решение для деталей, работающих в условиях экстремальных нагрузок и абразивного износа. Универсальность: возможность подбора оптимальной комбинации методов под конкретную задачу	Невозможность применения для термочувствительных материалов из-за высокотемпературного этапа азотирования

Таким образом, методы ионной модификации поверхности представляют собой мощный и гибкий инструмент для придания материалам новых функциональных свойств. От ионной имплантации, позволяющей легировать поверхность практически любым элементом при низких температурах, до комбинированных дулекс-технологий, создающих сложные композиционные системы «подложка-покрытие» – эти методы охватывают широкий спектр задач по упрочнению поверхности.

Несмотря на относительно высокие капитальные затраты на оборудование, их экономическая эффективность обусловлена значительным увеличением срока службы дорогостоящих деталей и инструмента, что делает их незаменимыми в высокотехнологичных отраслях промышленности.

Библиографический список:

1. Григорьев С.Н., Волосова М.А., Сухова Н.А., Шехтман С.Р. Технология синтеза дуплексных вакуумных ионно-плазменных покрытий системы TiZrAlN для деталей энергоустановок / Вестник Московского авиационного института. 2023. Т. 30. № 3. – С. 201-208.
2. Криони Н.К., Шехтман С.Р., Мигранов М.Ш. Наноструктурированные вакуумные ионно-плазменные покрытия Москва, 2017. – 336 с.
3. Мигранов М.Ш., Шехтман С.Р., Сухова Н.А., Гусев А.С. Износоустойчивые комплексы инструментального назначения для эксплуатации в условиях повышенной теплосиловой нагрузки / Вестник Московского авиационного института. 2022. Т. 29. № 3. – С. 222 - 230.
4. Табаков В.П. Методы поверхностной модификации нанесения покрытий. – Ульяновск 2015 г.
5. Okunkova A.A., Shekhtman S.R., Metel A.S., Suhova N.A., Fedorov S.V., Volosova M.A., Grigoriev S.N. On defect minimization caused by oxide phase formation in laser powder bed fusion / Metals. 2022. Т. 12. № 5.
6. Migranov M.Sh., Shekhtman S.R., Suhova N.A., Migranov A.M. Composite nanostructured wear-resistant coatings for high-speed cutting processing / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. С. 012053.
7. <https://studizba.com/lectures/inzheneriya/tehnologija-izdelij-integralnoj-tehniki/40145-osnovy-ionnogo-legirovaniya.html>
8. <https://ranv.ru/2023/11/15/ionnoe-poverhnostnoe-uprochnenie-detalej-i-instrumenta/>

Каламбетов Антон Игоревич - студент группы МДБ-22-03, кафедры «Высокоэффективных технологий обработки», ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», kalambetova0482@rambler.ru

Kalambetov Anton Igorevich - student in the MDB-22-03 group, Department of Highly Efficient Processing Technologies, Moscow State Technical University «STANKIN» kalambetova0482@rambler.ru

Репкина Елизавета Юрьевна - студент группы МДБ-22-03, кафедры «Высокоэффективных технологий обработки», ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Repkinaa.01@mail.ru

Repkina Elizaveta Yuryevna - student in the MDB-22-03 group, Department of Highly Efficient Processing Technologies, Moscow State Technical University «STANKIN» Repkinaa.01@mail.ru

УДК 621.825.6:621.833.6

Капустин И.В., Соболев А.Н.

Torchiev Ya.P., Sobolev A.N.

Компактные силовые узлы: сквозное проектирование планетарной винтовой передачи

Compact Power Units: End-to-End Design of a Planetary Roller Screw

В статье представлены результаты разработки и комплексного компьютерного моделирования планетарной винтовой передачи (ПВП). Проектирование выполнено в CAD-системе T-FLEX с использованием модуля «Зубчатые передачи», где создана параметрическая 3D-модель и проведена ее кинематическая верификация. Проведено детальное сравнение достоинств и недостатков ПВП с традиционной шарико-винтовой парой (ШВП) по ключевым критериям: нагрузочная способность, жесткость, долговечность и компактность. Изложены принципы работы механизма. Результаты работы формируют готовую основу для изготовления физических прототипов и проведения натурных испытаний.

The article presents the results of the development and comprehensive computer modeling of a planetary screw mechanism (PSM). The design was carried out in the T-FLEX CAD system using the «Gear Trains» module, where a parametric 3D model was created and its kinematic verification was performed. A detailed comparison of the advantages and disadvantages of the PSM with a traditional ball screw mechanism (BSM) is conducted against key criteria: load capacity, rigidity, durability, and compactness. The operating principles of the mechanism are described. The results of the work form a ready basis for the manufacture of physical prototypes and the conduction of full-scale tests.

Ключевые слова: планетарно-винтовая передача, T-FLEX CAD, моделирование.

Keywords: planetary roller screw, T-FLEX CAD, modeling.

Введение

Современное машиностроение, робототехника и аэрокосмическая отрасль предъявляют всё более высокие требования к: точность позиционирования, компактности, надежности и долговечности. Среди механических передач, преобразующих вращательное движение в линейное, доминирующее положение занимают шарико-винтовые пары (ШВП). Однако они имеют ряд ограничений, связанных с нагрузочной способностью, чувствительностью к ударным нагрузкам и потенциальными проблемами на высоких скоростях.

Перспективной альтернативой является планетарная винтовая передача (ПВП) [1-4]. Актуальность работы обусловлена потребностью в анализе и популяризации данного типа передач. Научная новизна заключается в комплексном подходе, включающем САД-моделирование, явное сравнительное обоснование преимуществ ПВП перед ШВП. Целью настоящей работы является демонстрация практического применения среды T-FLEX PLM для сквозного проектирования ПВП и явное сравнительное обоснование преимуществ ПВП перед ШВП.

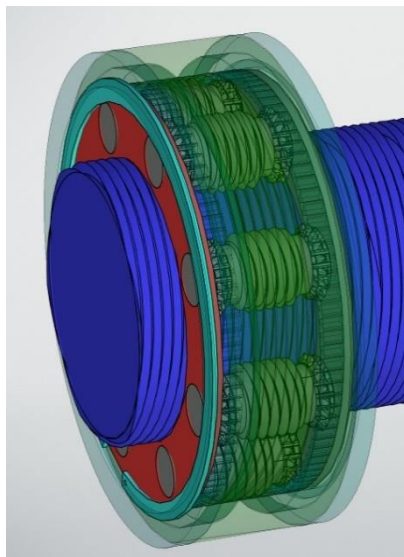
Принцип работы и сравнительный анализ ПВП и ШВП

Планетарная винтовая передача состоит из четырех основных элементов (рис. 1):

1. Винт расположен в геометрическом центре механической системы. Служит звеном, на которое поступает крутящий момент.
2. Сателлиты расположены вокруг двух торцевых эпициклических шестерен и образуют с ними зубчатое эвольвентное зацепление. Сателлиты также имеют зацепление с винтом и гайкой своей винтовой частью.
3. Водило - несущий элемент оси сателлитов. Состоит из двух торцевых дисков с отверстиями под установку сателлитов.
4. Гайка (корпус), в которую установлены и закреплены две торцевые эпициклические шестерни. Гайка и сателлиты также соединены своими

винтовыми частями. Гайка является линейно перемещающимся звеном и соединяется с рабочими узлами технологической машины.

Принцип работы: при вращении винта, он, в свою очередь, входит в винтовое зацепление с сателлитами. Сателлиты оббегают неподвижные эпициклы, вмонтированные в гайку. Происходит преобразование вращательного движения винта в поступательное движение гайки. Сателлиты выступают в качестве альтернативы использованию шариков в ШВП.



**Рис. 1. Планетарно-винтовая передача,
разработанная в T-FLEX CAD**

Вывод по сравнению: ПВП обладает неоспоримыми преимуществами в возможности выдерживать тяжелые нагрузки, большие скорости и сохранять при этом надежность, долговечность и высокую точность позиционирования. Единственным существенным недостатком является высокая стоимость. По этой причине ШВП остается оптимальным решением для широкого спектра использования в машиностроении, особенно где бюджет ограничен.

Методология и проектирование системы

Проектирование было выполнено в системе T-FLEX CAD с использованием модуля «Зубчатые передачи» на основе расчетных положений работы [2]. Данный программный комплекс был выбран благодаря своей полнофункциональности, включающей параметрическое твердотельное моделирование, сборки.

Таблица 1.

Сравнение достоинств и недостатков ПВП и ШВП (для условного узла с диаметром корпуса ~50 мм и номинальным ходом ~10 мм) [1, 3, 4]

Критерий	Планетарная винтовая передача (ПВП)	Шарико-винтовая пара (ШВП)
Статическая нагрузочная способность, S_0	~45 000 - 60 000 Н	~25 000 - 35 000 Н
Динамическая нагрузочная способность, S	~25 000 - 35 000 Н	~15 000 - 22 000 Н
Жесткость (осевая)	~700 - 1000 Н/мкм	~400 - 600 Н/мкм
Номинальный ресурс (L_{10}), млн. циклов	~15 - 25 млн. циклов	~8 - 12 млн. циклов
Максимальная рабочая скорость	~3 000 - 5 000 об/мин	~1 500 - 3 000 об/мин
КПД	~85 - 92%	~90 - 95%
Точность позиционирования (накопленная ошибка)	$\pm 5 - \pm 12$ мкм / 300 мм	$\pm 10 - \pm 23$ мкм / 300 мм
Стоимость (относительная)	2.0 - 3.0х	1.0х (база)
Чувствительность к загрязнению	Низкая	Высокая

Процесс моделирования состоял из следующих этапов:

1. Создание профилей эпициклов и сателлитов с помощью модуля «Зубчатые передачи». Размеры выбираем так чтобы, передаточное отношение было целым числом и равнялось количеству заходов резьбы на гайке.
2. Создание гайки с параметрической длиной.
3. Создание физического винтового резьбового профиля на сателлитах и гайке.
4. Создание сборного водила для сателлитов.
5. Сборка включает установку осей сателлитов на водиле, установку собранного планетарного блока в корпус (гайку).

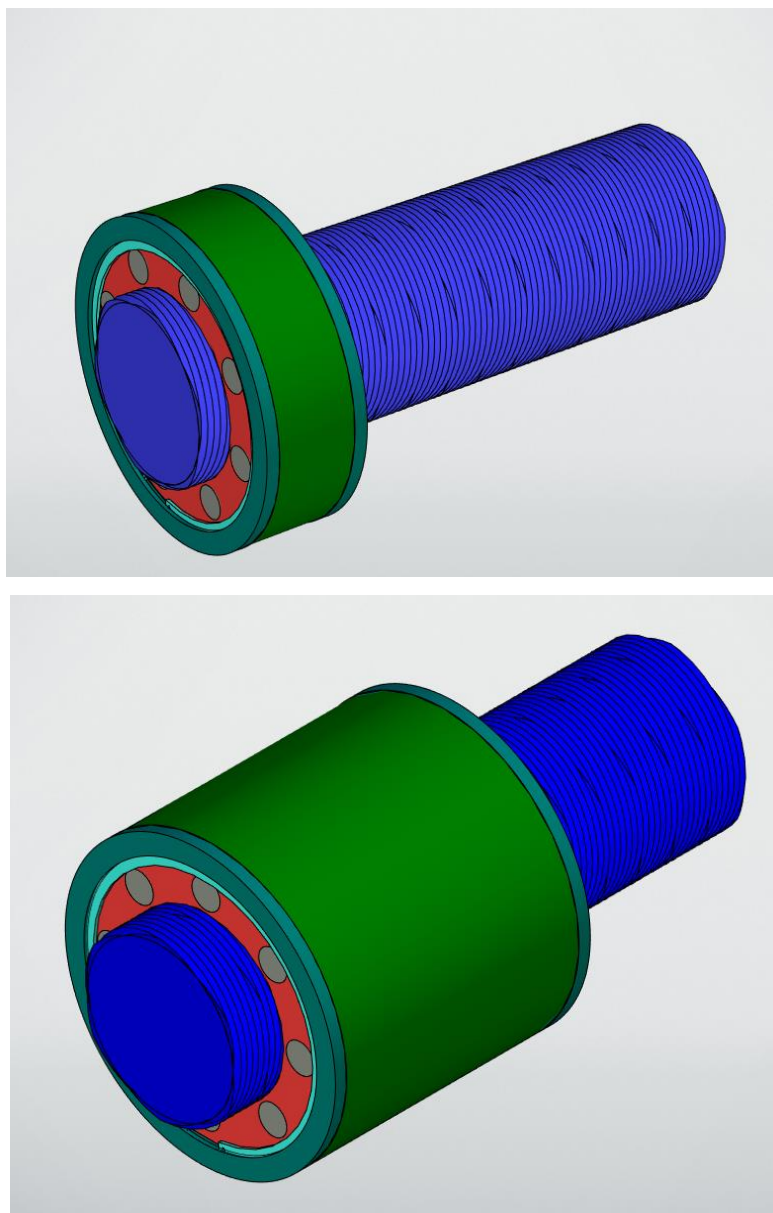


Рис. 2. Примеры параметрических планетарно-винтовых передач, разработанных в T-FLEX CAD, в сборе

Заключение

В рамках проведенной работы была спроектирована, смоделирована и всесторонне проанализирована планетарная винтовая передача. Явное сравнение с ШВП показало преимущество ПВП в областях, требующих высокой нагрузочной способности, жесткости, долговечности и плавности хода.

Конструкция критичных узлов, таких как водило и крепление осей сателлитов, была обоснована с позиций машиностроительного проектирования. Результаты работы, включая параметрическую 3D-модель и верификацию кинематики, являются готовой основой для следующего этапа - изготовления

физических прототипов и проведения натурных испытаний для подтверждения расчетных характеристик.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на оптимизацию массы конструкции, а также на детальный прочностной анализ методом конечных элементов (CAE).

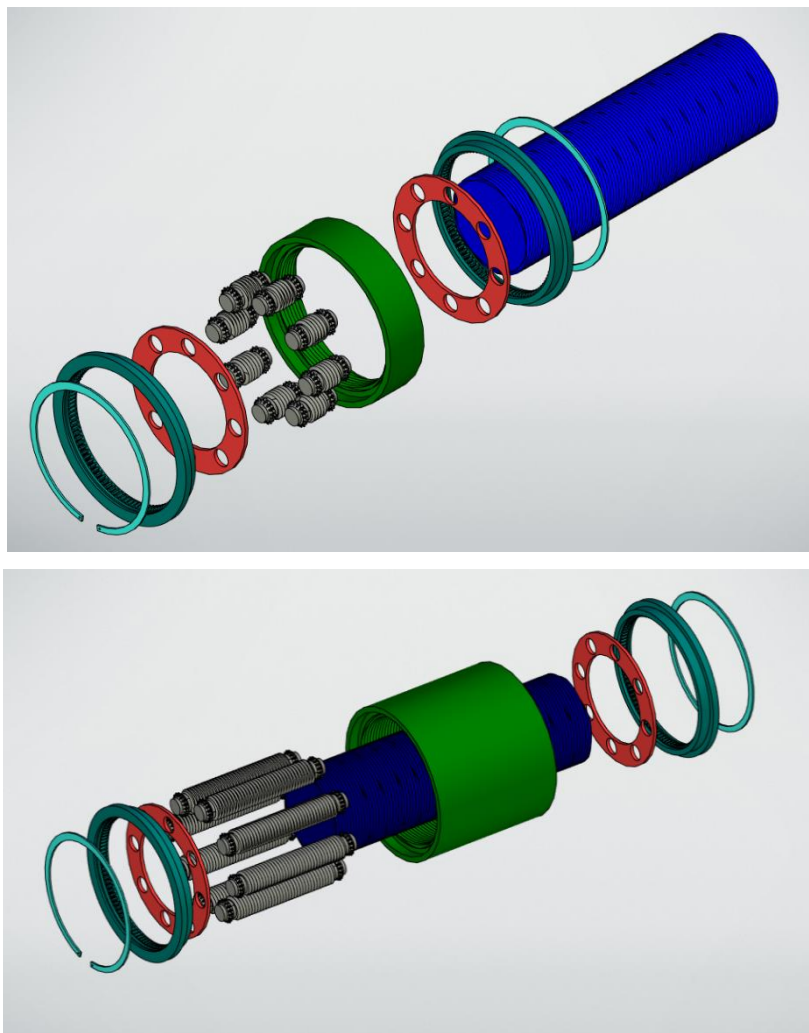


Рис. 3. Примеры параметрических планетарно-винтовых передач, разработанных в T-FLEX CAD, в разборе

Библиографический список

1. Блинов Д. С. Разработка научно-методических основ расчета и проектирования планетарных роликвинтовых механизмов, имеющих многочисленные избыточные связи: автореферат дис. доктора технических наук: 05.02.02 / Блинов Дмитрий Сергеевич. Москва, 2007. - 38 с.

2. Гушин В.Г., Балтаджи С.А., Соболев А.Н., Бровкина Ю.И. Проектирование механизмов и машин: Учебное пособие.- 3-е изд., перераб. и доп.-Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2014. - 488 с.

3. Козырев В. В. Конструкции роликвинтовых передач и методика их проектирования: учебное пособие / В. В. Козырев ; Владимирский государственный университет. - Владимир, 2004. - 25 с.

4. Соколов П. А., Ряховский О. А., Блинов Д. С., Лаптев И. А. Кинематика планетарных роliko-винтовых механизмов // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2005. № 2. С. 25–36.

Капустин Иван Викторович – студент 2 курса, кафедра КСУ, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Соболев Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры станков, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», t-64@mail.ru

Kapustin Ivan Viktorovich – 2th year student, Department of Computer Control Systems, Moscow State University of Technology «STANKIN»

Sobolev Alexander Nikolaevich – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Machine Tools, Moscow State University of Technology «STANKIN», t-64@mail.ru

УДК 621.735

Каримов К.Ю., Крутов А.В.

Karimov K. Y., Krutov A.V.

Методика расчета упругих деформаций элементов несущей системы станка в Solidworks Simulation

Methodology and principles of calculation of elastic deformations of machine bearing system elements in Solidworks Simulation

В данной статье описывается методика расчета упругих деформаций на примере токарного станка путем построения конечно-элементной модели. Формулируются необходимые допущения элементов станка для возможности их последующего расчета и их взаимосвязей, а также поясняется методика построения оболочечных моделей элементов.

This article describes a method for calculating elastic deformations using the example of a lathe by constructing a finite element model. The necessary assumptions of the machine elements are formulated for the possibility of their subsequent calculation and their interrelationships, as well as the methodology for constructing shell models of elements is explained.

Ключевые слова: конечно-элементная модель, упругие деформации, напряжение, моделирование, взаимодействие, сетка, Solidworks Simulation

Keywords: finite element model, elastic deformations, stress, modeling, interaction, grid, Solidworks Simulation

Повышение точности обработки на металлорежущих станках требует снижения упругих деформаций их несущей системы. Разработка практической методики расчёта этих деформаций с использованием конечно-элементного моделирования в Solidworks Simulation необходима для оптимизации конструкции на этапе проектирования, что позволяет целенаправленно усиливать наиболее слабые узлы и снижать материалоемкость без потери жёсткости.

Рассмотрим 3D-модель спроектированного станка на рисунке 1. Исследование проводится в рамках цепи станина-платформа-револьверной головки:

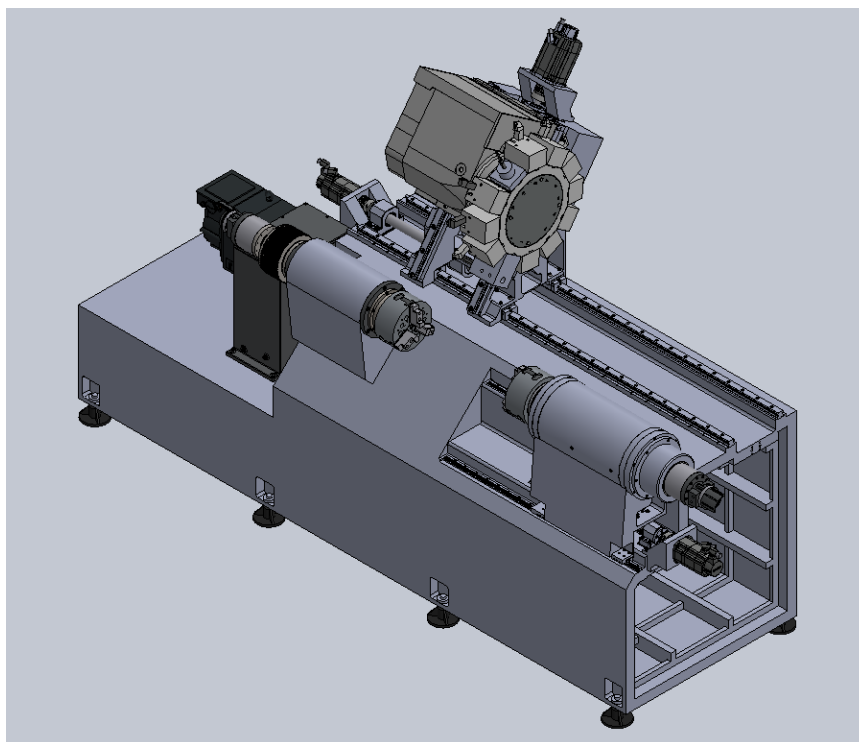


Рис. 1. Модель станка для конечно-элементного моделирования

Подготовка моделей к исследованию

Первым этапом методики конечно-элементного моделирования станка выступает моделирование упрощенных 3D-моделей его элементов согласно их группам: они подразделяются на твердотельные и оболочечные. Каждая модель упрощается следующим образом: в твердотельных элементах сокращаются фаски и скругления в угоду простоты последующего определения взаимосвязей, а в оболочечных, помимо ранее описанных действий, ещё и поверхности, толщина которых описывается двумя соседними (в случае, например, буртика, поверхности фасок и т.п.).

В первую группу входят элементы перемещения — шарико-винтовая пара, направляющие, именно они воспринимают нагрузки, моделирование которых также имеет упрощенный характер в виду сложности конструкции их составляющих. В свою очередь нагрузки обеспечиваются несущими элементами,

такими как станина, платформа револьверной головы. Также в твердотельные элементы входят те компоненты, результаты нагрузки которых не являются объектами исследования, в нашем случае это резец, вследствие этого его деформации рассматриваться не будут.

Во вторую группу элементов входят ранее упомянутые оболочечные элементы, куда входят станина и платформа револьверной головы. Их физическое исполнение — литье, вследствие этого необходимо преобразовать модели для возможности их расчета и последующей корректировки в случае неудовлетворения результатами. Используя вкладку «Поверхность» в инструментах Solidworks, вытягиваем ребра жесткости, а также поверхности контура.

Также необходимо уточнить принцип построения расчетной модели литой конструкции: ребра жесткости располагаются по замкнутому контуру, аналогично шпангоутам — элементам, распространенным в кораблестроении, а толщина стенки в любом месте не должна превышать 50 мм, что исходит из особенностей процесса литья. Количество этих ребер определяется первоначальным расчетом, показывающим уязвимые места конструкции.

Получаем следующий результат для станины на рисунке 2.

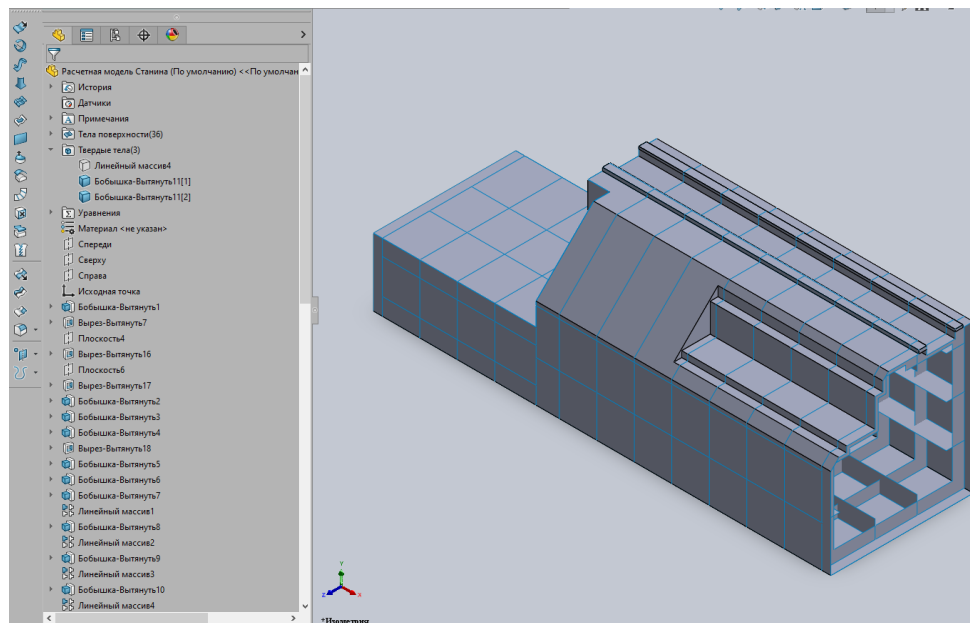
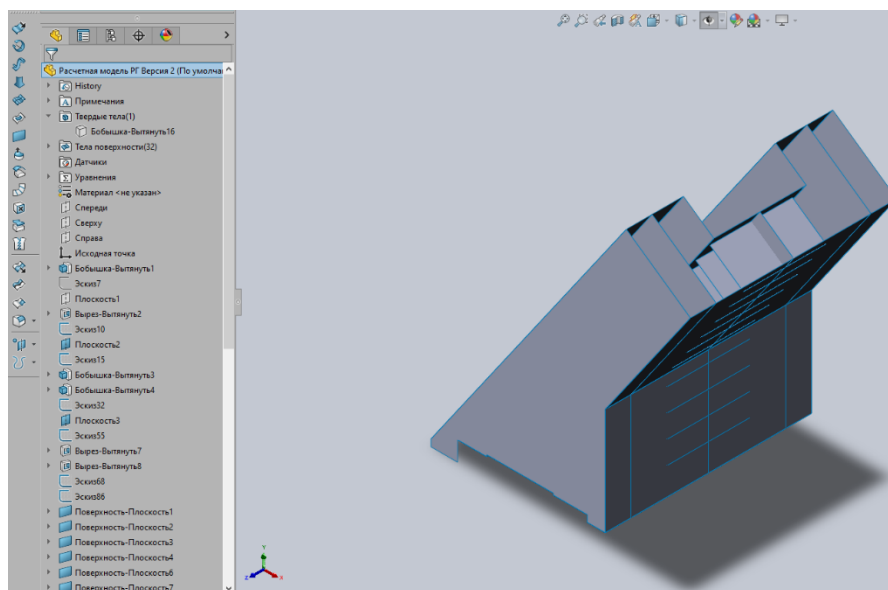


Рис. 2. Оболочечная модель станины

И револьверной головки на рисунке 3.



**Рис. 3. Оболочечная модель платформы
револьверной головки**
Формирование взаимосвязей между элементами модели

Вторым этапом является создание взаимосвязей между элементами, и для их задания мы воспользуемся уже готовыми, описанными ниже, решениями в рамках программного обеспечения Solidworks Simulation. Поскольку полноценное моделирование работы шарико-винтовой пары и направляющих без цели последующего исследования взаимодействия их элементов не имеет смысла, а также является крайне трудоемким процессом для ресурсов компьютера, мы воспользуемся следующими упрощениями:

У направляющих жесткость каретки обеспечивается командой «пружина», жесткость которой рассчитана заранее. Она задается между противоположно лежащими параллельными поверхностями [1, с. 44]. Данную операцию необходимо проделать 4 раза для 4-х поверхностей контакта шариков каретки с рельсами по схеме на рисунке 4.

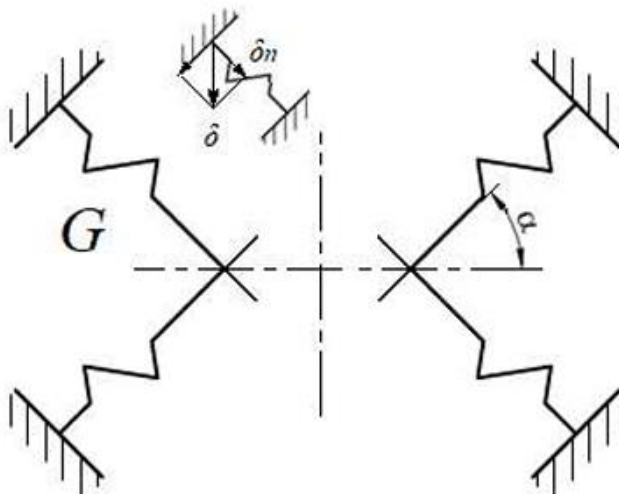


Рис. 4. Схема упрощенного моделирования направляющих

У шарико-винтовой передачи для винта задается команда «Пружина» [1, с. 45]. Поскольку итоговая жесткость распространяется на равные площади, необходимо в отверстия дополнительно вытянуть бобышку для того, чтобы именно эта поверхность воспринимала жесткость «пружины» шарико-винтовой пары, согласно рисунку 5.

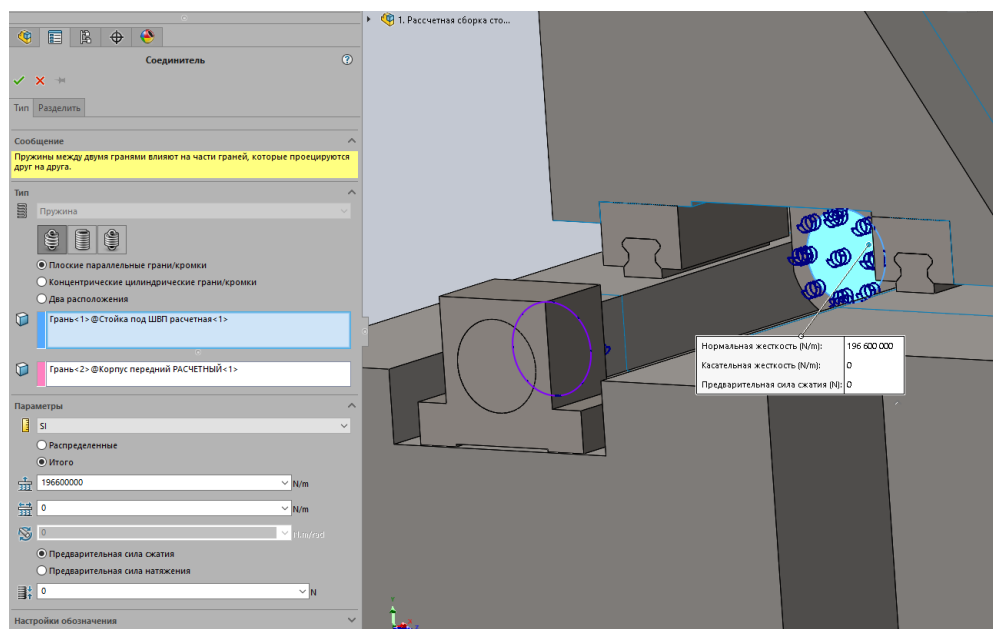


Рис. 5. Упрощенное моделирования шарико-винтовой передачи

При этом необходимо сделать важное уточнение: поскольку опоры винта являются твердотельными моделями и уже учитываются в анализе, то из жесткости «пружины» их жесткость вычитается.

Также есть группа взаимосвязей, ограничивающая степени свободы компонентов. Со станиной взаимодействуют рельсы направляющих, а также стойка винта. Поскольку друг относительно друга они зафиксированы, связываем данные элементы контактом «Связанные». Аналогично проделываем для элементов, связанных с платформой револьверной головки и с самой револьверной головкой, согласно рисунку 6.

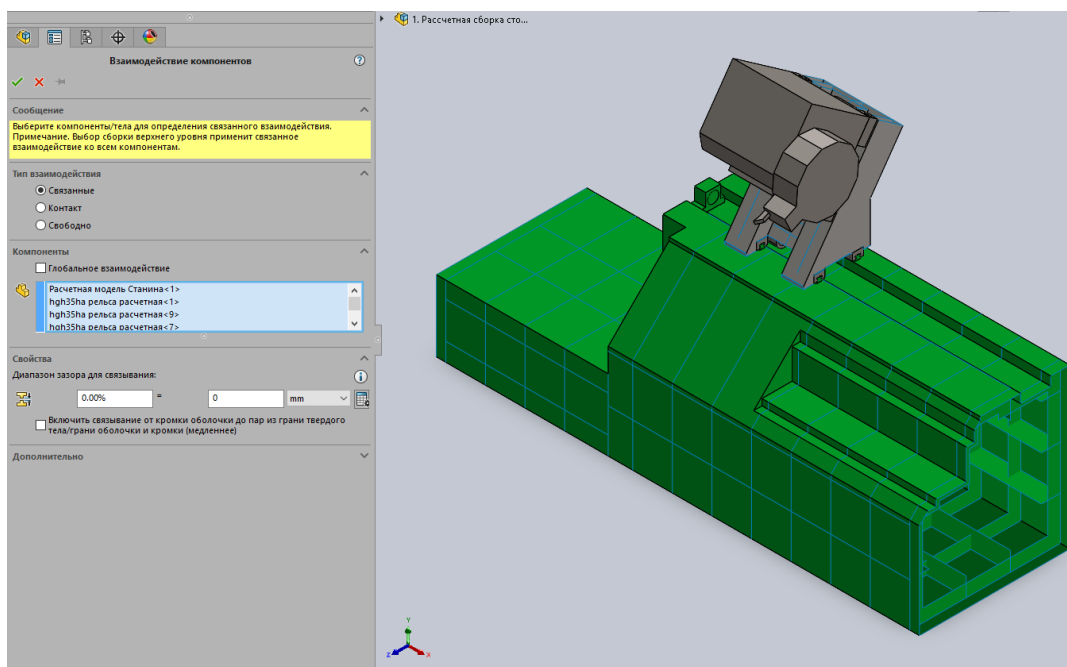


Рис. 6. Взаимосвязи элементов, располагаемых на станине

1) Создание сетки

Третьим и финальным этапом непосредственно перед запуском моделирования является создание сетки, изображенной на рисунке 7. Так как она включает в себя как твердотельные, так и оболочечные элементы, она будет иметь комбинированный тип сетки [1, с. 46]. Для достижения точности результата, сетку следует строить с наименьшим возможным размером конечного элемента.

Получаем следующий результат расчета сетки:

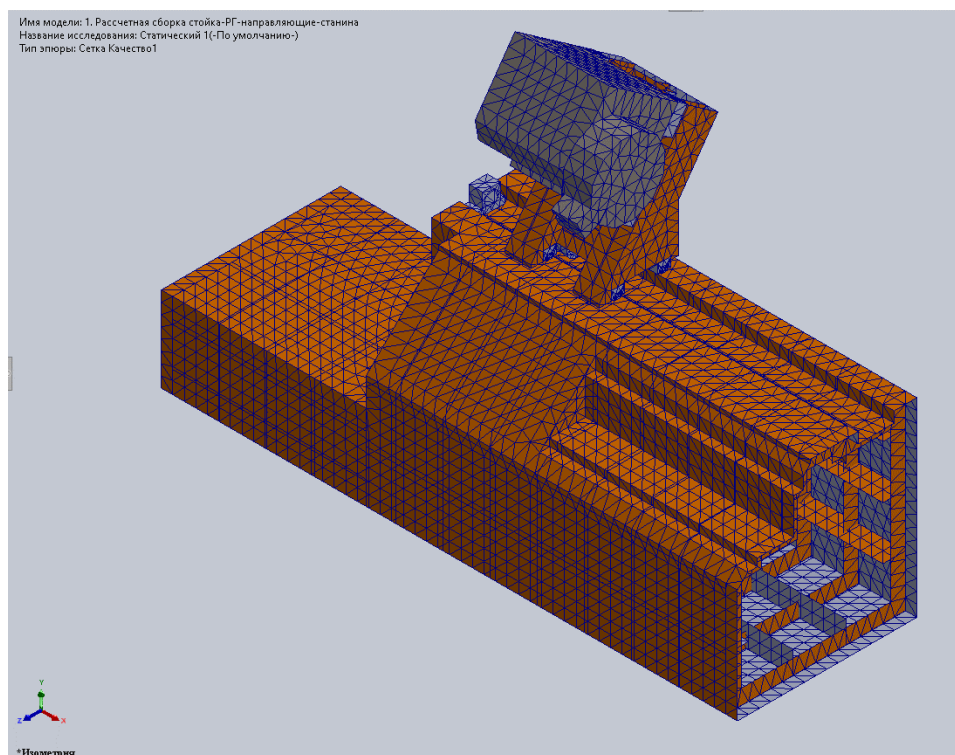


Рис. 7. Создание сетки расчетной модели

Запускаем конечно-элементный расчет.

Эпюра напряжений по Мизесу, рисунок 8:

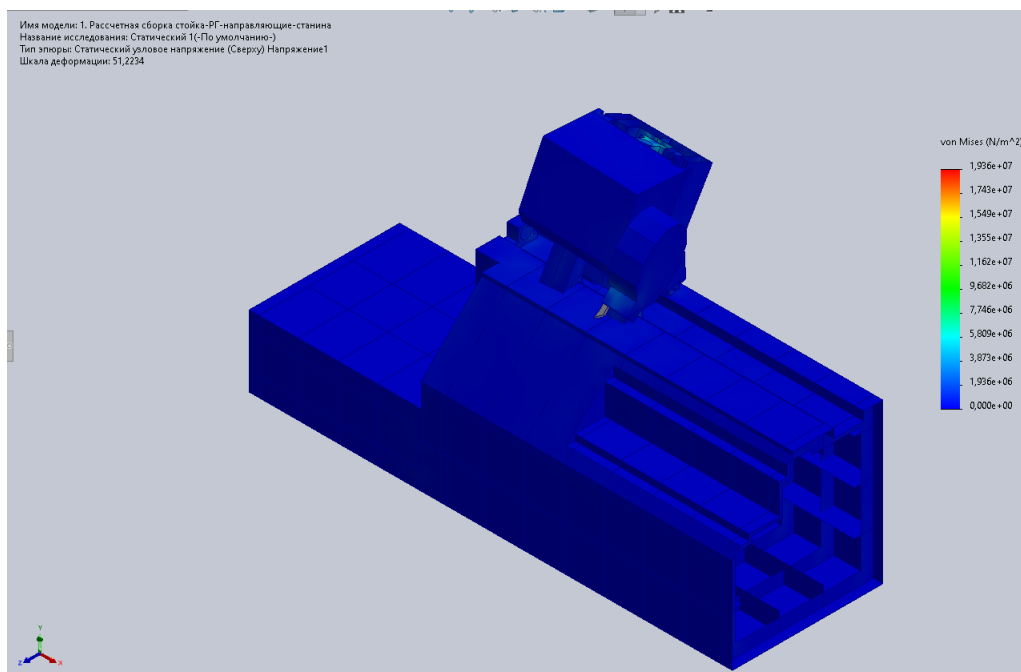


Рис. 8. Эпюра напряжений модели по Мизесу

Эпюра перемещений, рисунок 9.

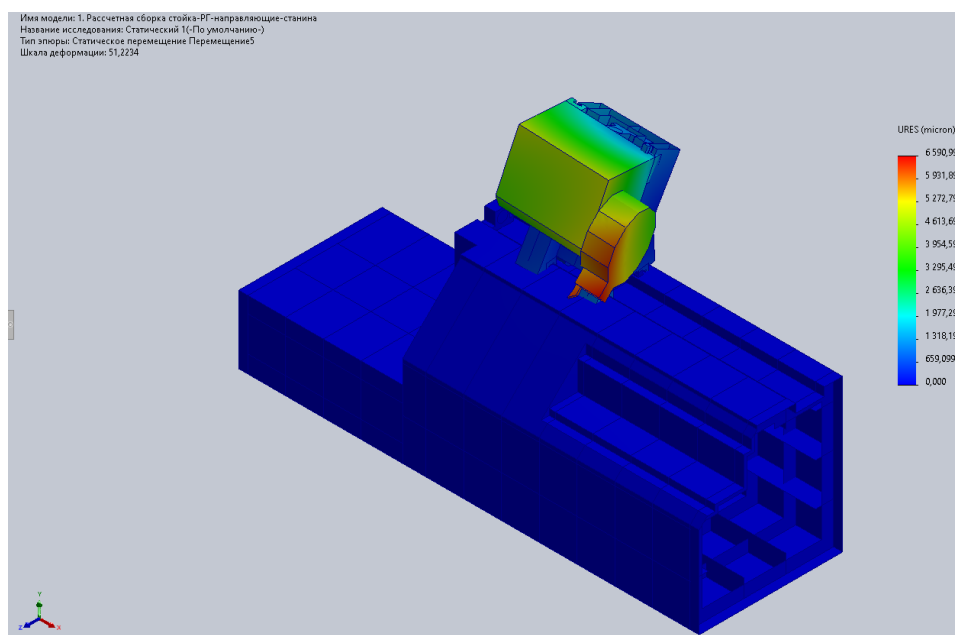


Рис. 9. Эпюра перемещений

Для того, чтобы располагать данными о перемещении в конце цепи станина-платформа револьверной головки, применим команду «Зондирование» в зону резания резца на рисунке 10:

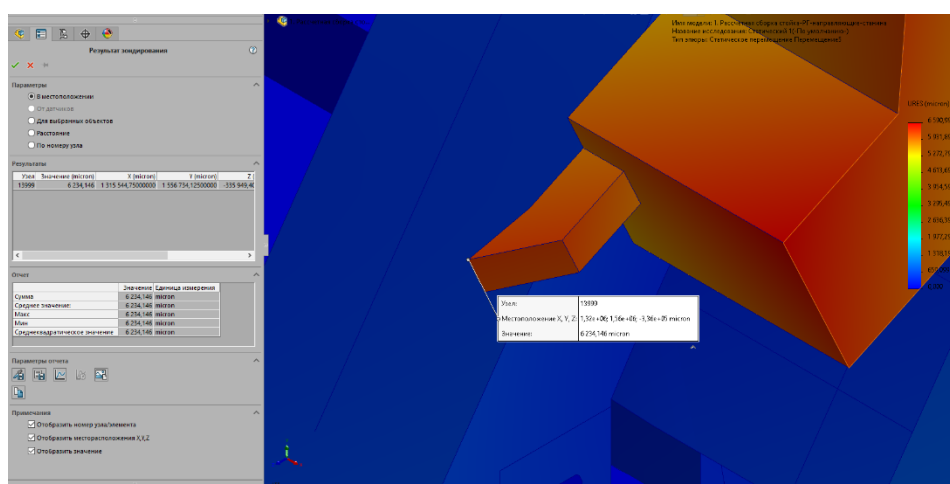


Рис. 10. Зондированное перемещение в зоне резания резца

Выводы

Произведя конечно-элементное моделирование станка, согласно ранее описанное методике, можно сделать следующие выводы, что наибольший вклад в перемещение модели вносит револьверная головка и её платформа. Деформированный результат же показывает, что силы, действующие на револьвер, являются опрокидывающими. Из эпюры напряжений в свою очередь видно, что наибольшей вклад в неё вносят направляющие, а также сопрягающиеся с каретками поверхности стойки револьверной головки.

Направления оптимизации конструкции

Для дальнейшего улучшения результатов необходимо оперировать следующими параметрами модели:

- 1) Толщина стенок литья. Актуально для станины и платформы револьверной головки, поскольку являются литыми изделиями.
- 2) Модификация платформы револьверной головки. На основе ранее сделанных выводов, имеем, что силы, действующие на револьвер — опрокидывающие.
- 3) Уменьшение веса револьверной головки. Вытекающее из пункта 2.
- 4) Изменение типоразмера комплектующих шарико-винтовой пары и направляющих, что влияет на жесткость их «пружин».

Библиографический список:

1. Гиловой Л.Я. Интегрированные CAE-системы в машиностроении. Весенний семестр. <https://edu.stankin.ru/mod/folder/view.php?id=298540>

Каримов Константин Юрьевич — магистр, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»; stedaned.owisower@gmail.com

Karimov Konstantin Yuryevich — Master's degree, STANKIN Moscow State Technical University; stedaned.owisower@gmail.com

Крутов Алексей Валентинович — к.т.н., доцент ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», доцент Московского авиационного института (национальный исследовательский университет); krutovlesha@yandex.ru

Krutov Alexey Valentinovich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the STANKIN Moscow State Technical University, Associate Professor at the Moscow Aviation Institute (National Research University); krutovlesha@yandex.ru

УДК: 338

Комарова В.Е., Попов Д.В.

Komarova V.E., Popov D.V.

Особенности использования целей устойчивого развития на предприятиях крупного и среднего бизнеса на российском рынке

Features of using sustainable development goals in large and medium-sized businesses in the russian market

В данной статье рассмотрены цели устойчивого развития и выявлены наиболее актуальные для текущей национальной политики на основе цитат представителей государственного и корпоративного секторов. Проведен сравнительный анализ степени реализации выделенных целей в настоящее время. Также с учетом функциональных особенностей создан классификатор адаптированных целей устойчивого развития по ролям участия государства и компаний среднего и крупного бизнеса. Приведены примеры практической реализации на основе деятельности двух российских компаний. Сформулированы выводы о важности внедрения аспектов устойчивого развития в программу развития компаний.

This article discusses the goals of sustainable development and identifies the most relevant ones for current national policies based on quotes from representatives of the public and corporate sectors. A comparative analysis of the current implementation of these goals is conducted. Additionally, a classifier of adapted sustainable development goals is created based on the roles of the government and medium and large businesses. Examples of practical implementation are provided based on the activities of two Russian companies. Conclusions are drawn about the importance of incorporating sustainable development aspects into company development programs.

Ключевые слова: национальная политика, стратегическое развитие, нематериальные проекты, чистые технологии, экологический менеджмент,

классификатор адаптированных целей устойчивого развития по ролям участия государства и компаний крупного и среднего бизнеса (далее – КСБ).

Keywords: national policy, strategic development, intangible projects, clean technologies, environmental management, classifier of adapted sustainable development goals by the roles of state participation and large and medium-sized businesses (LSMBs).

Устойчивое развитие представляет собой совокупность из 17 целей, представленных на рис. 1:



Рис. 1. Цели устойчивого развития

На основе высказываний Президента, Правительства РФ, а также представителей компаний среднего и крупного бизнеса, приведенных в Таблице 1, проанализируем отражение целей УР в национальной политике нашей страны [1]:

Таблица 1.
Анализ отражения целей УР в национальной политике

Цитата	Ключевые слова и словосочетания
«Конечно, наша страна будет и далее вносить свой вклад в сбалансированное достижение целей устойчивого развития, сохранение климата и биоразнообразия нашей планеты, цифровую трансформацию мировой экономики, обеспечение продовольственной и энергетической безопасности», – цитата	Сохранение климата и биоразнообразия, цифровая трансформация, продовольственная и

Президента РФ Владимира Путина на виртуальном саммите лидеров «Большой двадцатки».	энергетическая безопасность.
«Обновленный текст Доктрины продовольственной безопасности устанавливает стратегическую цель – поддержание стабильности мировых рынков продовольствия через сотрудничество с государствами, которые ведут конструктивную политику в отношении России. Для этого определены ключевые задачи: развитие производства сельхозпродукции, сырья, продовольствия, минеральных удобрений с целью увеличения экспорта; создание благоприятных условий для международной торговли, логистики и финансовых связей; расширение рынков сбыта российской агропродукции», – Указ Президента Российской Федерации от 10.03.2025 г. № 141. «О внесении изменений в Доктрину продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденную Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20».	Развитие производства сельхозпродукции, увеличение экспорта, международная торговля, расширение рынков сбыта российской агропродукции.
«Мы с экспертами поработали и предложили альтернативное, более широкое понимаемое термину ESG. Про ESG-экономику все говорят. Это англоязычный термин. Мы с экспертами предлагаем аналог, который включает в себя более важные направления развития страны. Это: стабильное стратегическое развитие; внимание к сотрудникам и их семьям; социальные программы; окружающая среда; родная страна», – цитата председателя ВЭБ.РФ Игоря Шувалова на форуме «Сильные идеи для нового времени».	Окружающая среда, внимание к сотрудникам и их семьям, стратегическое развитие, родная страна, социальные программы.
«Мы обязаны и будем сберечь все это для них, для будущих поколений на всей нашей большой планете, но для нас очень важно сохранить уникальное богатство природных ресурсов, растительного и животного мира нашей страны, России», – цитата Президента РФ из обращения к участникам 15-й сессии Конференции Сторон Конвенции ООН о биологическом разнообразии.	Уникальное богатство природных ресурсов, уникальное богатство растительного и животного мира.
«Обновление городской среды должно базироваться на широком внедрении передовых технологий и материалов в строительстве,	Передовые технологии и материалы

<p>современных архитектурных решениях, на использовании цифровых технологий в работе социальных объектов, общественного транспорта, коммунального хозяйства, что в том числе позволит обеспечить прозрачность и эффективность системы ЖКХ, чтобы граждане получали качественные услуги и не переплачивали за них», – цитата из Послания Президента РФ Федеральному Собранию.</p>	<p>в строительстве, современные архитектурные решения, цифровые технологии, качественные услуги.</p>
<p>«Необходимо добиться, чтобы производительность труда на средних и крупных предприятиях базовых отраслей (это промышленность, строительство, транспорт, сельское хозяйство и торговля) росла темпами не ниже 5 процентов в год, что позволит к концу следующего десятилетия выйти на уровень ведущих экономик мира. Все наши действия должны подталкивать компании к выпуску технически сложной продукции, к внедрению более эффективных технологий» – цитата из Послания Президента РФ Федеральному Собранию.</p>	<p>Производительность труда на средних и крупных предприятиях, выпуск технически сложной продукции, более эффективные технологии.</p>
<p>«Процессы, которые постоянно меняются в лучшую сторону, занимают все меньше и меньше времени, вы обучаете сотрудников, вы организовываете лекции, вебинары, тренинги для сотрудников и их детей, внедряете нематериальные стимулирующие проекты, предлагаете новые онлайн-сервисы для удобства, вы ведете социальное и экологическое направление, рассказываете о своих успехах внутри компании. Все это говорит о том, что ваша компания имеет в своей ДНК критерий успеха» – добавила Марина Лобынцева, административный директор компании HeadHunter.</p>	<p>Нематериальные стимулирующие проекты, социальное и экологическое направление, социальное и экологическое направление.</p>
<p>«Устойчивость – это основа, но не гарантия дальнейшего развития. Мы не имеем права допустить, чтобы достигнутая стабильность привела к самоуспокоенности. Роль, позиции государства в современном мире определяют не только и не столько природные ресурсы, производственные мощности, – я говорил уже об этом, – а прежде всего люди, условия для развития, самореализации, творчества каждого человека. Поэтому в основе всего лежит сбережение народа России</p>	<p>Люди, условия для развития, самореализация, творчество каждого человека, сбережение народа России, благополучие граждан.</p>

<p>и благополучие наших граждан. Именно здесь нам нужно совершить решительный прорыв», – Владимир Путин обратился с Посланием к Федеральному Собранию. Церемония оглашения состоялась в Москве, в Центральном выставочном зале «Манеж».</p>	
<p>«В этой связи было бы весьма важно наладить широкое и эффективное международное сотрудничество по расчётам и мониторингу объёмов эмиссии всех видов вредных выбросов в атмосферу. Убеждён, борьба за сохранение климата, конечно же, призвана объединять усилия всего мирового сообщества. Россия готова предложить целый набор совместных проектов, рассмотреть возможность преференций даже для зарубежных компаний, которые хотели бы инвестировать в чистые технологии, в том числе и у нас в стране», – Владимир Путин обратился с Посланием к Федеральному Собранию. Церемония оглашения состоялась в Москве, в Центральном выставочном зале «Манеж».</p>	<p>Сохранение климата, чистые технологии, мониторинг объёмов эмиссии вредных выбросов, международное сотрудничество.</p>
<p>«Естественно, мы должны дать занятым здесь людям альтернативу. Для этого будем стимулировать создание современных, более привлекательных рабочих мест с высокой производительностью труда, которые отвечают новому технологическому укладу. Под его потребности, а главное, в интересах людей нужно донастраивать трудовое законодательство», – Владимир Путин на Пленарном заседании Петербургского международного экономического форума.</p>	<p>Создание современных рабочих мест, новый технологический уклад, трудовое законодательство.</p>

Ключевые слова из приведенных выше цитат не нашли своего отражения в целях № 5, 6, 14 и 16. На основании этого можно сделать вывод, что указанные цели не относятся к приоритетным направлениям программ устойчивого развития России [2]. Таким образом, на территории Российской Федерации в настоящее время из 17 целей устойчивого развития реализуется только 13 (см. Рис. 2):



Рис. 2. Адаптация целей УР к условиям российской экономики

Далее был проведен сравнительный анализ выделенных целей с текущей ситуацией [3] и осуществлена оценка степени их достижения (Таблица 2):

Таблица 2.
Сравнительный анализ целей УР с нынешними условиями

Цели	Цели УР	Ситуация по состоянию на 2025 год	Оценка достижения, %	Обоснование оценки
	Ликвидация нищеты	За последние 4 года уровень бедности снизился с 12,2% до 8,1% (т.е. на 4,1 процентного пункта), согласно данным Росстата	75	Устойчивая тенденция снижения уровня бедности, но далеко не полная её ликвидация
	Ликвидация голода	Число голодающих в России в 2023 году составляло 1,6%, а в 2024 году – 1,4 %, что ниже относительно статистической погрешности	95	Данный показатель свидетельствует о приближении к окончательному устранению

				проблемы голода
	Хорошее здоровье и благополучие	Продолжительность жизни за последние 2 года выросла до 73,4 лет, Высокотехнологичная медицинская помощь в 2000-х годах оказывалась 92 тыс. гражданам, а к 2023-2024 годам данная цифра поднялась до 1,6 млн.	85	Значительный прогресс с потенциалом роста
	Качественное образование	За последние 5 лет было построено 1664 школы, 1688 детских садов, завершено строительство 293 школ, а также капитальный ремонт около 847 зданий образовательных учреждений	90	Существенные объемы строительства с положительной перспективой
	Недорогостоящая и чистая энергия	Внедрение ESG-повестки, способствующей повышению энергетической эффективности, стимулирование инвестиций в «зелёную» энергию	70	Нахождение на начальной стадии, предстоит значительная работа в дальнейшем, однако уже сделаны первые важные шаги
	Достойная работа и экономический рост	Согласно данным Росстата, уровень безработицы в России в среднем по месяцам 2025 года составил 2,6%, что является наиболее низким показателем за последние несколько лет	90	Текущий уровень безработицы близок к полной занятости

	Индустриализация, инновации и инфраструктура	К 2025 году было благоустроено не менее 30 тыс. общественных пространств; проведено обновление парка общественного транспорта до 85%; за последние несколько лет финансирование науки и инноваций увеличилось более чем на 14%	85	Хороший прогресс и эффективность реализуемых программ
0	Уменьшение неравенства	С 2020-х годов неравенство среди населения возросло. В частности, согласно данным Росстата, коэффициент Джини, показывающий степень неравномерности распределения доходов населения, в 2024 году составил 0,408	65	Уровень неравенства пока еще достаточно высокий, однако, по сравнению с предыдущими годами, наблюдается тенденция постепенного снижения данного показателя
1	Устойчивые города и населенные пункты	Согласно данным за 3 последних года, объем инвестиций в проекты по инфраструктуре достиг более 6 трлн рублей в год, с прогнозом дальнейшего роста до 6,9 трлн рублей к 2026 году.	85	Высокий уровень инвестиций, комплексный и системный подход к развитию

2	Ответственное потребление и производство	Введение законодательных норм по сокращению отходов и увеличению объемов переработки вторсырья; благодаря введению таких норм, доля отходов, направляемых на утилизацию, по данным РЭО, в 2020 году составляла 11,9%, а к 2025 году – около 35%	70	Существенный рост утилизации, однако мировые стандарты переработки отходов еще не достигнуты
3	Борьба с изменением климата	По уточненным данным, в 2025 году объем выбросов парниковых газов в России составляет примерно 1,7 млрд тонн CO ₂ -эквивалента с учетом поглощения экосистемами, что примерно на 34% меньше, чем считалось ранее, и на 48% меньше по сравнению с 1990 годом	80	Значительный прогресс, однако нужны дальнейшие усилия и технологии для полного достижения углеродной нейтральности
5	Сохранение экосистем суши	К 2025 году в России функционирует 103 заповедника, 47 национальных парков, а также 68 федеральных заказников площадью 596 тыс. кв. км, что составляет примерно 25 – 40% страны. Система федеральных особо охраняемых природных территорий (далее – ООПТ) занимает почти 3% территории России, в ООПТ всех категорий – 11%	75	Хороший показатель, однако существует потенциал для расширения сети ООПТ и повышения их эффективности

7	Партнерство в интересах устойчивого развития	К 2025 году Россия значительно расширила процент международного партнерства по достижению устойчивого развития, приблизив его к 60 – 65%	75	Прогресс, означающий заинтересованность России в международном сотрудничестве, однако для полной реализации необходимо дальнейшее укрепление связей на всех уровнях
---	--	--	----	---

Вышеуказанные цели устойчивого развития были распределены между государственным и корпоративным секторами с целью выявления соответствующих зон ответственности (см. Рис. 3). Кроме того, было выявлено, что данные цели образуют две укрупненные категории – экологическую и социальную.

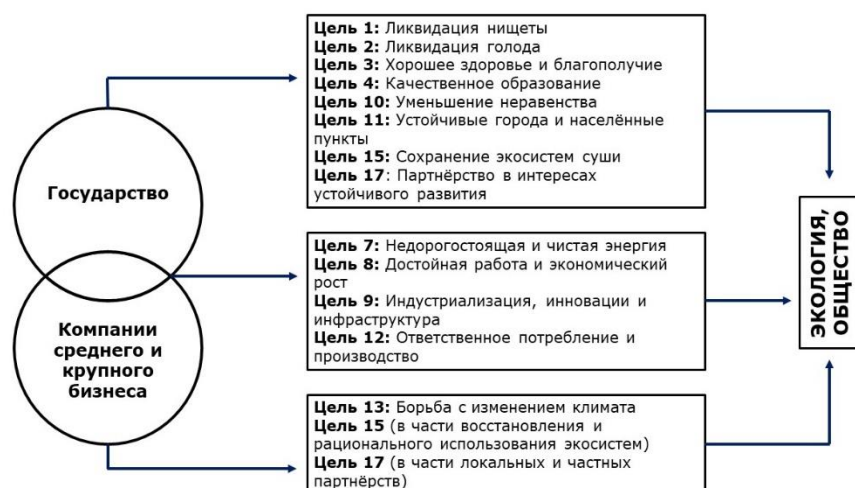


Рис. 3. Классификатор адаптированных целей УР по ролям участия государства и КСБ

Для более наглядной демонстрации реализации на практике экологической и социальной категорий устойчивого развития приведены

примеры двух российских компаний, интегрировавших соответствующие программы в свою деятельность.

Так, «АВТОВАЗ» осуществляет постоянное проведение работ по повышению экологичности технологических процессов, таких как замена ртутьсодержащих ламп на светодиодные, а также ремонт фильтров в трех камерах окраски, что способствует улучшению очистки воздуха [4].

Что касается второго аспекта, ПАО «Сбербанк» в честь своего 182-летия организовал акцию «Сбер: учим мечтать», в рамках которой 11-12 ноября 2023 года около 900 детей из разных регионов Крыма посетили парк развлечений «Дримвуд» на территории курорта Mriya Resort & SPA [5].

Таким образом, государство поощряет направления, связанные с экологией и социальной сферой посредством государственных премий. Следовательно, данные аспекты должны быть включены в программы и стратегические планы развития предприятий среднего и крупного бизнеса в качестве элементов корпоративной социальной ответственности.

Кроме того, для проведения оценки их эффективности требуется применение системного анализа, поскольку успешная реализация связана с обеспечением долгосрочной конкурентоспособности компаний на международных рынках. В противном случае, при отсутствии социально значимых проектов будет ограничена государственная поддержка продвижения на мировые рынки.

В настоящее время внедрение устойчивых практик позволит продукции в большей мере соответствовать международным стандартам и требованиям, что будет обеспечивать устойчивое развитие среднего и крупного бизнеса на глобальном уровне.

Библиографический список

1. Указ Президента РФ «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» // Официальные сетевые ресурсы Президента Российской Федерации. URL:

<http://www.kremlin.ru/events/president/news/by-date/07.05.2024> (дата обращения: 18.09.2025)

2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14.07.2021 № 1912-р «О целях и основных направлениях устойчивого (в том числе зеленого) развития Российской Федерации» // Официальный сайт Правительства РФ. URL: <http://government.ru/docs/42795/> (дата обращения: 18.09.2025)

3. Официальный сайт государственной статистики ЕМИСС. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/59577> (дата обращения: 18.09.2025)

4. «АВТОВАЗ повышает экологичность производства» // Официальный сайт Министерства промышленности и торговли Самарской области. URL: <https://minprom.samregion.ru/2023/10/30/avtovaz-povyshaet-ekologichnost-proizvodstva/?ysclid=mfok9z49gj261826279> (дата обращения: 18.09.2025)

5. «Сбер подарил детям Крыма посещение парка приключений «Дримвуд» // Официальный сайт РИА Новости Крым. URL: <https://crimea.ria.ru/20231113/sber-podaril-detyam-kryma-poseshenie-parka-priklyucheny-drimvud---1132760294.html?ysclid=mfojfqd81c468632358> (дата обращения: 18.09.2025)

Комарова Виктория Евгеньевна – студент, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», viktoriakomarova125@gmail.com.

Komarova Victoria Evgenievna – student, MSTU STANKIN, viktoriakomarova125@gmail.com.

Попов Дмитрий Владимирович – к.э.н., ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», доцент, d.popov@stankin.ru.

Popov Dmitry Vladimirovich – PhD in Economics, MSTU STANKIN, associate professor, d.popov@stankin.ru.

УДК 621.865.8

Костин Т.В., Соболев А.Н.

Kostin T.V., Sobolev A.N.

Разработка захватного устройства с рычажным механизмом в T-FLEX CAD **Design of a Lever-Actuated Gripper in T-FLEX CAD**

В статье представлены результаты разработки и компьютерного моделирования двухпальцевого захватного устройства с шаговым приводом и рычажным механизмом, предназначенного для использования в роботизированных комплексах и системах автоматизации. Сквозное проектирование, выполненное в интегрированной среде T-FLEX CAD, включало создание параметрической 3D-модели, кинематический анализ, прочностные расчеты критических компонентов и подбор шагового двигателя, обеспечивающего усилие сжатия 50 Н при ходе губок 161 мм. Результаты моделирования подтвердили функциональность, надежность, точность позиционирования и соответствие заданным техническим требованиям, что создает основу для изготовления физического прототипа.

The article presents the results of the development and computer modeling of a two-finger gripping device with a stepper motor drive and a lever mechanism, designed for use in robotic complexes and automation systems. The end-to-end design, carried out in the integrated T-FLEX CAD environment, included the creation of a parametric 3D model, kinematic analysis, strength calculations of critical components, and the selection of a stepper motor providing a gripping force of 50 N with a jaw stroke of 161 mm. The modeling results confirmed the functionality, reliability, positioning accuracy, and compliance with the specified technical requirements, providing a basis for the creation of a physical prototype.

Ключевые слова: двухпальцевый захват, шаговый двигатель, рычажный механизм, T-FLEX CAD, моделирование, прочностной расчет.

Keywords: two-finger gripper, stepper motor, lever mechanism, T-FLEX CAD, modeling, strength calculation.

Введение

Современная робототехника и автоматизация технологических процессов предъявляют высокие требования к захватным устройствам (эндоэффекторам). Двухпальцевые захваты являются одним из наиболее распространенных типов благодаря своей универсальности, простоте конструкции и надежности. Они применяются для манипуляций деталями различной формы и массы в таких областях, как машиностроение, сборка электроники, логистика и пищевая промышленность [1-3].

Ключевыми задачами при проектировании таких захватов являются обеспечение необходимой силы сжатия, минимальной массы, точности позиционирования губок и надежности в условиях циклических нагрузок. Использование шагового двигателя в качестве привода позволяет достичь высоких показателей точности и полного контроля положения губок, а рычажный механизм обеспечивает необходимое усилие сжатия и синхронизацию движения пальцев [1-3].

Целью данной работы являлась разработка, 3D-моделирование и виртуальное испытание двухпальцевого захватного устройства с шаговым приводом и рычажным механизмом в среде T-FLEX CAD для проверки его работоспособности и оптимизации конструкции.

Методология и проектирование системы

Разработанное захватное устройство включает в себя следующие ключевые компоненты:

- **Корпус.** Служит основанием для крепления всех компонентов и интерфейсом для установки на манипуляторе робота. Изготовлен из алюминиевого сплава АД31Т для уменьшения массы.
- **Привод.** Шаговый двигатель типа NEMA 17, закрепленный на корпусе [3]. Вал двигателя соединен с ведущим звеном рычажного механизма.
- **Рычажный механизм.** Преобразует вращательное движение вала шагового двигателя в синхронное встречное линейное движение пальцев. Механизм состоит из входного рычага, жестко закрепленного на валу двигателя;

двух симметричных двуплечих рычагов, соединенных с входным рычагом и пальцами посредством цилиндрических шарниров (осей). Данная кинематическая схема обеспечивает выигрыш в силе и строгую синхронность движения губок. Расчетное передаточное отношение рычажной системы составило 1:1.4.

- Пальцы (губки). Рабочий орган захвата, непосредственно контактирующий с объектом. Изготовлены из закаленной стали 45 для обеспечения износостойкости. Конструкция предусматривает возможность установки сменных накладок для работы с объектами разной формы. Рабочий ход губок составляет 161 мм.

Процесс моделирования в T-FLEX CAD

Проектирование было выполнено в интегрированной среде T-FLEX CAD, что позволило объединить этапы параметрического моделирования, сборки, кинематического и прочностного анализа.

Все детали захвата были смоделированы как параметрические модели, что позволило быстро вносить изменения в геометрию на этапе оптимизации. Материалы были назначены в соответствии с расчетными нагрузками: корпус – АД31Т, рычаги и губки – Сталь 45, оси – Сталь 40Х.

Компоненты были собраны в единую модель с наложением соответствующих сопряжений (совпадение, соосность, касание). Были созданы сборочные чертежи и спецификации.



Рис. 1. Общий вид двухпальцевого захвата, разработанного в T-FLEX CAD

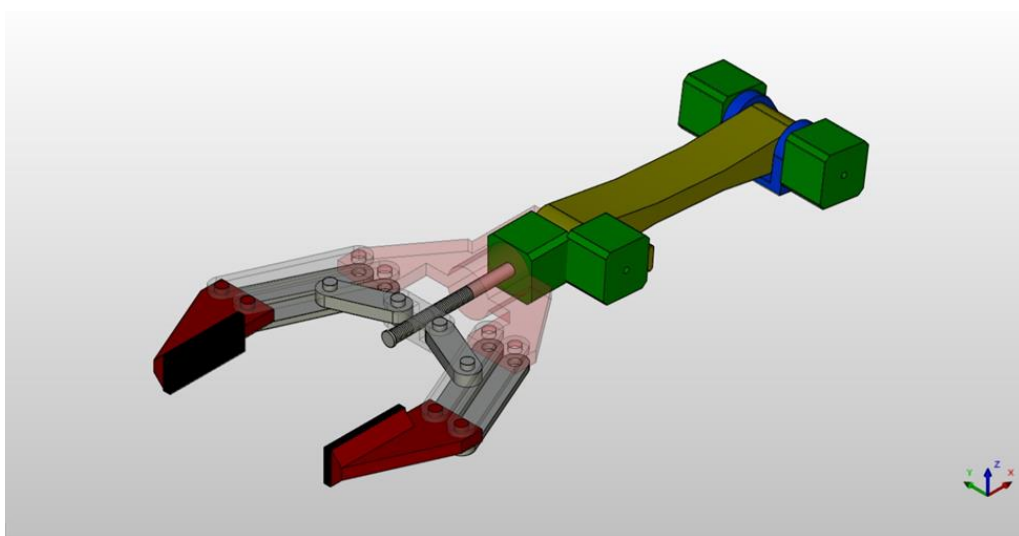


Рис. 2. Вид в разрезе, демонстрирующий внутреннюю компоновку и рычажный механизм

С использованием модуля кинематики T-FLEX была создана анимация рабочего цикла захвата. Были заданы законы движения для вала шагового двигателя, и система автоматически рассчитала траектории и перемещения всех звеньев рычажного механизма. Это позволило визуальнo убедиться в отсутствии коллизий и корректности работы механизма на всей траектории движения губок, подтвердив расчетный ход в 161 мм.

Для критических компонентов был проведен статический прочностной расчет методом конечных элементов (МКЭ) непосредственно в среде T-FLEX Анализ.

Расчет на прочность и жесткость рычагов при действии максимального усилия сжатия 50 Н. Максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу составило 48 МПа в зоне соединения с осью, что значительно ниже предела текучести стали 45 ($\sigma_t = 355$ МПа). Запас прочности превышает 7.

При анализе осей шарниров расчет на срез подтвердил, что напряжения среза не превышают 35 МПа при допустимых 150 МПа для стали 40Х.

Анализ корпуса: Проверка в зонах крепления двигателя показала минимальные деформации и напряжения, не превышающие 15 МПа.

Результаты анализа подтвердили значительный запас прочности конструкции.

На основе кинетостатического исследования на основе принципа Даламбера был определен требуемый момент на валу двигателя. С учетом сил трения в шарнирах и инерции компонентов для создания усилия 50 Н потребовался момент 0.4 Н·м. Был выбран шаговый двигатель NEMA 17 (модель 17HS19-2004S1 [3]) с номинальным моментом 0.59 Н·м, что обеспечивает необходимый рабочий момент с запасом в 45%.

Заключение

В рамках проведенной работы в среде T-FLEX CAD была успешно спроектирована и полностью смоделирована конструкция двухпальцевого захватного устройства с шаговым приводом и рычажным механизмом. Комплексное компьютерное моделирование и инженерный анализ доказали следующие преимущества разработанного решения:

- Конструкция обеспечивает требуемое усилие сжатия 50 Н и устойчива к рабочим нагрузкам, что подтверждено расчетом МКЭ, показавшим запас прочности свыше 7 для силовых элементов.
- Применение шагового двигателя NEMA 17 позволяет точно управлять положением губок в пределах всего рабочего хода (161 мм).

- Движение всех компонентов происходит без заеданий и пересечений на всей рабочей траектории.
- Конструкция предусматривает возможность замены быстроизнашиваемых компонентов (губок, втулок).
- Результаты работы, включая комплект конструкторской документации, являются готовой основой для создания физического прототипа и проведения натурных испытаний. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию массы конструкции и разработку системы управления с обратной связью.

Библиографический список

1. Lobontiu N. Compliant Mechanisms: Design of Flexure Hinges / N. Lobontiu. — Boca Raton : CRC Press, 2002. — 888 p.
2. Monkman G. J. Robot Grippers / G. J. Monkman, S. Hesse, R. Steinmann, H. Schunk. — Weinheim : Wiley-VCH, 2007. — 476 p.
3. Shinano Kenshi. Stepping Motors [Catalog] / Shinano Kenshi Co., Ltd. — Torrance, CA : Shinano Kenshi Co., Ltd., 2023. — 120 p.

Костин Тимофей Витальевич - студент 2 курса, кафедра КСУ, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», kostintimofej918@gmail.com

Kostin Timofey Vitalievich - 2nd year student, Department of Control Systems, Moscow State University of Technology «STANKIN», kostintimofej918@gmail.com

Соболев Александр Николаевич - кандидат технических наук, доцент кафедры станков, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», t-64@mail.ru

Sobolev Alexander Nikolaevich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machine Tools, Moscow State University of Technology «STANKIN», t-64@mail.ru

УДК 621.9.025.7

Кочев А.В., Гречишников В.А.

Kochev A.V., Grechishnikov V.A.

Повышение эффективности работы сборных фрез для осевого фрезерования на основе адаптивных параметров инструмента

Improving the efficiency of prefabricated milling cutters for axial milling based on adaptive tool parameters

В статье представлен вариант повышения многофункциональности сборных торцевых и концевых фрез с тангенциальным закреплением СМП путем регулирования значений передних и задних углов при плунжерном фрезеровании. Данное решение позволяет обрабатывать детали, относящиеся к разным группам материалов по эталону ISO, одним инструментом при обработке на глубину более 4-х его диаметров.

The article presents a variant of increasing the versatility of prefabricated end and end mills with tangential fastening of the NSR by adjusting the values of the front and rear angles during plunger milling. This solution allows you to process parts belonging to different groups of materials according to the ISO standard with one tool when processing to a depth of more than 4 of its diameters.

Ключевые слова: Осевое фрезерование, фреза, сменная режущая пластина, параметрическая модель, тангенциальное.

Keywords: Axial milling, milling cutter, replaceable cutting plate, parametric model, tangential.

Введение

Традиционные стратегии фрезерования глубоких карманов, полостей и уступов в корпусных деталях характеризуются рядом существенных недостатков, включая низкую производительность, вибрации инструмента и низкую стойкость режущего инструмента. В некоторых случаях применение бокового фрезерования становится экономически нецелесообразным, что

подчеркивает необходимость поиска альтернативных решений для повышения эффективности и качества обработки.

Для черновой обработки глубоких полостей на фрезерных станках рекомендуется использовать сборные фрезы, предназначенные для осевого фрезерования. При работе на глубине, превышающей 5–6 диаметров инструмента, применение специализированного инструмента и виброгасящих оправок обеспечивает соответствие корпусных деталей техническим требованиям. Такой подход позволяет значительно повысить производительность и качество обработки, минимизируя при этом эксплуатационные затраты, а также износ инструмента и оборудования. Из вышеуказанного следует, что научная задача, состоящая в повышении эффективности сборных фрез на основе адаптивных параметров инструмента для осевого фрезерования и метода проектирования подобного инструмента, является актуальной

Разработка конструкции сборных фрез для осевого фрезерования

Сложность обработки крупногабаритных деталей заключается в подборе инструмента для их обработки с заданными характеристиками по точности и качеству поверхностей. При этом ошибка при выборе инструмента может обернуться потерей детали, изготовление которой может занимать большой временной промежуток и большие затраты для изготовителя. В связи с этим производители чаще всего склоняются к выбору инструмента, проверенного временем, при этом желая максимально повысить его применяемость и производительность.

В работе представлена методика расчет и проектирование сборной фрезы с тангенциальным расположением пластин с изменяемой геометрией, а также производится описание построения трехмерной параметризированной модели сборной фрезы

Определение угловых параметров опорной плоскости пластины в корпусе сборной фрезы с возможностью изменения геометрических параметров производится по следующей методике:

- углы наклона опорной пластины в нормальной и главной секущей плоскостях:

$$\mu_H = \alpha_H - \arctg\left(\frac{tg\alpha}{\cos\lambda}\right);$$

$$tg\mu = \left(\frac{tg\mu_H}{\cos\lambda}\right);$$

- осевой и торцевой углы опорной плоскости:

$$tg\mu_x = tg\mu \cos\varphi - tg\lambda \sin\varphi;$$

$$tg\mu_t = tg\mu \sin\varphi - tg\lambda \cos\varphi;$$

- угол наклона опорной плоскости ω :

$$tg\omega = tg\mu_x - \cos\mu_t.$$

-передний угол γ :

$$tg\gamma = \frac{tg(\mu_H + \gamma_H)}{\cos\lambda}.$$

-вспомогательный задний угол α_1 :

-главный φ_H и вспомогательный φ_{1H} и углы в плане, необходимые для изготовления гнезда под пластину в опорной плоскости:

$$\sin\varphi_H = \frac{\sin\varphi \cdot \cos\lambda}{\cos\omega};$$

$$\varphi_{1H} = 180^\circ - \varphi_H - \varepsilon;$$

- точное значение вспомогательного угла в плане φ_1 :

$$tg\varphi_{1H} = \frac{tg\varphi_{1H} \cdot \cos\omega}{\cos\mu_t};$$

- угол наклона вспомогательной режущей кромки λ_1 :

$$tg\lambda_1 = tg\mu_x \cdot \sin\varphi_1 - tg\mu_t \cdot \cos\varphi_1;$$

- вспомогательный задний угол α_1 :

$$tg\alpha_1 = \cos\lambda_1 tg\{\alpha_H - \arctg[(tg\mu_x \cos\varphi_1 - tg\mu_t \sin\varphi_1) \cos\lambda_1]\};$$

Определить смещение опорной поверхности S державки (кассеты) в корпусе фрезы:

$$S = E + E_1$$

$$E = 0,5D \cdot \cos\mu_x;$$

$$E_1 = 0,5D \cdot \sin \mu_t;$$

Результатом проектирования является сборная фреза с тангенциальным закреплением СМП с возможностью изменения передних и задних углов для осевого фрезерования состоит из корпуса с пазами под режущие пластины, тангенциальных режущих пластин, винтов для закрепления пластин. Отличие состоит в том, что форма паза, в который закрепляются режущие пластины, исполнена с возможностью поворота пластины на 5° вокруг оси резьбового отверстия. Боковые стенки посадочного паза сделаны в виде ломаной поверхности, образованной пересечением поверхностей и их продолжений режущей пластины, не включающих рабочую режущую кромку, формируя для любого положения режущей пластины свои базисуемые поверхности.

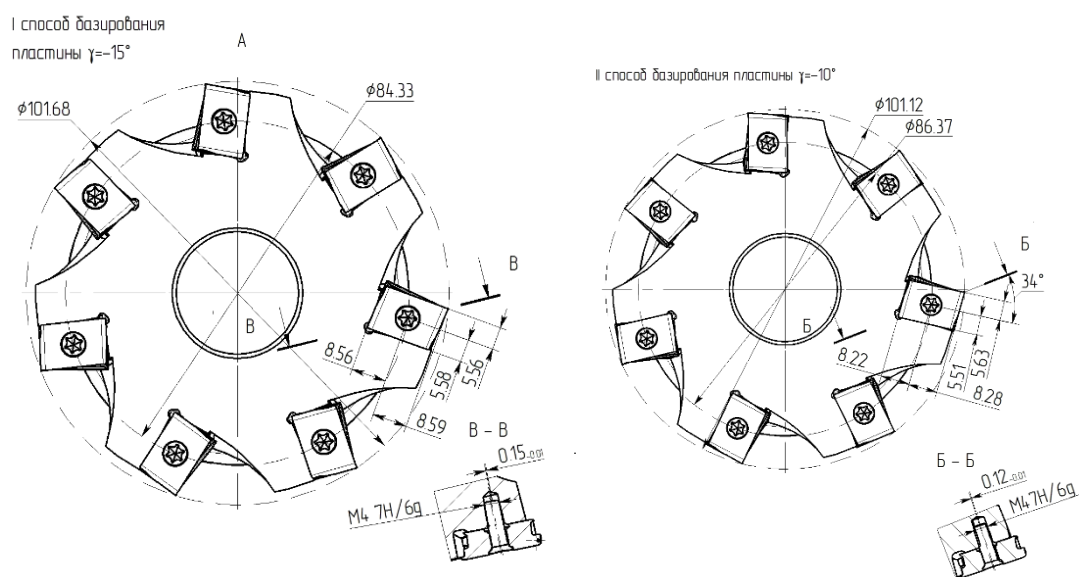


Рис. 1. Способы базирования тангенциальной пластины в сборной фрезе

Таблица 1

Значение геометрических параметров при изменении способа
базирования пластины

	<i>I способ базирования</i>	<i>II способ базирования</i>
Диаметр фрезы D, мм	101,68	101,12
Радиальный передний угол γ_0	-15°	-10°
Передний угол при вершине γ_r	20°	25°
Радиальный задний угол α_0	15°	10°
Группа обрабатываемы материалов по эталону ISO	P, K, N	M, S, H

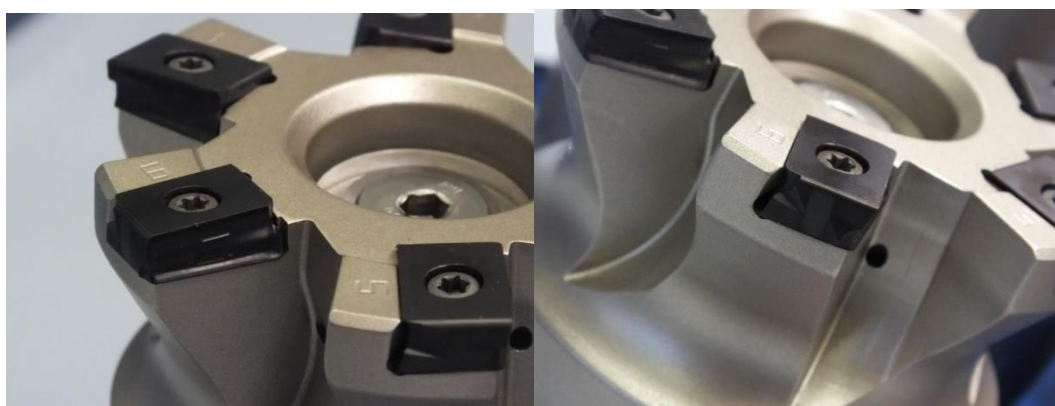


Рис. 2. Корпус фрезы с твердосплавными тангенциальными пластинами

При опытной отработке конструкции сборной фрезы проводился эксперимент в ходе которого были выявлены зависимости влияния режимов осевого фрезерования на параметры качества поверхностного слоя, было необходимо определить характер и степени влияния режимов резания, геометрических параметров инструмента, свойств обрабатываемого материала и

температуры срезаемого слоя на высоту неровностей R_a . Выбор критерия R_a в качестве исследуемой величины диктуется тем, что он имеет большое значение при оценке шероховатости поверхности. Для достижения данной цели, была поставлена задача определить факторы, влияющие на шероховатость при осевом фрезеровании которые можно изменить, не прибегая к конструктивным изменениям режущего инструмента.

Факторы и пределы варьирования этих факторов: скорость резания V , м/мин, подача S_z , мм/зуб, ширина фрезерования B , мм, глубина резания t , мм, главный угол в плане ϕ , град, задний угол α , град, передний угол γ , град, радиус r , мм, количество режущих кромок z , вспомогательный угол в плане ϕ_1 , град, радиус округления r , мм, температура нагрева T , °С, диаметр фрезы D_ϕ , мм, наличие СОЖ (где 1- есть, 2- отсутствует), вспомогательный задний угол α_1 , град.

Для определения величины влияния факторов вышеуказанных факторов на величину шероховатости приводились эксперименты по факторному планированию типа 2^{15} и была выбрана 1/512 часть от полного факторного эксперимента 2^{15} .

Математическая модель для шероховатости поверхности R_a рассматривается в следующем виде:

$$RZ = C_{HB} * V^{Z1} * S_z^{Z2} * t^{Z3} * \alpha_1^{Z4} * T^{Z5} * \phi^{Z6} * r^{Z7} * \gamma^{Z8} * \alpha^{Z9} * \phi_1^{Z10} * n^{Z11} * d_\phi^{Z12} * z^{Z13} * i^{Z14} * b^{Z15}, (1)$$

где C_{HB} – коэффициент, указывающий твердость обрабатываемого материала;

Z_1, Z_2, \dots, Z_{15} – показатели степеней при выполнении эксперимента с количеством факторов $n = 15$. Для определения значений Z_1, Z_2, \dots, Z_{15} в уравнение (1) преобразуется к регрессионному виду

$$Y = \ln R_z + B_0 X_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_4 X_4 + B_5 X_5 + B_6 X_6 + B_7 X_7 + B_8 X_8 + B_9 X_9 + B_{10} X_{10} + B_{11} X_{11} + B_{12} X_{12} + B_{13} X_{13} + B_{14} X_{14} + B_{15} X_{15}, (2)$$

Подставляя в (2) значения коэффициентов регрессии и полиномов, получаем окончательный вид уравнений расчета R_a :

В поперечном направлении

$$R_a = C_{HB} * \frac{\varphi^{0.32} * S_z^{0.62} * t^{0.52} * \alpha^{0.75} \varphi_1^{0.26} * \alpha_1^{0.13} * i^{0.8} * b^{0.57} * \rho^{0.1}}{V^{0.18} * \gamma^{0.41} * r^{0.61} * \theta^{0.095} * D^{0.39} * z^{0.15}}, \text{ мкм} (3)$$

В продольном направлении

$$R_a = C_{HB} * \frac{\varphi^{0.44} * S_z^{0.57} * t^{0.53} * \alpha^{0.81} \varphi_1^{0.23} * \alpha_1^{0.23} * i^{0.8} * b^{0.46} * \rho^{0.1}}{V^{0.13} * \gamma^{0.44} * r^{0.58} * \theta^{0.08} * D^{0.39} * z^{0.15}}, \text{ мкм} (4)$$

Зависимости (3) и (4) представляют собой статистические модели, которые были созданы с помощью метода планирования эксперимента и не требуют дополнительных доказательств.

Эти модели можно использовать для расчёта оптимальных условий фрезерования, чтобы достичь необходимой шероховатости поверхности при использовании метода осевого фрезерования. Данные уравнения можно использовать для подбора режимов резания, обеспечивающих заданные параметры шероховатости с погрешность 10÷15%.

В ходе проведения испытаний и внедрения в производство также была определена степень износа режущей кромки и определена температура в зоне резания

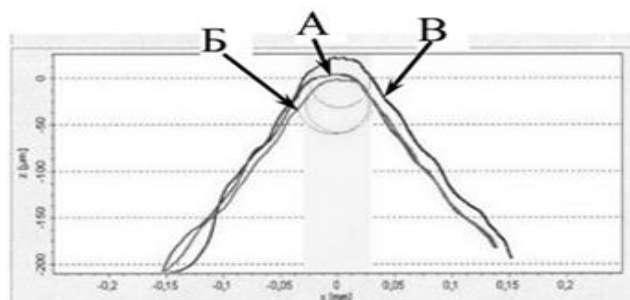


Рис. 3 График износа режущей кромки от времени

Таблица 2

Значения износа режущей кромки от времени

	T=5 мин	T=30 мин	T=60мин	T=180ми н	T=360ми н
Износ по передней поверхности	0,002 мм	0,005мм	0,01мм	0,02мм	0,04мм
Износ по задней поверхности	0,002 мм	0,005мм	0,02мм	0,06мм	0,1мм
Изменение радиуса при вершине	0,002 мм	0,005мм	0,01мм	0,04мм	0,06мм

Заключение

➤ В работе решена новая научно-техническая задача в повышение эффективности работы сборных фрез с тангенциальным закреплением с целью повышения точности и качества обработанных поверхностей при осевом фрезеровании на основе определения -многофункциональных связей параметров сборных фрез для осевого фрезерования параметров точности, качества обработанных деталей и повышению многофункциональности инструмента с учетом возможности изменения параметров установки пластин в зависимости от физико-механических свойств материала детали, что повышает срок эксплуатации инструмента;

➤ В работе представлен разработанный алгоритм проектирования сборных фрез с тангенциальным закреплением пластин с возможностью варьирования положения пластин (изменения передних и задних углов) с учетом физико-механических свойств материала;

➤ В работе представлены установленные функциональные связи между параметрами шероховатости при обработке различных материалов и разной геометрией;

➤ В работе проведено внедрение изготовленных опытных образцов сборной фрезы для осевого фрезерования и произвести анализ поверхностного слоя детали с учетом изменения геометрических параметров качество обработанных поверхностей при осевом фрезеровании.

➤ В работе изложены обоснованные теоретические и технологические решения, имеющие важное значение для машиностроения, позволяющей вести настройку позиционирования режущего элемента в корпусе, с целью улучшения условий резания при обработке, а также для универсальности применения данной конструкции при обработке деталей из различных групп металлов по системе ISO.

➤ Проведены математические исследования влияния параметров режимов резания осевых фрез с тангенциальным расположением пластин на производительность, качество поверхностного слоя и высоту остаточных неровностей. Получены численные значения шероховатости поверхности после обработки.

Библиографический список

1. Гречишников В.А. Наука и искусство системного моделирования инструментального обеспечения машиностроительных производств Режущий инструмент монография Москва, 2016
2. Гречишников В.А., Кочев А.В. Патент на полезную модель № 204571 U1 Российская Федерация, МПК В23С 5/24. Плунжерная фреза с тангенциальным расположением пластин: № 2021102224: заявл. 01.02.2021: опубл. 31.05.2021 / В. А. Гречишников, А. В. Кочев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН». – EDN EYVAXK

3. В. А. Гречишников, А. В. Кочев Повышение качества обработки деталей на основе выбора оптимальных режимов резания экспериментальным путем при плунжерном фрезеровании фрезами с тангенциальным расположением СМП / Гречишников В.А. Кочев А.В.// Вестник МГТУ «Станкин» № 3 2024 с. 51-60.
4. Гречишников В.А., Кочев А.В. Самсоненко Г.А., Профилирование и изготовление резбовых пластин сборного инструмента для обработки труб нефтяного сортамента по способу планетарного резьбофрезерования // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 3 (70). – С. –.
5. Кочев А.В. Повышение качества обработки деталей на основе выбора оптимальных режимов резания экспериментальным путем при осевом фрезеровании фрезами с тангенциальным расположением СМП / Гречишников В.А. Кочев А.В.// Вестник МГТУ «Станкин» № 3 2024 с. 51-60
6. Кочев А.В. Техническое творчество молодежи. Научно-практический образовательный журнал технический журнал 5 (117) 2019.-52с.

Кочев Александр Владимирович - аспирант ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», aleks_kochev@mail.ru

Гречишников Владимир Андреевич - д.т.н., профессор ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», ittf.stankin@yandex.ru

Alexander Vladimirovich Kochev - MSTU STANKIN, postgraduate student; aleks_kochev@mail.ru

Vladimir Andreevich Grechishnikov - Doctor of Engineering, Professor, MSTU STANKIN, ittf.stankin@yandex.ru

УДК 621.833.6

Кочкин П.Н., Соболев А.Н.

Kochkin P.N., Sobolev A.N.

Разработка трехскоростной волновой коробки передач на основе реверс-инжиниринга

Development of a Three-Speed Harmonic Gearbox Based on Reverse Engineering

В статье представлены результаты реверс-инжиниринга и проектирования трехскоростной волновой коробки скоростей. Проведен анализ кинематической схемы и конструкции механизма переключения передач, системы управления и генератора волн с регулируемой деформацией. Разработана 3D-модель и конструкторская документация в среде T-FLEX PLM. Конструкция обеспечивает три передаточных числа. Особенностью разработки является использование блока жестких колес с системой точного позиционирования и регулируемого генератора волн.

The article presents the results of reverse engineering and design of a three-speed harmonic gearbox. The analysis of the kinematic diagram and design of the gear shifting mechanism, control system and wave generator with adjustable deformation has been carried out. 3D model and design documentation have been developed in T-FLEX PLM environment. The design provides three gear ratios. The feature of the development is the use of a rigid gear block with a precision positioning system and an adjustable wave generator.

Ключевые слова: волновая передача, коробка скоростей, реверс-инжиниринг, проектирование, T-FLEX PLM, генератор волн, гибкое колесо, жесткое колесо, передаточное число, механизм переключения.

Keywords: harmonic drive, gearbox, reverse engineering, design, T-FLEX PLM, wave generator, flexspline, circular spline, gear ratio, shifting mechanism.

Введение

Современное машиностроение характеризуется возрастающими требованиями к компактности, надежности и эффективности механических передач. Особый интерес в этом контексте представляют волновые передачи, обладающие уникальным сочетанием высокого передаточного числа, малых габаритов и кинематической точности. В отличие от традиционных редукторов, волновые механизмы основаны на принципе упругой деформации гибкого элемента, что позволяет реализовывать значительные передаточные отношения в одной ступени [1-7].

Особую практическую ценность имеют многоскоростные волновые передачи (коробки скоростей), которые сохраняя преимущества классических волновых редукторов, обеспечивают возможность изменения передаточного отношения. Такие устройства находят применение в прецизионных системах, робототехнике и аэрокосмической отрасли, где требования к массогабаритным характеристикам и функциональности особенно критичны. Однако, в связи с сложностью конструкции и ограниченной доступностью коммерческих образцов, актуальной задачей становится обратный инжиниринг (реверс-инжиниринг) существующих разработок для их дальнейшего совершенствования и адаптации к конкретным применениям.

Основной целью данной работы является разработка собственной волновой коробки скоростей (КС) на основе аналога из работы [3].

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести детальный анализ кинематической схемы механизма переключения передач и определить принцип взаимодействия между блоком жестких колес и гибким элементом.
2. Исследовать конструкцию генератора волн с регулируемой деформацией, определить механизм синхронного перемещения дисков и оценить влияние клиновых втулок на величину радиальной деформации.

3. Проанализировать систему управления переключением передач, включая преобразование вращательного движения винта управления в осевое перемещение вилки через сухарный механизм.

4. Определить механические характеристики материалов основных компонентов коробки скоростей и установить их соответствие требованиям циклической прочности.

5. Разработать расчетные модели для определения нагрузочной способности и долговечности конструкции на основе полученных экспериментальных данных.

6. Сформулировать рекомендации по оптимизации конструкции и технологии изготовления исследуемой волновой коробки скоростей.

Реализация поставленных задач позволит не только создать конструкцию устройства, но и создать научно-технический задел для разработки перспективных моделей волновых передач с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Конструктивные особенности и преимущества волновых коробок скоростей

Волновая коробка передач - устройство, которое позволяет изменять передаточное отношение между входным и выходным валами без остановки входного вала или с помощью простого механизма переключения. Она объединяет в одном корпусе несколько различных кинематических схем волновой передачи.

Существует несколько фундаментальных принципов, позволяющих создать многоскоростную волновую передачу.

а) Коробка с блоком жестких колес (как в рассматриваемом в работе варианте). Это наиболее распространенный и технологичный подход. Внутри корпуса установлен блок из нескольких (чаще двух или трех) жестких колес с разным количеством зубьев. Гибкое колесо - одно, генератор волн - один. Блок жестких колес может перемещаться вдоль оси. Система управления (например, винтовая, как в нашем варианте, или с помощью гидроцилиндра) вводит в

зацепление с деформированным гибким колесо то или иное жесткое колесо из блока. Поскольку разница в числе зубьев между гибким и каждым жестким колесом разная, передаточное число меняется.

Преимущества такого варианта - относительная простота, компактность, высокая надежность. Недостаток - обеспечение точного осевого позиционирования блока колес.

б) Коробка с блоком гибких колес. Менее распространенный, но возможный вариант. В конструкции используется одно жесткое колесо и несколько гибких колес, установленных на своем выходном валу. Генератор волн один, но он может поочередно вводиться в разные гибкие колеса.

Осевое перемещение генератора волн вызывает его зацепление с тем или иным гибким колесом. Каждое гибкое колесо имеет свою разницу в количестве зубьев с общим жестким колесом, обеспечивая разные передаточные числа.

Преимуществом является возможность иметь несколько независимых выходных валов. Недостаток - более сложная конструкция генератора и система его перемещения.

в) Коробка с торможением элементов (планетарный аналог). Этот подход заимствует логику из планетарных коробок передач. Стандартная волновая передача, но один из ее трех основных элементов (жесткое колесо, гибкое колесо или вал генератора) не зафиксирован жестко, а может быть остановлен с помощью тормозного устройства (например, пакета фрикционных дисков).

Разные кинематические схемы и, следовательно, разные передаточные числа реализуются путем попеременного торможения одного из элементов. Например, если затормозить жесткое колесо, получаем одно передаточное число. Если затормозить гибкое колесо - другое. Если позволить всем элементам вращаться - нейтральная передача или прямую передачу.

Преимуществом является возможность переключения без разрыва потока мощности (под нагрузкой), высокая скорость переключения. Недостаток - более сложная система управления (гидравлическая или электромеханическая) и наличие элементов трения, снижающих общий КПД.

Волновые коробки передач находят применение в нишевых областях, где их уникальные преимущества перевешивают стоимость и сложность:

- Высокотехнологичные станки с ЧПУ. Для шпинделей, требующих работы в широком диапазоне скоростей при сохранении высокого момента и точности позиционирования.
- Специальная робототехника. В манипуляторах, где требуется работа в режимах «сила» (низкая скорость, высокий момент) и «скорость» (высокая скорость, низкий момент) без смены двигателя или редуктора.
- Аэрокосмическая техника. В механизмах поворота антенн, раскрытия панелей и других системах, где надежность, компактность и малый вес критичны, а количество переключений ограничено.
- Сложные приводы специального назначения в испытательном оборудовании.

Проектирование в среде T-FLEX PLM

Авторами в T-FLEX PLM разработан проект и документация на трехскоростную волновую коробку скоростей общего назначения (рис. 1-3). Основные компоненты включают гибкий элемент, генератор волн и блок жестких колес. Передаточное число изменяется путем зацепления разных жестких колес с гибким колесом.

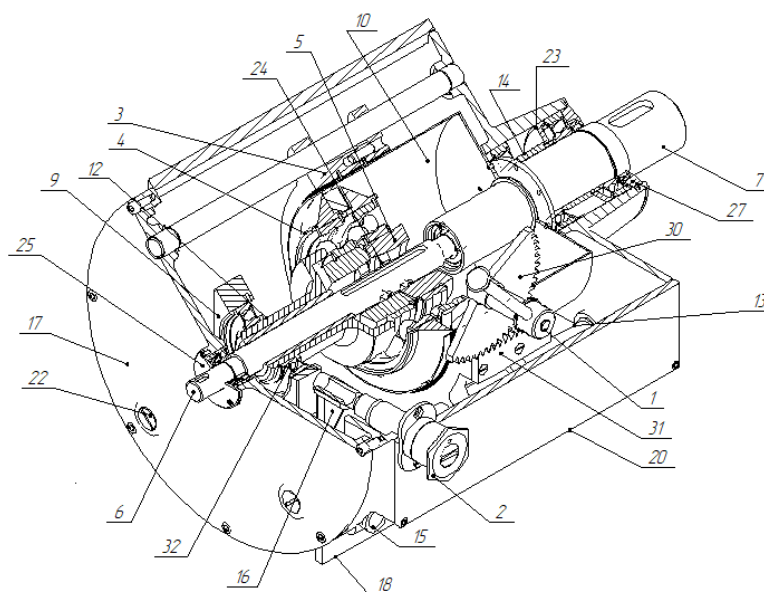


Рис. 1. Сборочный чертеж коробки скоростей

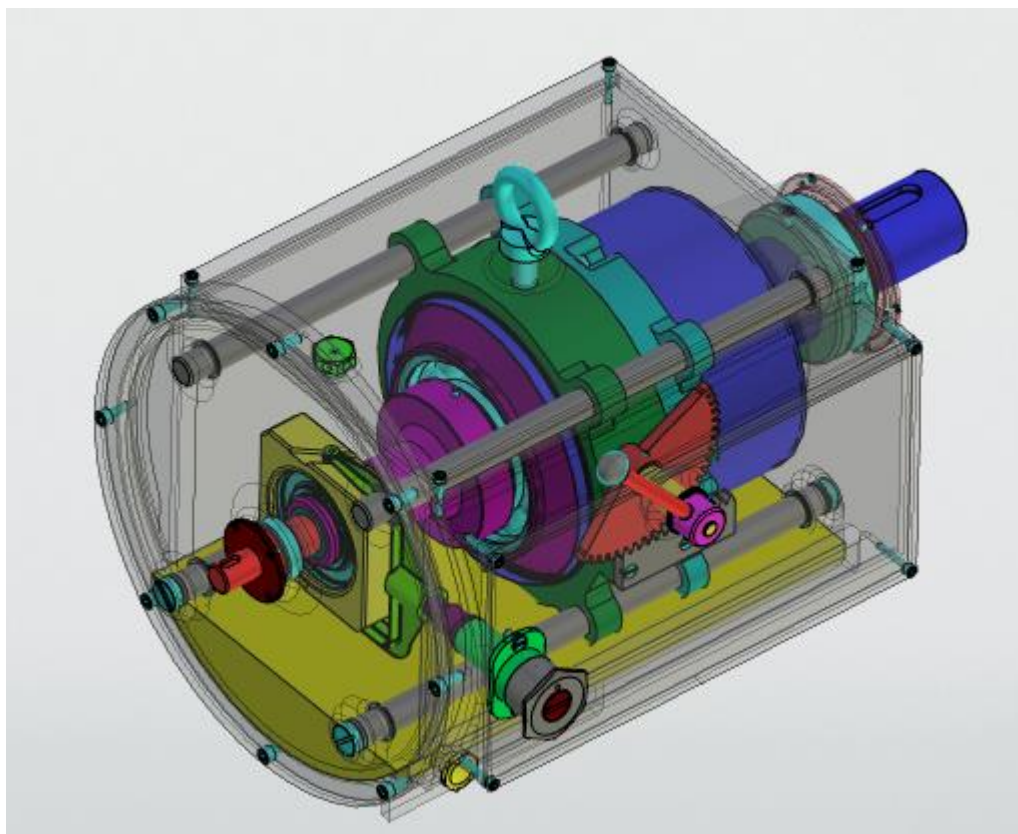


Рис. 2. Модель коробки скоростей в собранном виде

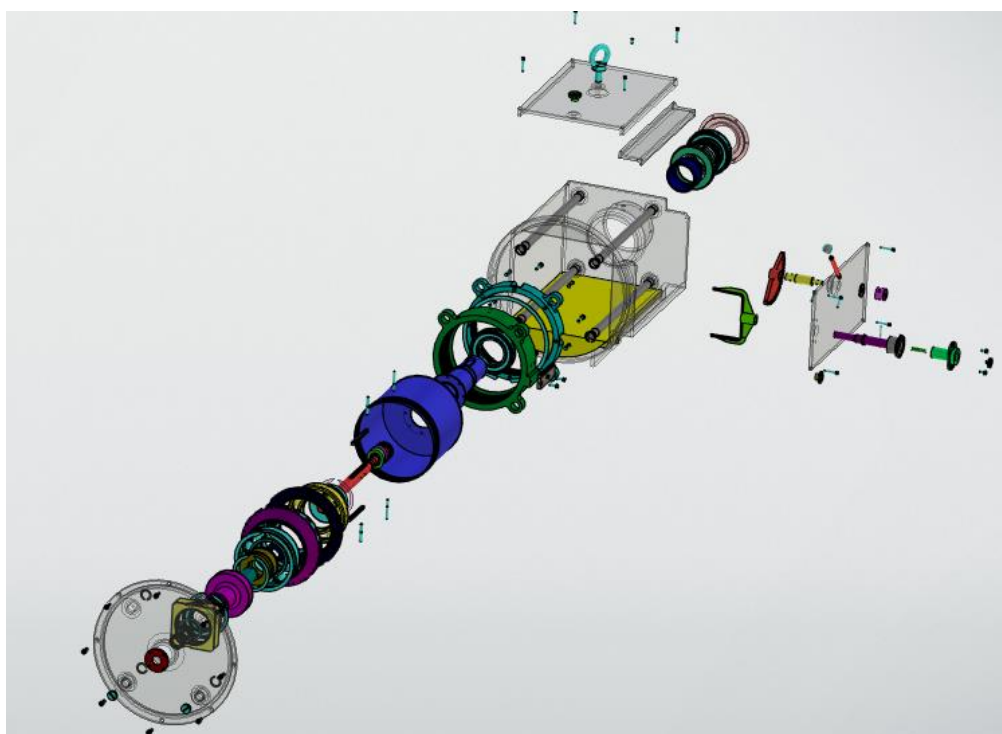


Рис. 3. Модель коробки скоростей в разобранном виде

Основные компоненты КС:

- Входной вал (6). Через муфту соединяется с валом электродвигателя.
- Гибкий элемент (10) выполнен в виде стакана и жестко соединен с выходным валом (7).
- Генератор волн (5) дисковый, регулируемый. Число волн равно двум.
- Блок жестких колес (3) - тройной блок, который перемещается вдоль оси с помощью системы управления.
- Система управления состоит из зубчатой рейки (31) и сектора (30). Перемещает блок колес по четырем цилиндрическим направляющим (13).
- Выходной вал (7). С него снимают выходной крутящий момент.

Регулировка деформации гибких колес и переключение скоростей:

- Величина радиальной деформации гибкого элемента плавно изменяется за счет синхронного перемещения дисков генератора по клиновым втулкам (24) с помощью штифтов и шпонки.
- Управление осуществляется винтом (2), который через вилку, сухари и обойму (9) передает осевое движение на диски генератора.
- Угол наклона клина и шаг винта подобраны так, что одному обороту винта соответствует переключение на одну ступень (скорость).

Конструктивные особенности:

- Диски генератора выполнены зубчатыми. Их взаимное расположение позволяет точкам приложения радиальных усилий находиться в одной плоскости, поперечной оси гибкого элемента.
- Связь между вилкой (16) и втулкой управления (12) осуществляется через радиальный однорядный шарикоподшипник (32), установленный в обойме (9).
- Редуктор смазывается жидким полусинтетическим трансмиссионным маслом.

Параметры КС:

- Мощность электродвигателя: $N=2$ кВт.
- Частота вращения вала двигателя: $n=1500$ об/мин ($\omega=157$ рад/с).
- Передаточные числа: 200, 100 и 66,6.
- КПД редуктора: 0,9.
- Материал колес: Сталь марки 40Х.

Заключение

В ходе проведённой работы была успешно разработана трехскоростная волновая коробка скоростей на основе анализа существующего аналога. В среде T-FLEX PLM создана комплексная 3D-модель и конструкторская документация, полностью отражающая особенности конструкции и взаимодействия всех компонентов.

Полученная конструкция демонстрирует все преимущества волновых передач - высокие передаточные числа, компактность, малый люфт и точность позиционирования. Особенностью разработанной коробки скоростей является использование блока из трёх жестких колес с системой точного позиционирования, что позволяет реализовать три различных передаточных числа (200, 100 и 66,6) в компактном корпусе.

Проведённая работа создает научно-технический задел для дальнейшего развития волновых коробок скоростей с улучшенными эксплуатационными характеристиками и может служить основой для создания перспективных приводов в робототехнике, станкостроении и аэрокосмической технике.

Библиографический список

1. Гаврилов Е.В. Современные тенденции в проектировании волновых редукторов // Вестник машиностроения. 2021. № 5. С. 45-50.
2. Иванов М.Н. Динамика и управление волновыми зубчатыми механизмами / М.Н. Иванов // Труды Международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера». 2019. С. 112-118.
3. Руденко В. Н. Планетарные и волновые передачи. М. Машиностроение, 1980г. - 148 с.

4. Савельев В.И. Перспективные передачи в машиностроении: учебное пособие / В.И. Савельев, К.А. Дмитриев. - Екатеринбург: УрФУ, 2020. - 145 с.
5. Соболев А.Н., Некрасов А.Я., Ривкин А.В. Разработка основ методологии проектирования планетарных механизмов ЗК с применением T-FLEX PLM для нужд станкостроения // Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 4. С. 71-85.
6. Соболев А.Н., Косов М.Г. Автоматизация кинематического и динамического анализа технологических машин. Вестник МГТУ «Станкин». 2010. №2. С. 32-36.
7. Цупров Л.Н. Многоскоростные волновые передачи: теория и проектирование / Л.Н. Цупров, А.В. Беляев. - М.: Машиностроение, 2017. - 198 с.

Кочкин Павел Николаевич – студент 4 курса, кафедра СПД, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», pavluuushka@vk.com

Kochkin Pavel Nikolaevich – 4th year student, Department of Flexible Production Systems (SPD), Moscow State University of Technology «STANKIN», pavluuushka@vk.com

Соболев Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры станков, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», t-64@mail.ru

Sobolev Alexander Nikolaevich – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Machine Tools, Moscow State University of Technology «STANKIN», t-64@mail.ru

УДК 004.67

Крайнов К. А., Зинченко Л. А., Тарапанова Е. А.

Kraynov K. A., Zinchenko L. A., Tarapanova E. A.

Особенности визуализации результатов технологического радар**Visualization features of technological radar results**

Статья посвящена теоретическим и практическим аспектам проектирования конструктора технологического радар и визуализации результатов с использованием графов. Рассматриваются основные алгоритмические подходы к размещению вершин и рёбер, принципы визуального восприятия графов, а также особенности реализации визуализации в современных программных средствах. Проведено сравнение двух популярных инструментов Graphviz и Gephi, представляющих разные концепции работы с графовыми структурами: автоматическую генерацию изображений и интерактивно-аналитическую визуализацию. Отмечается, что методы визуализации графов широко применяются в прикладных задачах, включая построение технологических радаров и других инструментов стратегического анализа, где требуется наглядное представление взаимосвязей между элементами системы.

The paper focus is on the theoretical and practical aspects of technological radar designer implementation and results visualization using graphs. The main approaches to vertices and edges placement, the principles of visual perception of graphs, as well as the features of visualization implementation in software are discussed. The comparison of two popular tools Graphviz and Gephi, representing different concepts of graph structures visualization: automatic image generation and interactive analytical visualization. It is noted that graph visualization methods are widely used in applied tasks, including the technological radars and other strategic analysis tools, using a visual representation of the relationships between the elements of a system.

Ключевые слова: визуализация графов, алгоритмы представления графов, Graphviz, Gephi, анализ сетевых структур, интерактивная визуализация, технологический радар

Keywords: graph visualization, graph layout algorithms, Graphviz, Gephi, network structure analysis, interactive visualization, technological radar

Введение

В связи с бурным развитием ИТ-технологий для получения достоверной картины технологического ландшафта в компании перспективным является применение технологического радара. Технологический радар позволяет проанализировать имеющиеся ресурсы и оценить наиболее перспективные технологии для последующего использования. Для визуализации результатов используются графы.

Графовые модели занимают особое место в современном анализе данных. Они позволяют описывать сложные системы в терминах взаимосвязей между элементами, что делает их универсальным инструментом для представления социальных, биологических, технических и информационных сетей. Однако числовое или табличное представление графов затрудняет визуальное восприятие их структуры и закономерностей, что вызывает необходимость в средствах их наглядного отображения.

Визуализация графов направлена на представление топологических свойств сетевых структур в графической форме. Она позволяет исследовать связи, выделять ключевые вершины, определять кластеры и аномалии. Одним из центральных требований при визуализации является достижение баланса между наглядностью изображения и сохранением структурной точности графа. Размещение вершин должно обеспечивать минимальное число пересечений рёбер, равномерное распределение элементов и эстетическую симметрию изображения [4].

Развитие вычислительной техники привело к появлению двух направлений в визуализации графов. Первое связано с автоматической генерацией изображений на основе алгоритмов размещения, второе — с интерактивными системами, позволяющими исследователю динамически изменять представление графа. Оба подхода имеют собственные преимущества и области применения.

Помимо традиционных областей применения, визуализация графов также используется при построении технологических радаров и аналогичных инструментов стратегического мониторинга, где графовые представления помогают наглядно отображать взаимосвязи технологий, их кластеры и относительную зрелость.

Подходы к визуализации графов

Цель визуализации графов заключается не только в представлении данных, но и в их анализе. Визуальные структуры позволяют выявлять закономерности, неочевидные при числовом исследовании, такие как вершины с высокой степенью, кластеры и связи между кластерами.

Ключевая задача визуализации — определение положения вершин и рёбер в пространстве с учётом топологических свойств. Эффективная визуализация графа должна обеспечивать удобное восприятие, минимизировать пересечения рёбер и отражать взаимное расположение элементов в соответствии с их связностью [5]. Для достижения этих целей применяются алгоритмы, обеспечивающие автоматическое построение координат вершин.

Алгоритмы визуализации разрабатываются с учётом ряда эстетических критериев. Среди них можно выделить минимизацию пересечений рёбер, равномерность расстояний между вершинами, компактность и симметричность представления, а также сохранение пропорций и топологических связей. Эти принципы обеспечивают наглядность и когнитивную простоту восприятия изображённого графа [4].

Для визуализации графов применяются различные алгоритмы визуализации, каждый из которых ориентирован на определённые типы графов и задачи:

- силовые алгоритмы (force-directed) моделируют вершины как физические тела, соединённые пружинами, и стремятся минимизировать общую потенциальную энергию системы. Наиболее известные реализации — Fruchterman–Reingold и Kamada–Kawai, которые обеспечивают компактное и интуитивное расположение узлов, отражающее их структурные связи [4];

- иерархические алгоритмы используются для ориентированных ациклических графов и деревьев, где важно сохранить уровни и направленность связей. Алгоритм Sugiyama является стандартным примером для построения иерархических диаграмм [6];

- круговые алгоритмы располагают вершины по окружности, что особенно полезно для симметричных или циклических структур, обеспечивая визуальную однородность и снижение числа пересечений рёбер [6];

- многомасштабные алгоритмы предназначены для больших и разреженных графов, позволяя исследовать структуру на различных уровнях детализации, включая глобальные связи и локальные кластеры [6].

Методы визуализации графов нашли широкое применение в различных областях — от анализа социальных сетей до построения технологических радаров, где графовая структура используется для отображения взаимосвязей между технологиями, направлениями их развития и уровнями зрелости. В таких задачах визуализация выполняет не только информационную, но и аналитическую функцию, помогая выявлять взаимозависимости между технологическими областями и прогнозировать их эволюцию [1].

Инструменты визуализации графов

Практическая реализация описанных алгоритмов визуализации осуществляется в специализированных программных средствах, обеспечивающих построение и анализ графовых структур. Такие инструменты позволяют применять различные модели размещения вершин и рёбер, регулировать параметры отображения и исследовать взаимосвязи между элементами системы. Подобные решения широко используются как в академических исследованиях, так и в прикладных задачах, включая анализ сетевых данных, моделирование архитектурных зависимостей и визуализацию технологических радаров, где требуется наглядное представление взаимосвязей между технологиями [1]. Среди множества существующих инструментов особый интерес представляют два наиболее популярных программных решения — Graphviz и Gephi, реализующие разные подходы к визуализации графов.

Graphviz

Graphviz [2] представляет собой программный комплекс для автоматического построения графов, основанный на декларативном описании структуры на языке DOT. Он реализует алгоритмический подход к визуализации, при котором пользователь задаёт структуру и параметры графа, а программа автоматически формирует изображение.

Инструмент поддерживает несколько алгоритмов раскладки, включая Dot, Neato, Circo, Fdp и Sfdp, каждый из которых ориентирован на определённый тип графов. Dot используется для иерархических структур, Neato — для неориентированных графов, Circo – для круговых диаграмм, Fdp – аналогичен Neato, но минимизирует силу, а Sfdp — для больших и разреженных сетей. Генерируемые изображения сохраняются в форматах PNG, SVG или PDF, что делает Graphviz удобным средством для автоматизации отчётов, построения архитектурных схем и визуализации зависимостей.

Graphviz не предполагает интерактивного взаимодействия с пользователем и не предоставляет средств анализа данных. Его основное назначение заключается в воспроизводимой и точной генерации визуализаций на основе формальных описаний. Такой подход обеспечивает высокую степень автоматизации и стабильность результатов при повторных построениях.

Gephi

Gephi [3] является интерактивной системой визуализации и анализа графов с открытым исходным кодом, ориентированной на исследовательскую работу с сетевыми структурами. Программа сочетает функции построения графа, вычисления метрик центральности, кластеризации и фильтрации данных в едином интерфейсе.

В отличие от автоматических средств, Gephi предоставляет пользователю возможность изменять алгоритмы раскладки, настраивать параметры отображения, выделять отдельные группы вершин и анализировать динамику связей в реальном времени. Применение силовых моделей, таких как ForceAtlas2, позволяет создавать визуализации, близкие к естественному

восприятию структуры сети. Также в Gephi используются такие алгоритмы визуализации, как Yifan Hu и Fruchterman-Reingold.

Gephi поддерживает огромное количество форматов данных, например, GEXF, GraphML, CSV, GDF и многие другие.

Gephi активно используется в исследовательской практике, особенно в задачах анализа социальных сетей, информационных потоков, цитатных сетей и интернет-сообществ. Благодаря интерактивности и поддержке различных форматов данных, инструмент обеспечивает гибкость и наглядность анализа даже для больших графов.

Сравнительный анализ инструментов Graphviz и Gephi

Graphviz и Gephi отражают два различных подхода к визуализации графов. Первый реализует полностью автоматическую схему построения изображений, ориентированную на точность и воспроизводимость. Второй предполагает активное участие исследователя, предоставляя возможность изучать граф в интерактивном режиме и давая больше возможностей для пользователя.

Graphviz обеспечивает строгую алгоритмическую обработку данных, что делает его предпочтительным в инженерных и документальных задачах, где требуется стабильное воспроизведение схем. Gephi, напротив, ориентирован на аналитическую работу, позволяя исследователю выявлять закономерности и аномалии в структуре сети посредством визуального взаимодействия.

Автоматизация Graphviz ограничивает возможности динамического анализа, но гарантирует чёткую и предсказуемую структуру изображений. Gephi, напротив, предоставляет широкий инструментарий для анализа, включая вычисление степеней связности, определение центральности и выделение сообществ, но при этом требует больших вычислительных ресурсов и пользовательского участия.

Таким образом, оба инструмента занимают важные, но разные ниши. Graphviz эффективен при формировании визуальных отчётов и диаграмм в

рамках алгоритмических систем, а Gephi — при исследовании и интерпретации сложных сетевых структур.

Заключение

Визуализация графов представляет собой ключевой элемент анализа сетевых данных. Она позволяет не только создавать наглядные изображения, но и показывать скрытые закономерности и взаимосвязи. Современные инструменты предлагают разные подходы к решению этой задачи: автоматизированный, основанный на алгоритмических раскладках, и интерактивно-аналитический, предполагающий участие исследователя в процессе анализа.

В статье были проанализированы возможности Graphviz и Gephi. Первый демонстрирует строгость и автоматизацию визуализации, второй — гибкость и исследовательскую направленность. Их сравнение показывает, что выбор инструмента зависит от целей исследования. Если нужна автоматизация и воспроизводимость, то стоит выбрать Graphviz, а если интерактивность и анализ, то Gephi.

Для эффективной программной реализации конструктора технологического радар наиболее рациональным является применение Graphviz, поскольку он обеспечивает автоматическое построение структурных схем и позволяет формировать воспроизводимые результаты при интеграции с программными модулями анализа данных.

Библиографический список

1. Graph Visualization: Alternative Models Inspired by Bioinformatics // Sensors. - 2023. - №23(7). – URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/7/3747> (дата обращения: 22.10.2025)
2. Документация Gephi. – URL: <https://docs.gephi.org/desktop/> (дата обращения: 22.10.2025).
3. Документация Graphviz. – URL: <https://graphviz.org/docs/layouts/> (дата обращения: 22.10.2025).
4. Касьянов В., Касьянова Е. Визуализация информации на основе графовых моделей // Научная визуализация. – 2014. – №1. – с. 31-50.
5. Кудрявцева Т.Г. Визуализация графовых моделей на основе анализа топологии графов. Труды Международной научно-технической конференции ПИТ 2018. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2018. – С. 107-110.
6. Русаков А. М. Современные средства визуализации графов и графовых моделей // Наукосфера, 2022, №11-2, с. 258-267.

Крайнов Кирилл Алексеевич - студент ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»,
krainov.2003@yandex.ru.

Kraynov Kirill Alekseevich - student at BMSTU STANKIN,
krainov.2003@yandex.ru.

Зинченко Людмила Анатольевна - д.т.н., профессор, МГТУ им. Н. Э. Баумана,
ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», lyudmilazinchenko@yandex.ru.

Zinchenko Lyudmila Anatolyevna Doctor of Engineering, Professor, Bauman
Moscow State Technical University, lyudmilazinchenko@yandex.ru.

Тарапанова Елена Александровна - кандидат наук, доцент кафедры ИУ10
«Защита информации», МГТУ им. Н. Э. Баумана, myspb@internet.ru

Tarapanova Elena Aleksandrovna PhD, Associate Professor, Department of
Information Security, Bauman Moscow State Technical University, myspb@internet.ru

УДК: 338.262

Кудряшов С.А., Червяков Л.М., Еленев К.С.

Kudryashov S.A., Chervyakov L.M., Elenev K.S.

Анализ реализации подведомственными Минобрнауки России организациями НИОКР по тематикам в области станкоинструментальной промышленности за период с 2014 по 2024 г.

Analysis of the implementation of research and development activities by organizations subordinate to the Ministry of Education and Science of Russia in the field of the machine tool industry for the period from 2014 to 2024

В рамках данной работы рассматривается выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ организациями, входящими в ведомственную сеть Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, по направлениям, связанным со станкостроением и производством инструмента, в промежутке с 2014 по 2024 год.

Главная задача исследования – проведение анализа накопленного научно-технического потенциала в рамках завершённых и текущих проектов по направлениям.

Проведённая работа направлена на выявление наиболее перспективных технологических разработок в указанной сфере, которые в дальнейшем могут быть масштабированы в рамках государственной инициативы «Технологическое лидерство» в части подпрограммы «Производственные средства и системы автоматизации».

В числе конкретных целей анализа — определить возможности практического применения для станкостроительного комплекса результатов выполненных НИР и НИОКР, а также выявить научные коллективы, обладающие профильными компетенциями для решения отраслевых задач в рассматриваемый период.

This work examines the implementation of research and development work by organizations within the departmental network of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in areas related to machine tool construction and tool manufacturing between 2014 and 2024.

The main objective of the research is to analyze the accumulated scientific and technical potential within the framework of completed and ongoing projects in the following areas.

The work carried out is aimed at identifying the most promising technological developments in this area, which can be further scaled up within the framework of the state initiative «Technological Leadership» in terms of the subprogram «Production facilities and automation systems».

Among the specific objectives of the analysis is to identify the possibilities of practical application for the machine tool industry of the results of research and development, as well as to identify research teams with specialized competencies to solve industry problems in the period under review.

Ключевые слова: станкоинструментальная промышленность, технологическое развитие, станкостроение, прогноз развития отрасли, технологии, НИР, НИОКР, технологическое лидерство

Keywords: machine tool industry, technological development, machine tool manufacturing, industry development forecast, technology, research and development, technological leadership

Введение. В рамках национального проекта технологического лидерства «Средства производства и автоматизации» особое внимание уделяется проведению НИР и НИОКР в целях обеспечения технологического лидерства Российской Федерации в области станкостроения [1].

Станкоинструментальная отрасль является фундаментальной отраслью машиностроения, обеспечивающей все отрасли промышленности средствами производства. Обеспечение лидерства в станкостроении является основой обеспечения технологической безопасности и суверенитета России. [2] При этом

исследования технологий и организация опытно-конструкторских работ в отрасли являются основополагающими для достижения целей, стоящих перед современным производством.

В период с 2014 по 2024 годы организациями, подведомственными Минобрнауки России были проведены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, направленные на развитие отраслевых технологий. Анализ научных заделов в различных отраслевых технологических направлениях позволит оценить научный потенциал отрасли для формирования повестки научно-технологических работ в отрасли.

Основные направления разработок, выполненных НИР и НИОКР

Ключевым объектом исследования стали данные о проектах в сфере научных изысканий (НИР) и комплексных научно-технических разработок (НИОКР), реализованных научными организациями в системе Минобрнауки России. Финансирование этих инициатив обеспечивалось за счет существующих и ранее применявшихся ведомством инструментов грантовой и программной поддержки исследовательской деятельности.

Методология оценки проектов базировалась на их отнесении к фундаментальным сегментам станкоинструментальной сферы [3]. В качестве базовых сегментов были определены:

- технологические процессы производства;
- промышленные технологические комплексы и системы;
- конструкционные материалы и металлические сплавы.

Каждое из выделенных направлений было детализировано через три специализированных тематических вектора. Полная структура областей и соответствующих им направлений исследований систематизирована в таблице 1.

Таблица 1

Состав областей и направлений разработок станкоинструментальной отрасли

Группа	Подгруппа/ Область	Направление
А	Производственные технологии	
	A1	Технологии высокой точности
	A2	Технологии высокой производительности
	A3	Новые технологические принципы и физические эффекты
В	Промышленные технологические системы и комплексы	
	B1	Многофункциональное обрабатывающее оборудование
	B2	Перспективные автоматизированные технологические системы и комплексы
	B3	Управление технологическим оборудованием и контрольно-измерительные комплексы
С	Материалы и сплавы	
	C1	Новые конструкционные материалы
	C2	Высокоэффективные инструментальные материалы
	C3	Технологии производства новых материалов

С целью общей оценки степени принадлежности проектов к тем или иным направлениям был проведен семантический анализ всей совокупности выполненных проектов (НИР, НИОКР) и топологии содержания тем проектов. Результаты анализа представлены на рисунках 1, 2 и 3.

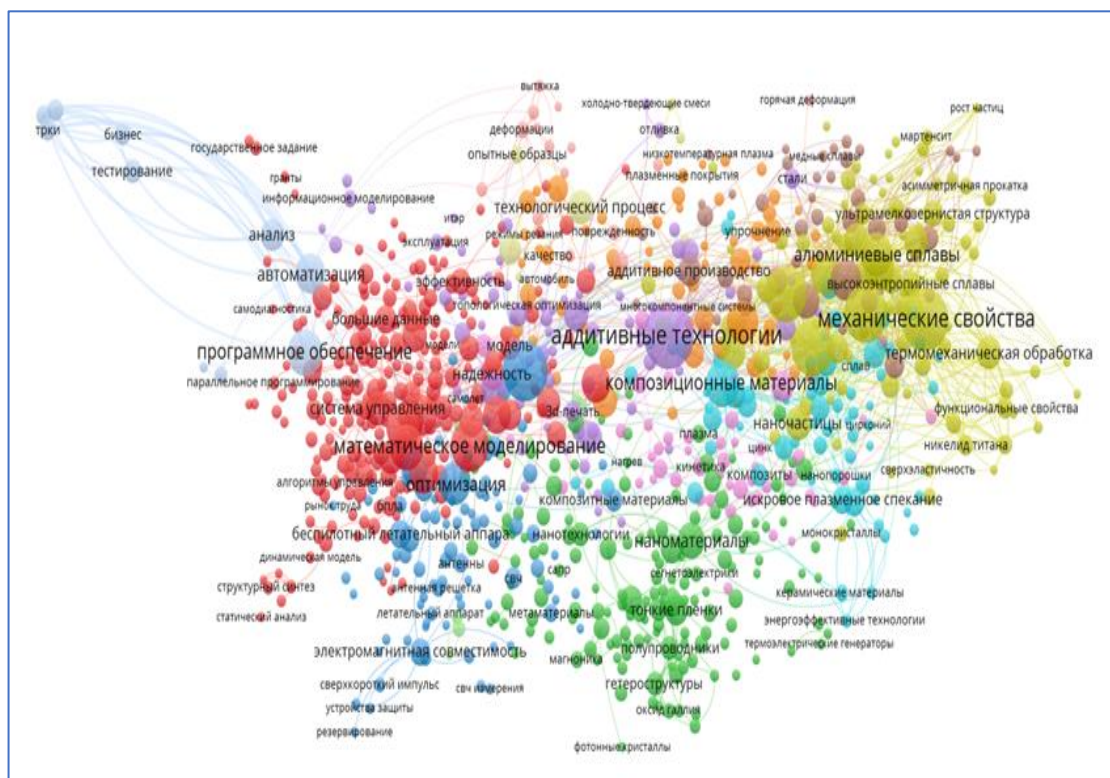


Рис. 1. Семантическая диаграмма тем выполненных проектов

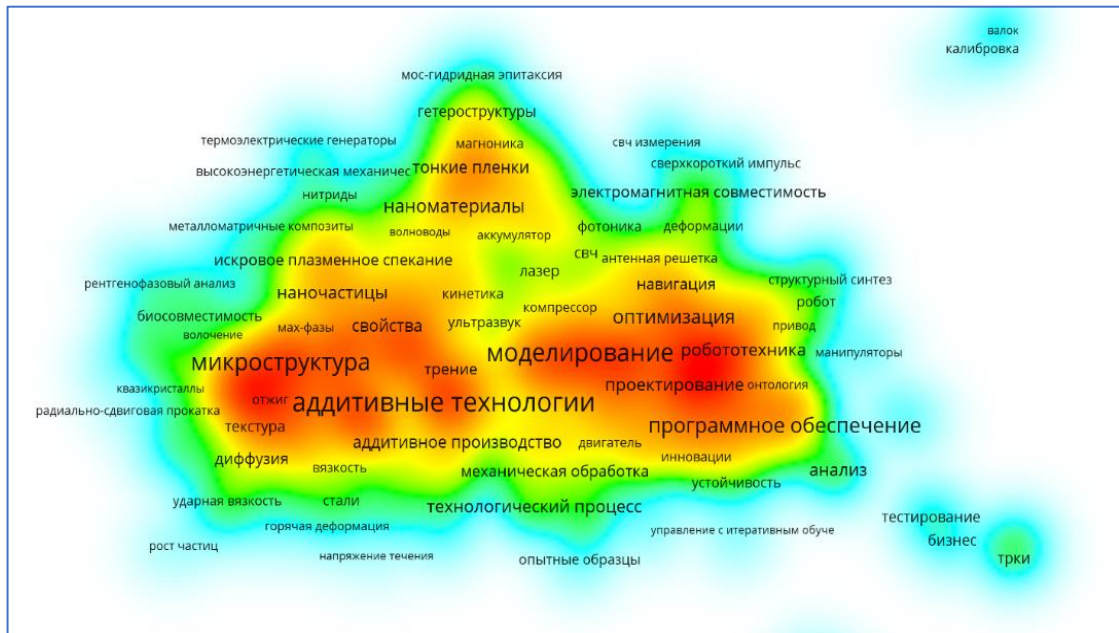


Рис. 2. Топология содержания тем выполненных проектов

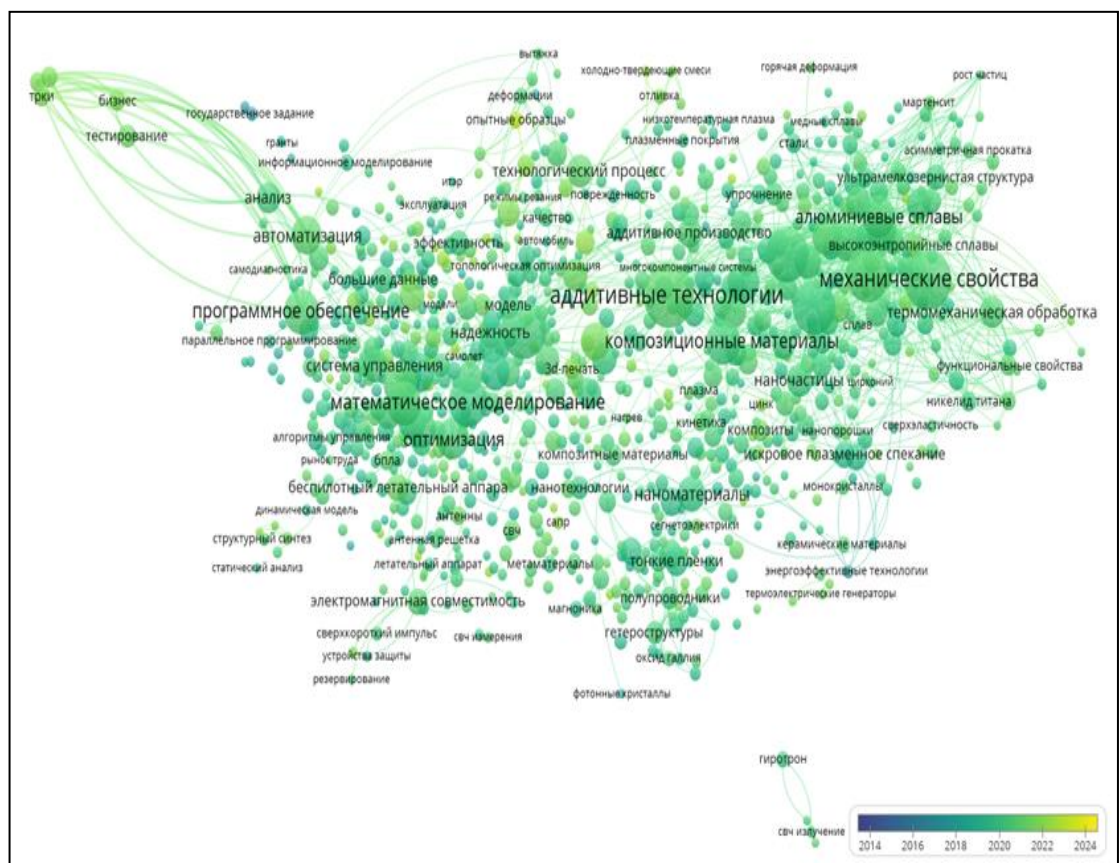


Рис. 3. Диаграмма динамики тем выполненных проектов

Результаты семантического, топологического и динамического изучения всей совокупности реализованных проектов свидетельствуют о следующих закономерностях:

1) Основной массив отраслевых инициатив сосредоточен вокруг внедрения и исследования методов аддитивного производства, а также изучения структурных изменений материалов на микроуровне после различных видов обработки;

2) Отдельный пласт работ посвящен анализу эксплуатационных характеристик материалов, выполнению прочностных расчетов и созданию композитных материалов с заданными свойствами;

3) Существенный блок проектной деятельности охватывает цифровое моделирование технологических операций, совершенствование их параметров и создание специализированного программного обеспечения;

4) Внимание, уделяемое исследованиям в области наноматериалов, разработке технологических решений для различных производственных задач, а также к изучению методов механической обработки недостаточно, несмотря на их ключевое значение для станкостроительного комплекса;

5) Большинство отраслевых проектов выполнялось в период с 2019 по 2021 годы, а 2022 года по настоящее время количество отраслевых проектов снижается.

Основные направления разработок, выполненных в рамках ФЦП

В основу исследования легли данные о научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, выполненных организациями системы Минобрнауки России в рамках федеральных целевых программ. Выборку составили 207 проектов, реализованных в период 2014-2024 гг., соответствующих заданной тематике по классификации ГРНТИ.

Для определения тематической направленности проектов применялись методы семантического анализа и построения тематических карт. Результаты визуализированы на семантической диаграмме (рис. 4) и карте топологии тематик (рис. 5). Динамика тематической направленности проектов в разрезе лет отражена на семантической диаграмме (рис. 6)

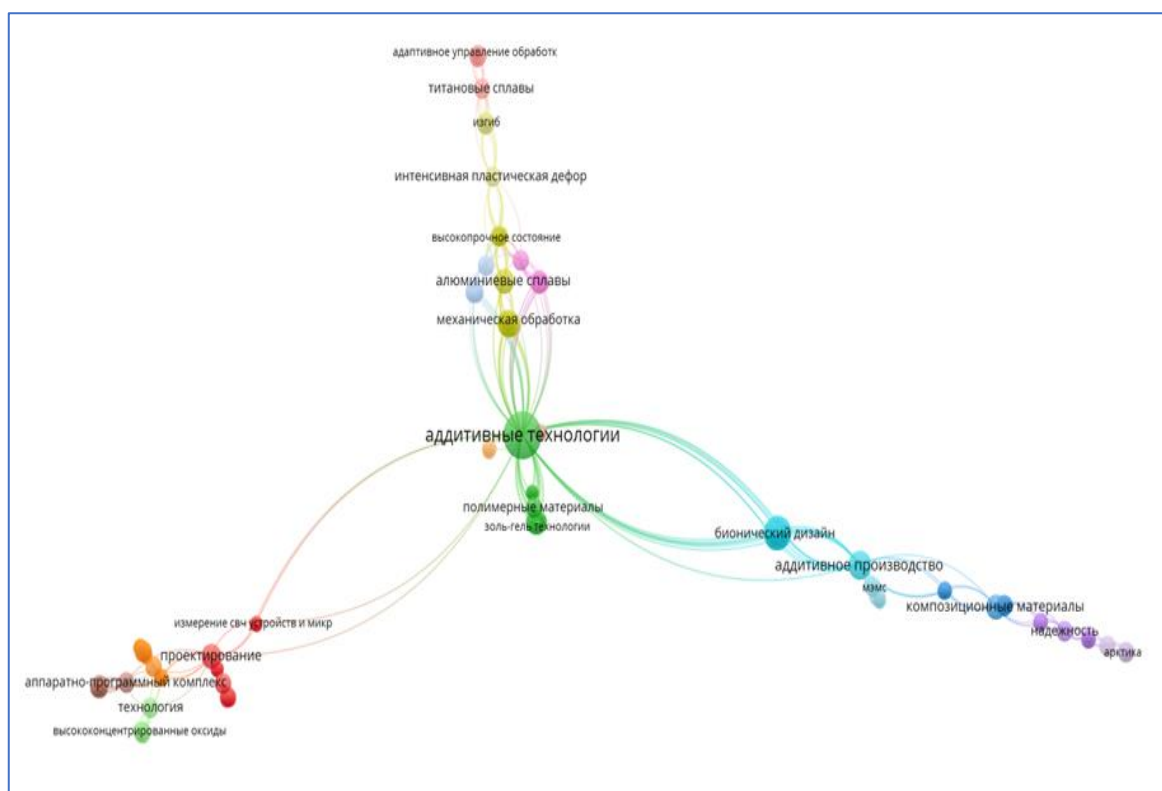


Рис.4. Семантическая диаграмма тем совокупности выполненных проектов в рамках ФЦП

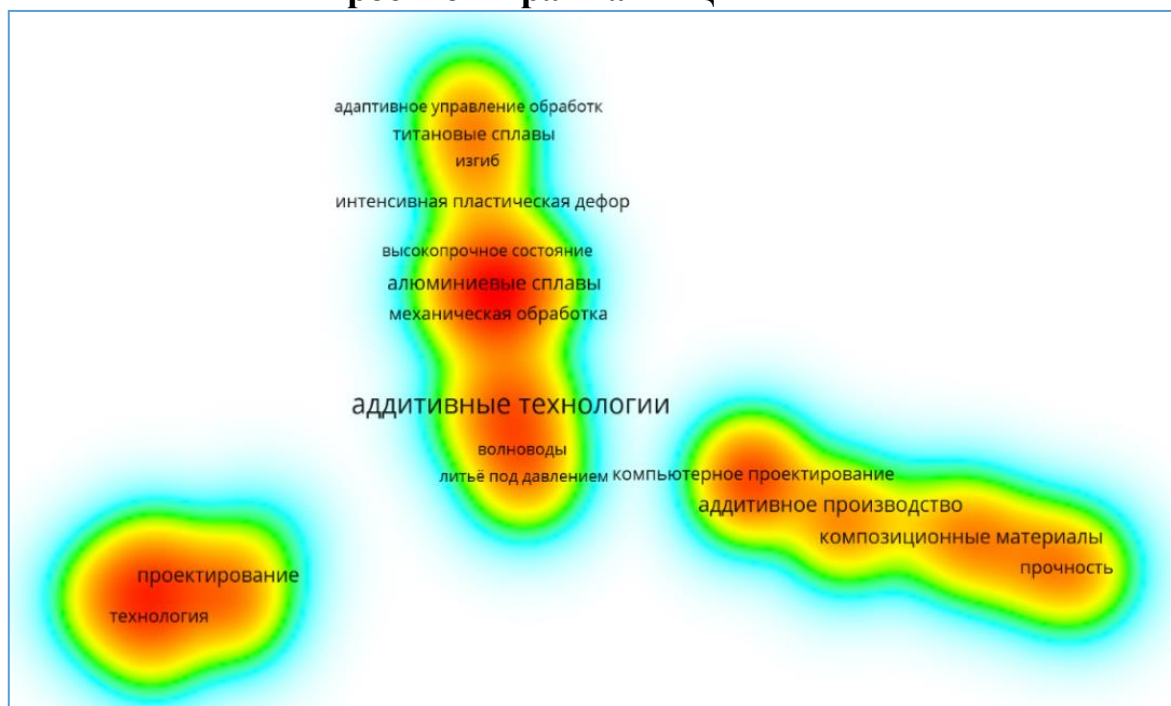


Рис.5. Топология содержания тем совокупности выполненных проектов в рамках ФЦП

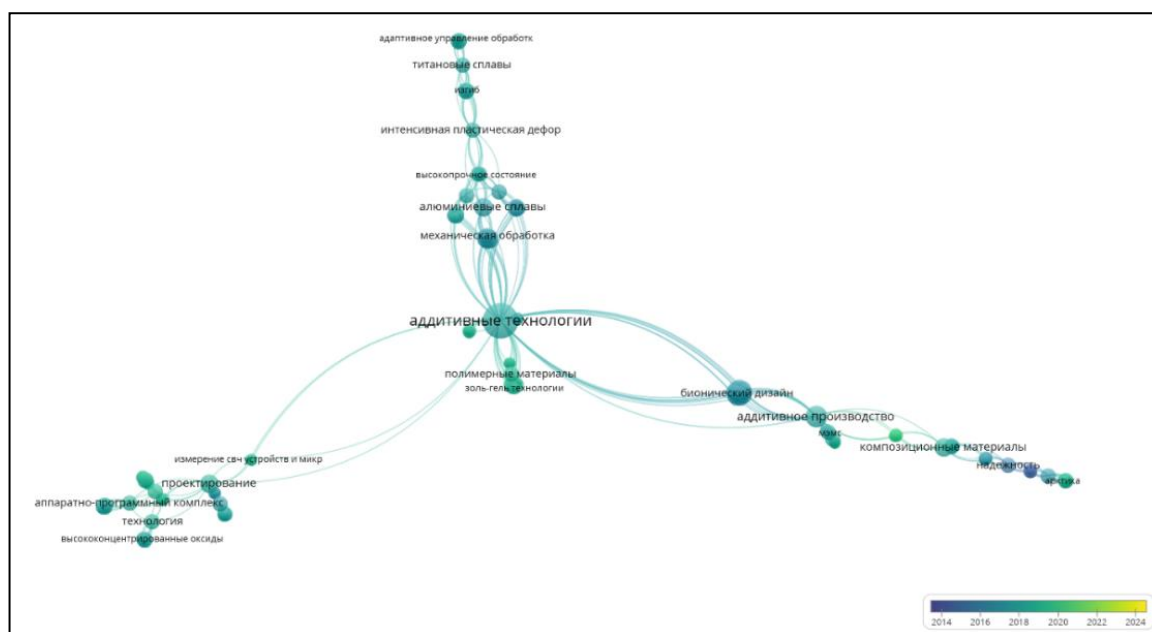


Рис. 6. Семантическая диаграмма динамики тем совокупности выполненных проектов в рамках ФЦП

Анализ показал следующие тематические приоритеты и их распределение во времени:

- 1) Основная часть исследований сконцентрирована в области аддитивного производства и разработки композитных материалов;
- 2) Аддитивные технологии преимущественно ориентированы на работу с полимерными материалами и композитами;
- 3) Значительно меньше внимания уделено традиционной механической обработке, работе с высокопрочными материалами и легкими сплавами;
- 4) Количество отраслевых проектов в 2014-2018 гг. незначительно, пик активности приходится на 2019-2021 гг., а начиная с 2022 года по настоящее время активность проведения исследований снижается.

Основные направления разработок, выполненных в рамках государственного задания (ГЗ)

В рамках исследования проанализированы 1395 проектов, выполненных научными организациями системы Минобрнауки России в период с 2014 по 2024 год в рамках ГЗ. Для определения тематической направленности также использовались методы семантического анализа и построения тематических карт (рис. 7, 8, 9).

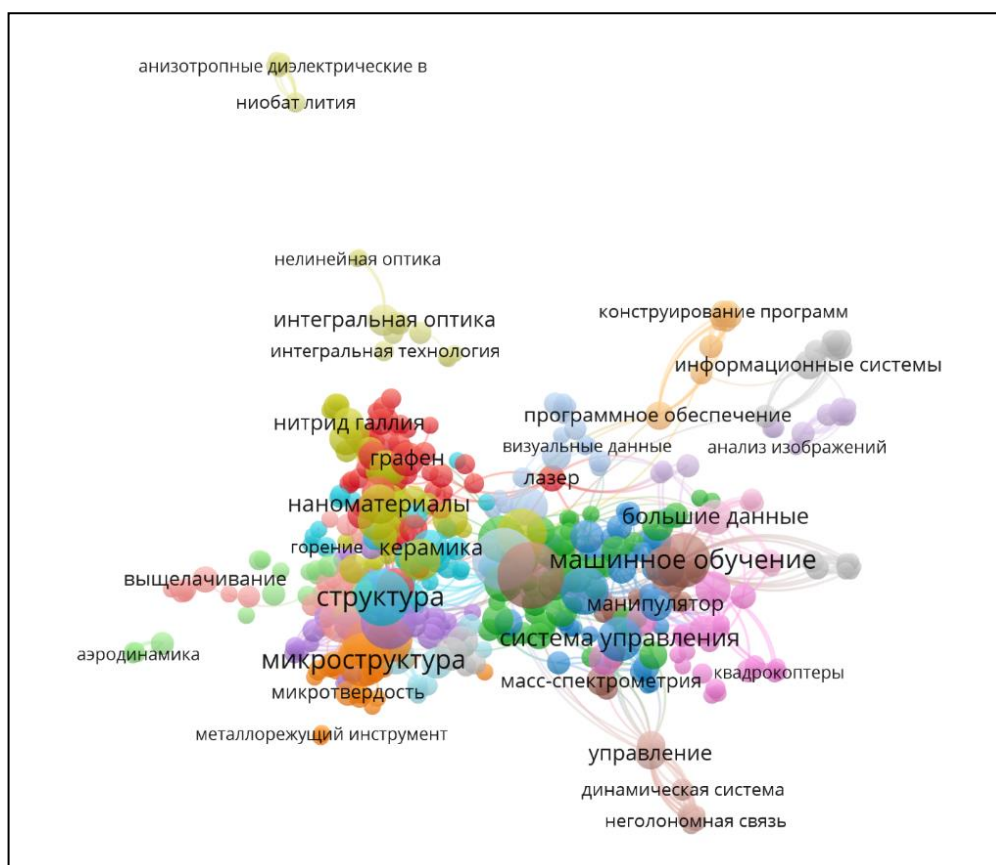


Рис. 7. Семантическая диаграмма тем совокупности выполненных проектов в рамках ГЗ

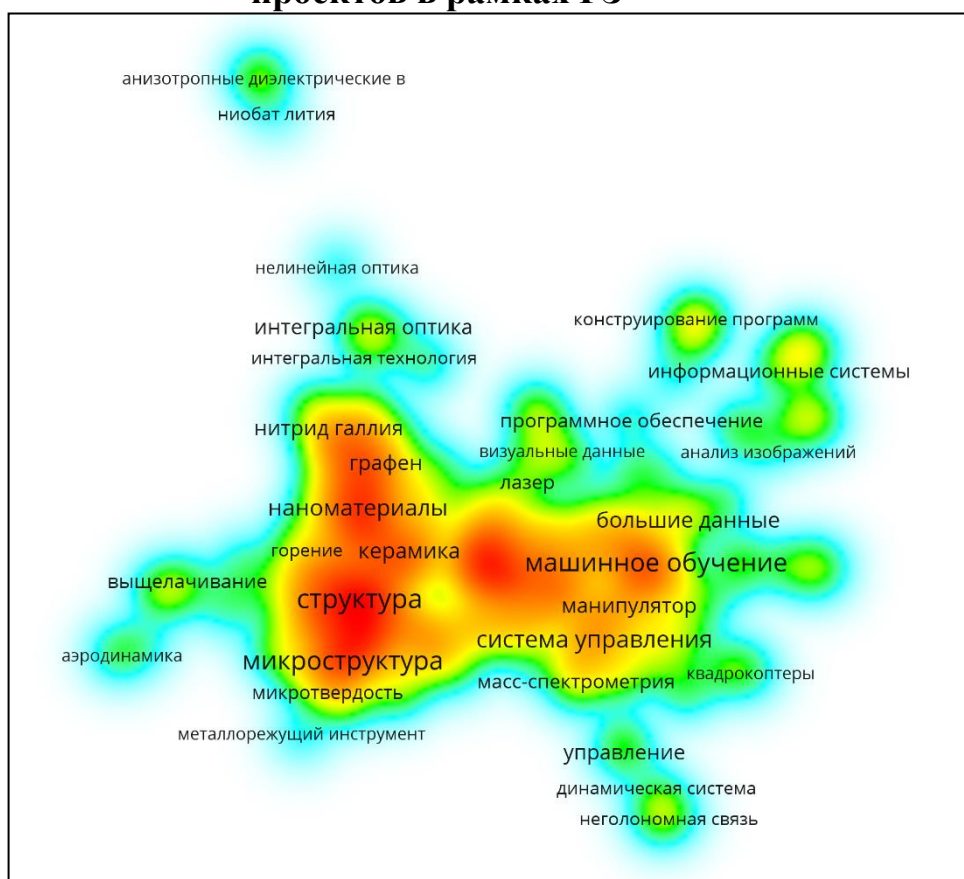


Рис. 8. Топология содержания тем совокупности выполненных проектов в рамках ГЗ

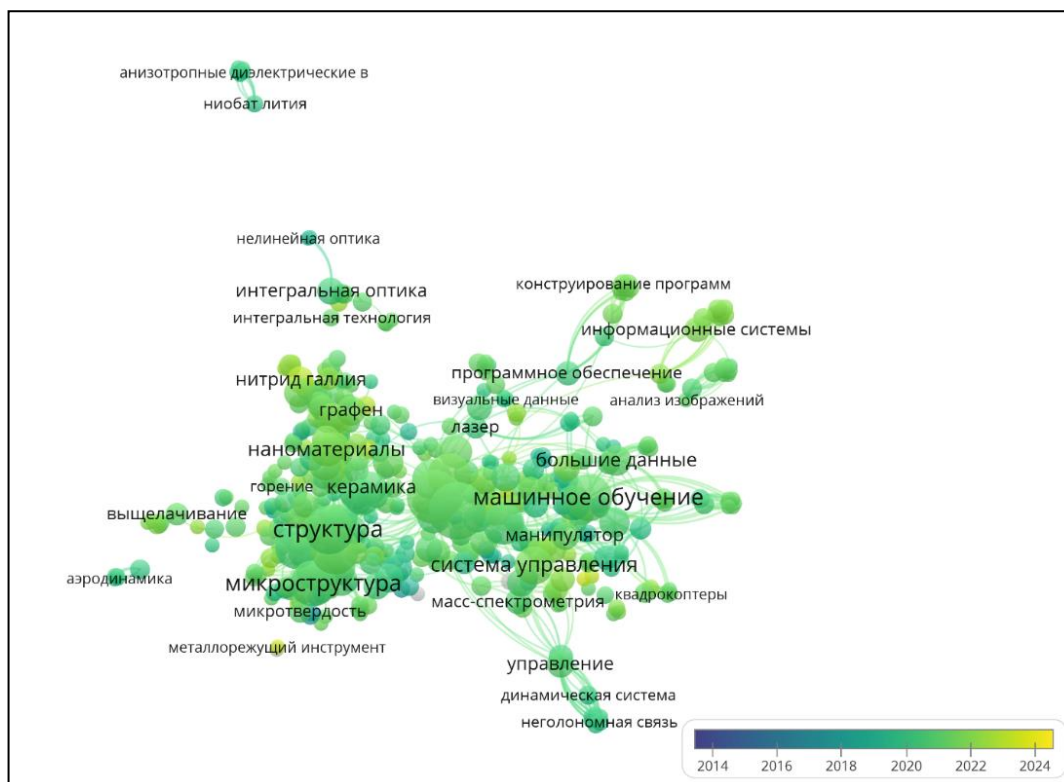


Рис. 9. Семантическая диаграмма динамики тем совокупности выполненных проектов в рамках ГЗ

Проведенный анализ выявил тематические кластеры исследований и динамику их реализации. Результаты анализа позволяют сделать следующие выводы:

- 1) Основная концентрация проектов наблюдается в области изучения микроструктур материалов, создания систем управления, технологий машинного обучения и анализа больших данных;
- 2) Исследования микроструктур преимущественно связаны с наноматериалами, графеновыми структурами и нитридными соединениями;
- 3) Меньшее внимание уделено разработке металлорежущего инструмента - ключевого элемента отраслевых технологий, а также изучению физико-механических характеристик материалов;
- 4) Количество профильных проектов в 2014-2018 гг. незначительно;
- 5) Активная фаза реализации проектов приходится на 2019-2021 гг., а начиная с 2022 года объем исследований снижается, за исключением работ в области промышленной робототехники и создания металлорежущего инструмента.

Общий анализ тем научно-исследовательских проектов

В фокус исследования попали 377 перспективных отраслевых проектов НИР и НИОКР, заявленных подведомственными организациями Минобрнауки России с плановыми сроками реализации в период с 2020 по 2028 годы. Классификация проектов выполнена с применением методов семантического анализа и построения тематических карт (рис. 10, 11, 12).

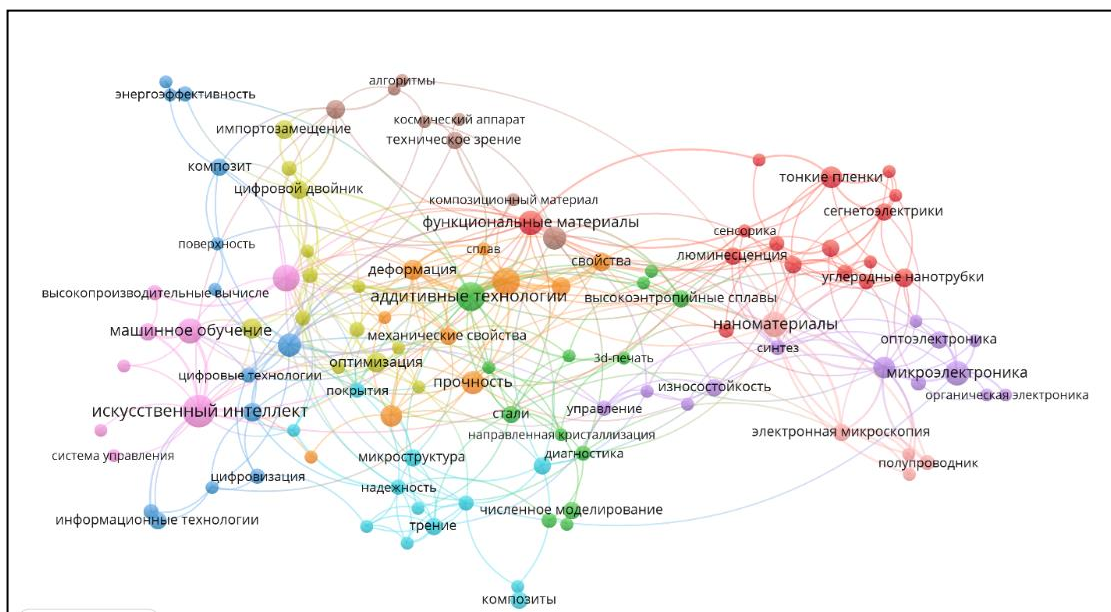


Рис.10. Семантическая диаграмма тем совокупности предложенных проектов

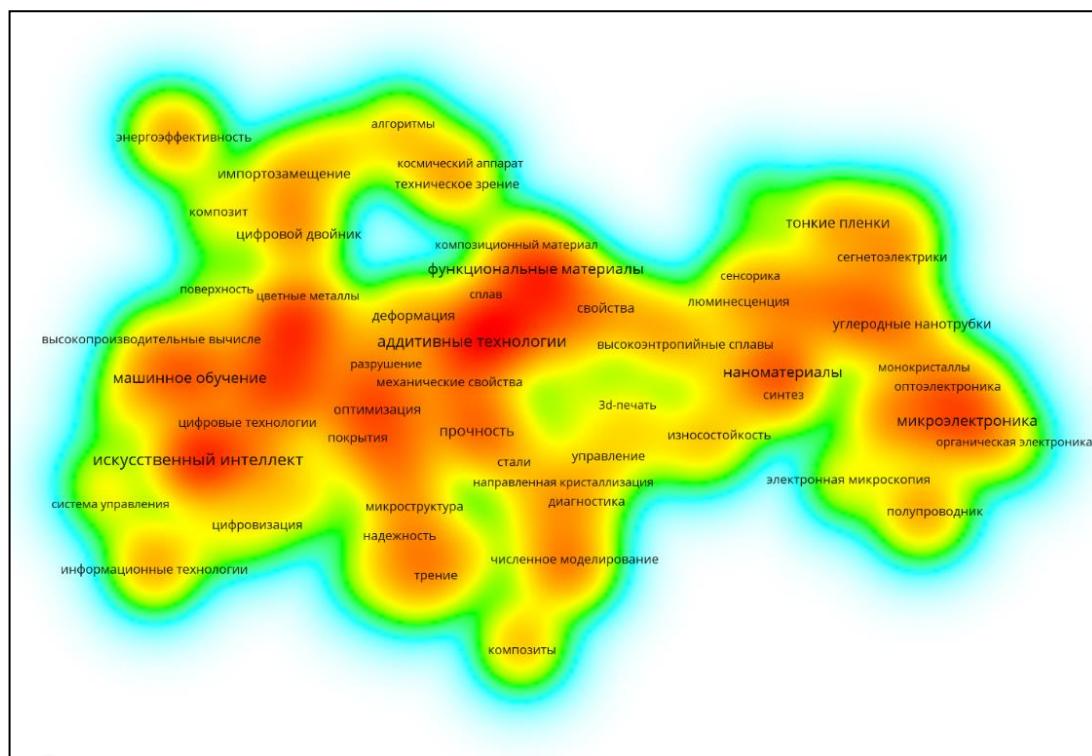


Рис.11. Топология содержания тем совокупности предложенных проектов

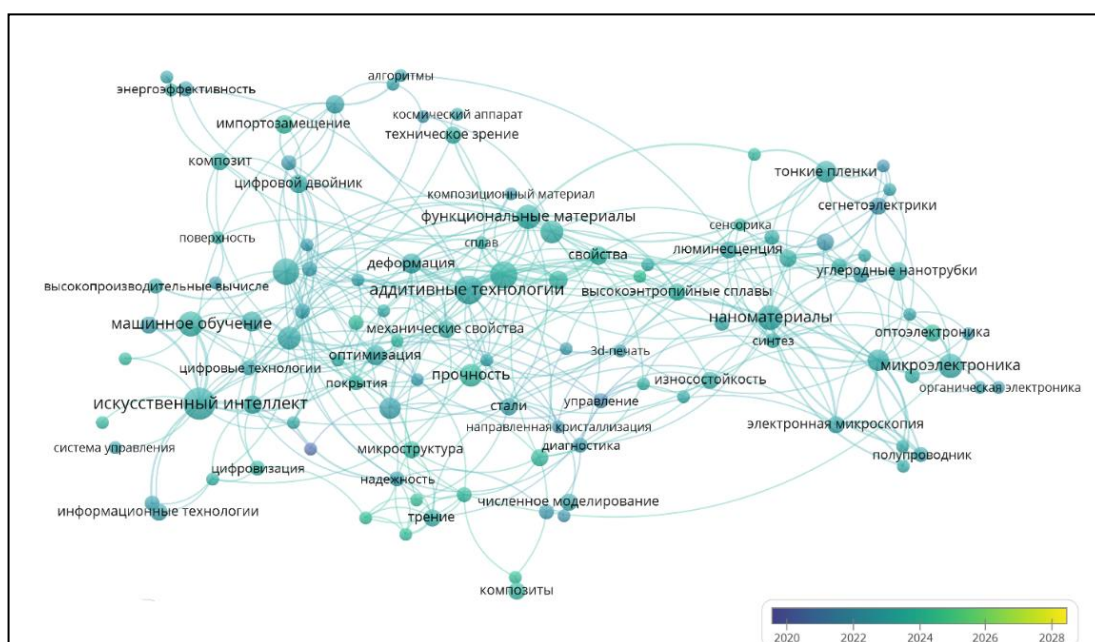


Рис.12. Семантическая диаграмма динамики тем совокупности предложенных проектов

Проведенный семантический и топологический анализ всей совокупности выполненных и текущих проектов позволил сделать следующие выводы:

- 1) Доминирующие направления включают развитие аддитивных технологий, создание наноматериалов и функциональных материалов, внедрение искусственного интеллекта и микроэлектронных решений
- 2) Менее представлены исследования, ориентированные на повышение надежности производственных систем, изучение механических характеристик материалов и цифровую трансформацию производственных процессов
- 3) У части проектов, запущенных в 2020-2022 гг. имеется отраслевая направленность.
- 4) В проектах, инициированных в 2023-2024 гг., сложившиеся тематические тенденции сохраняются.

Заключение

По результатам комплексного изучения выполненных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ можно сформулировать следующие выводы:

- 1) Ключевыми сегментами развития станкоинструментальной отрасли определены:
 - а. Совершенствование производственных технологий (прецизионная обработка, высокопроизводительные методы, инновационные технологические принципы)
 - б. Развитие промышленных технологических систем (многофункциональное оборудование, автоматизированные комплексы, системы управления и контроля)
 - с. Создание новых материалов (конструкционные и инструментальные материалы, передовые технологии их производства)
- 2) Научно-техническая деятельность преимущественно сосредоточена на развитии аддитивных технологий и исследовании микроструктурных изменений материалов после различных видов обработки, с особым вниманием к наноматериалам, графену и нитридным соединениям.

3) Аддитивное производство в основном ориентировано на создание изделий из полимерных композиций.

4) Значительный объем исследований посвящен механическим характеристикам материалов, прочностным расчетам и разработке композитных материалов.

5) Существенная часть работ связана с компьютерным моделированием технологических процессов, их оптимизацией и созданием специализированного программного обеспечения, включая системы управления и решения в области анализа данных.

6) Наблюдается недостаточное внимание к исследованиям в области наноматериалов, разработке технологических процессов, изучению методов механической обработки, созданию металлорежущего инструмента и исследованию физико-механических свойств материалов, включая обработку труднодеформируемых сплавов и легких металлов.

7) За период 2014-2018 гг. отраслевая проектная активность находилась на низком уровне, пик пришелся на 2019-2021 гг., тогда как с 2022 года отмечается устойчивая отрицательная динамика количества профильных проектов.

Библиографический список

1. Национальный проект «Средства производства и автоматизации.». Правительство Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/928/about/> (дата обращения: 19.10.2025).
2. Малкова, Т. Б. Стратегический контекст развития станкостроения в Российской Федерации / Т. Б. Малкова, К. С. Еленев // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 9. – С. 3329-3346. – DOI 10.18334/erpp.13.9.119201
3. Малкова, Т. Б. Методические подходы к оценке проектов по обеспечению технологического суверенитета предприятий станкоинструментальной отрасли страны / Т. Б. Малкова, Ю. Я. Еленева, К. С.

Еленев // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 11. – С. 5045-5062. – DOI 10.18334/epp.13.11.119754

Кудряшов Сергей Александрович - директор Центра стратегического планирования ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 7683895@mail.ru

Kudryashov Sergey Aleksandrovich - Director of the Center for Strategic Planning MSTU STANKIN, 7683895@mail.ru

Червяков Леонид Михайлович - д.т.н., профессор, ФГАУН «Институт конструкторско-технологической информатики РАН», chlm@mail.ru

Chervyakov Leonid Mikhailovich - Doctor of Engineering, Professor, Institute of Design and Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences, chlm@mail.ru

Еленев Константин Сергеевич - к.э.н., доцент, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», директор Департамента стратегического развития, elenev@bk.ru

Elenev Konstantin Sergeevich - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, MSTU STANKIN, Director of the Department of Strategic Development, elenev@bk.ru

УДК 004.056

Лесничук Д.В., Попов Д.В.

Lesnichuk D.V., Popov D.V.

Информационная безопасность как значимый фактор при совершенствовании системы управления образовательной организации в условиях цифровой трансформации

Information security as a significant factor in improving the management system of an educational organization in the context of digital transformation

В данной статье рассматриваются вопросы цифровой трансформации и повышения эффективности управления в организациях через применение процессного подхода. Были выделены атрибуты ключевых бизнес-процессов внутри организации с использованием цикла PDCA, на примере выбранных процессов продемонстрировано как можно систематизировать их этапы и выделить какие атрибуты являются наиболее эффективными для автоматизации. Представлены выводы о том, что переход от архаичности к системе, основанной на процессном подходе, обеспечивает прозрачность и операционную эффективность.

This article discusses the issues of digital transformation and improving management efficiency in organizations through the use of a process approach. The attributes of key business processes within an organization using the PDCA cycle were identified. Using the example of selected processes, it was demonstrated how to systematize their stages and identify which attributes are most effective for automation. The conclusions are presented that the transition from archaism to a system based on a process approach ensures transparency and operational efficiency.

Ключевые слова: цифровая трансформация, информационная безопасность, эффективность, безопасность, процессный подход, бизнес-процесс, процесс, риски.

Keywords: digital transformation, information security, efficiency, security, process approach, business process, process, risks.

В период цифровой трансформации многие организации подвергаются изменениям, каждая подобная трансформация возможна лишь в компаниях с четко определенной структурой. Итогом цифровой трансформации в таком случае будет модель управления, которая благодаря большому вниманию на изучение и подробное описание имеющихся процессов станет наиболее структурной и системной.

Не все процессы требуют автоматизации, так же не всегда у организации есть ресурсы для модернизации каждого из них. Дополнительной трудностью является и определение конкретного бизнес-процесса, который будет подвержен изменениям. Стоит автоматизировать атрибуты внутри процессов, которые встречаются в структуре организации чаще всего, так как это поможет снизить влияние человеческого фактора, сократить длительность процесса и позволит избежать системных ошибок.

Определение данных атрибутов, подвластных автоматизации, является непростой задачей в силу того, что взаимосвязь данных «контрольных точек» процесса и частота их использования внутри организации – это данные, которые не лежат на поверхности и «открываются» только после подробного анализа исследуемых областей и процессов в них.

Процесс в свою очередь является алгоритмом действий, который имеет начало, конец и промежуточные точки. При недостаточном понимании алгоритма появляется ряд рисков, таких как:

1. Человеческий фактор
2. Задвоение информации
3. Возникновение «узких мест» (точек, в пределах которых на регулярной основе случаются ошибки)

Как следствие рисков, возникают ситуации, оказывающие влияние на результат работы:

1. Увеличение длительности процесса
2. Удорожание
3. Систематические ошибки
4. Сбои в системе

Управление организацией, представленное в виде системы, можно описать с помощью процессного подхода. Применение процессного подхода поможет уловить взаимосвязь и влияние различных процессов друг на друга.

Внутри каждого процесса находятся атрибуты, а сам процесс можно представить в виде цикла PDCA (Plan, Do, Check, Action). Далее некоторые процессы будут подробно разобраны на атрибуты, которые в свою очередь принадлежат разным этапам цикла.

В качестве примера возьмем следующие процессы:

- 1) Составление Плана ФХД
- 2) Закупка
- 3) Проведение служебной проверки

Разберем более подробно процесс «Составление плана ФХД»

Сгруппируем атрибуты по следующим категориям: «План», «Исполнение», «Проверка» и «Действие».

1. Атрибуты категории «План»:
 - 1) План университета
 - 2) Потребности Университета
 - 3) План/Потребности структурных подразделений
 - 4) ПЭУ
 - 5) Должностная инструкция
2. Атрибуты категории «Исполнение»:
 - 1) Формирование сводного план
 - 2) Согласование плана
 - 3) Утверждение плана

- 4) Закупка для удовлетворения потребностей
- 3. Атрибуты категории «Проверка»:
 - 1) Служебные записки
 - 2) Доклады/Отчеты руководителей подразделений
- 4. Атрибуты категории «Действие»:
 - 1) Предложение по улучшениям проведения процесса на следующий год
 - 2) Комитет по улучшению процесса

Разберем более подробно процесс «Закупка»

- 1. Атрибуты в категории «План»:
 - 1) План университета
 - 2) План ФХД
 - 3) План структурного подразделения
 - 4) Должностная инструкция
 - 5) Штатное расписание
 - 6) ПЭУ и приказ о потребности
 - 7) Положение о закупке
 - 8) Регулирующая документация
 - 9) Техническое задание (ТРУ)
- 2. Атрибуты в категории «Исполнение»:
 - 1) Создание карточки закупки (КП, НМЦК и тд, согласно ФЗ 223)
 - 2) ОП1 (УВКЭБиПК, УБУиФК, УЗД, ПЭУ) – согласование
 - 3) Согласование ОП1 ректором
 - 4) Выбор поставщика
 - 5) Оформление шаблона договора и подписание
 - 6) ОП2 (ЮО, УБУиФК, ПЭУ, УЗД) – согласование
 - 7) Исполнение в УЗД
 - 8) Оформление закрывающих документов (Акт – приемки, товарная накладная, УПД и тд)
- 3. Атрибуты в категории «Проверка»:

- 1) Контроль исполнения контракта
- 2) Проверка качества исполняемых услуг/поставляемого товара
4. Атрибуты в категории «Действия»:

- 1) Предложение по улучшениям проведения процесса в будущем в формате служебной записки

Разберем более подробно процесс «Служебная проверка»

1. Атрибуты в категории «План»:

- 1) Инструкция об организации служебных проверок
- 2) Должностная инструкция
- 3) Штатное расписание
- 4) Приказ ректора о проведении служебной проверки

2. Атрибуты в категории «Исполнение»:

- 1) Заявление работника о нарушении
- 2) Определение комиссии для проведения служебной проверки
- 3) Проведение непосредственной проверки
- 4) Объяснительная записка от предполагаемого нарушителя

- 5) Вынесение решения по проверке (заключение), предложения по дисциплинарным взысканиям, если комиссия приняла решение о виновности работника.

3. Атрибуты в категории «Проверка»:

- 1) Приказ о применении дисциплинарного взыскания

4. Атрибуты в категории «Действие»:

- 1) В заключении рекомендации предупредительно-профилактического характера

- 2) Предложения о мерах по устранению причин и условий, способствующих совершению поступка

Подробно изучив этапы каждого процесса, можно отметить атрибуты, встречающиеся чаще всего.

Так, описав несколько процессов внутри одного подразделения и разделив их по методу PDCA, можно выделить основные атрибуты, оказывающие влияние на большее количество процессов. На основе данного примера можно заметить, что Должностная инструкция и Штатное расписание фигурируют в большинстве процессов и требуют наибольшей точности исполнения и детализированного описания процесса, во избежание неточностей. Так же можно выделить, какой из этапов цикла PDCA является наиболее значимым для подразделения.

Выделив наиболее часто встречающиеся атрибуты внутри процессов, можно перейти к их автоматизации, предварительно сделав процесс максимально точным и эффективным в исполнении. Это сократит время, затраченное на процесс и влияние человеческого фактора.

Чем больше процессов внутри организации описано, тем более структурной и системной может стать модель управления.

К данному подходу можно применить систему ранжирования процессов, так как описание всех бизнес-процессов внутри организации требует большого количества ресурсов. Ранжировать стоит от самого запущенного (проблематичного) процесса, к наименее проблематичным.

На рисунке можно увидеть, что каждому атрибуту присвоены параметры ПАР:

П – прозрачность

А – автоматизация

Р – риски

Они указывают, какие элементы свойственны тем или иным атрибутам.

Таким образом, можно заметить, что многие атрибуты можно автоматизировать и перевести в цифровую среду, повысив тем самым уровень цифровизации организации, что свойственно при цифровой трансформации.

Так же на рисунке выделено два вектора:

- Уровень цифровизации
- Уровень информационной безопасности

Каждый вектор разделен на 3 больших блока, которые в свою очередь также разделены на подгруппы, указывающие на уровень цифровизации и соответствующий этому уровень безопасности.

Вектор «Уровень цифровизации» разделен на блоки, разделение внутри которых определено следующим образом:

1 «О» - оцифровка на малом уровне, например перенос данных вручную, с помощью Microsoft Word.

2 «Ц» - ERP система внедрена в некоторые процессы внутри организации, например 1С Бухгалтерия.

3 «ЦТ» - полная цифровизация, например, процесс закупки производится полностью в цифровом формате, от инициации процесса закупки, то подписания договоров с помощью ЭП с обеих сторон.

Аналогично для остальных значений.

Вектор «Уровень ИБ» так же разделен на 3 больших блока «Оцифровка», «Цифровизация», «Цифровая трансформация», разделение внутри блоков происходит следующим образом:

Каждому показателю присвоен коэффициент от 1 до 9, где 1 – низкий уровень информационной безопасности, находящийся в блоке «Оцифровка», здесь требуется обеспечение корректно оцифрованной информации. Коэффициент 9 – высокий уровень информационной безопасности в блоке

«Цифровая трансформации», где требуется внедрение новых ЛНА, определяющих требования по защите информации, система, обеспечивающая сохранность доступа к ЭЦП и т.д.

Данные векторы показывают, как цифровизация влияет на информационную безопасность. Чем выше уровень цифровизации, тем выше должен быть уровень информационной безопасности, для обеспечения максимальной защиты.

Предложение по формированию системы управления, состоящей из процессов. Так, на смену архаичности приходит система управления обеспечивающая эффективность работы и прозрачность.

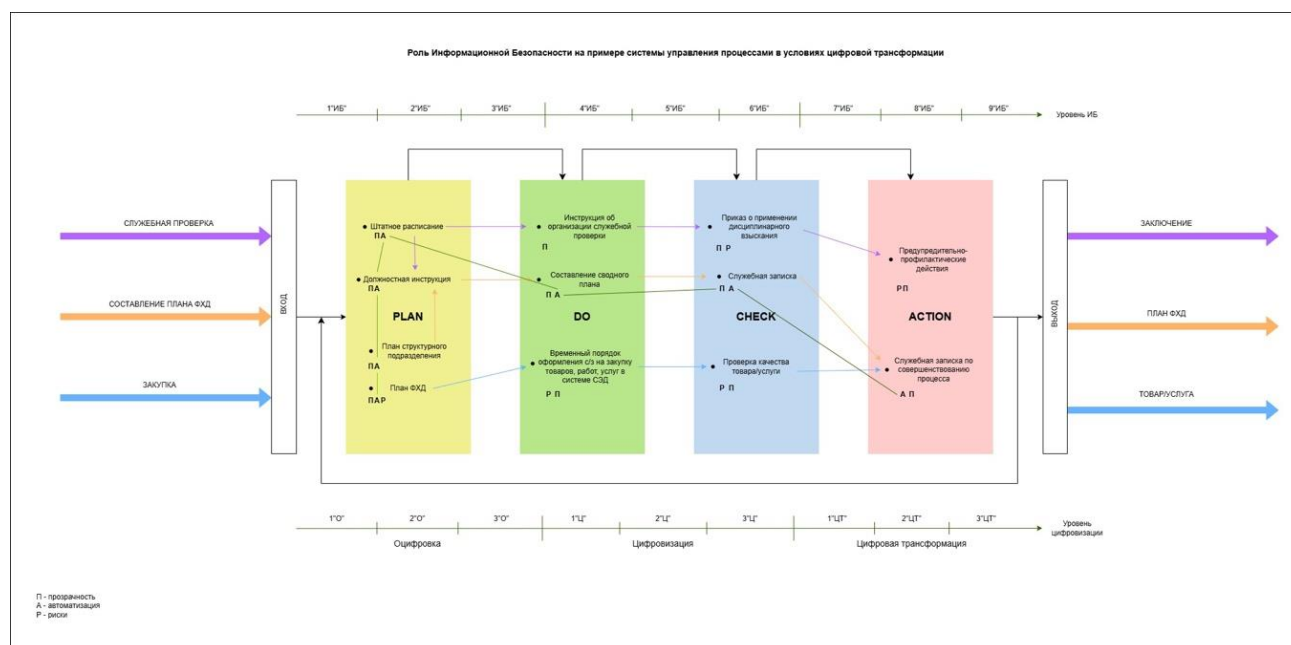


Рис. 1. Роль информационной безопасности на примере управления процессами в условиях ЦТ

Библиографический список:

1. Долгая А.А. Понятие и сущность системы управления организацией <https://clcl.li/CgNQs>
2. Цибулина Е. В., Попов Д.В. Разработка модели уровня цифровой трансформации на основе рисков, связанных с безопасностью организации// Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2024. – Т. 14, № 4-1. – С. 732–738.

3. Лесничук Д. В., Попов Д.В. Повышение функционально-структурной организации в условиях цифровой трансформации с помощью информационной безопасности // Управление и инновационное развитие предприятия: новые подходы и актуальные исследования: материалы Международной научно-практической конференции (Москва, 2025) – С. 132–137, 2025.
4. Попов Д. В., Ральникова К.В., Кутикова С.П. Оценка уровня цифровой трансформации организации на основе управленческой документации // Цифровая экономика. – 2023. – № 3 (24). – С. 65–75

Лесничук Дарья Владимировна — студент 4 курса бакалавриата по направлению менеджмент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, Россия; lesnicukd@gmail.com

Lesnichuk Daria Vladimirovna — 4th year Bachelor's degree student in Management, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow State Technological University «STANKIN», Moscow, Russia; lesnicukd@gmail.com

Попов Дмитрий Владимирович — к.э.н., доцент кафедры экономики и управления предприятием, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»; d.popov@stankin.ru

Popov Dmitry Vladimirovich — PhD (Economics), Associate Professor, Department of Economics and Business Management, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow State University of Technology «STANKIN»; d.popov@stankin.ru

УДК 621.757

Лутьянов А.В.

Lutyakov A.V.

Идентификация геометрических моделей корпусных деталей на основе трансляционных групп Браве**Identification of geometric models of body parts based on Bravais translation groups**

В данной статье исследуются способы моделирования обработки корпусных деталей станков, используя современные методы. Основное внимание уделяется задаче определения параметров трехмерных объектов с повторяющейся структурой. Для решения этой задачи были использованы следующие алгоритмы параметрической идентификации: Алгоритм, основанный на элементарных ячейках Браве, алгоритм, основанный на ячейках Вигнера-Зейтца, алгоритм, основанный на изоповерхностях.

Практические результаты показали, что для анализа трехмерных объектов, представленных большим количеством точек, и использования графического процессора (GPU) необходимо применять методы оптимизации работы с памятью GPU, обеспечивающие динамическую загрузку данных. Это позволяет эффективно обрабатывать большие объемы информации.

This article explores methods for modeling the machining of machine tool parts using modern techniques. The primary focus is on determining the parameters of three-dimensional objects with a repeating structure. The following parametric identification algorithms were used to solve this problem: an algorithm based on Bravais elementary cells, an algorithm based on Wigner-Seitz cells, and an algorithm based on isosurfaces.

Practical results have shown that for analyzing three-dimensional objects represented by a large number of points and using a graphics processing unit (GPU), it is necessary to employ GPU memory optimization methods that enable dynamic data loading. This allows for the efficient processing of large volumes of information.

Ключевые слова: корпусная деталь, трансляционная группа, элементы детали, структурная идентификация

Keywords: body part, translation group, part elements, structural identification

Для анализа трехмерных объектов часто используют их модели. Эти модели должны точно отражать главные характеристики объекта, быть формализованными и упрощать его описание. Геометрическая модель, например, описывает объект с точки зрения его формы и основных геометрических свойств. На рисунке 1 показана модель корпусной детали, включающая необходимую конструкторско-технологическую информацию (КТИ), также известную как Product Manufacturing Information (PMI).

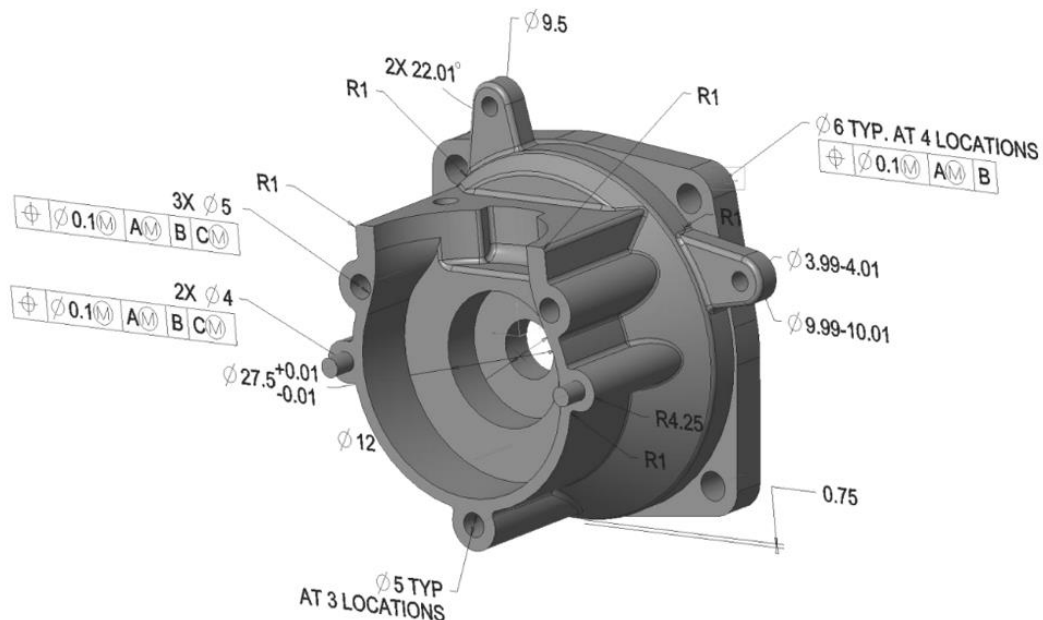


Рис. 1. Модель корпусной детали

Главная трудность при работе с трехмерными моделями заключается в их точной идентификации. Эта задача осложняется рядом факторов, таких как сложность создания моделей, их неоднозначное описание, наличие искажений в структуре и прочие проблемы.

Перспектива развития машиностроения заключается в создании «умных» производств, полностью контролируемых искусственным интеллектом. Такие интеллектуальные машиностроительные комплексы будут состоять из взаимосвязанных роботизированных систем и технологических процессов,

объединенных в единую сеть для оптимальной работы и генерации данных для анализа. Требования к точности продукции, особенно в сфере нанотехнологий, будут чрезвычайно высоки. Этого можно будет достичь за счет активного использования и постоянного пополнения накопленных знаний. Следовательно, каждый технологический процесс (или операция) должен быть оснащен собственной базой знаний, механизмами для сбора, обработки и принятия решений, а также средствами для обмена информацией с другими элементами системы. Важнейшим аспектом является возможность мгновенного доступа к информации о ходе процесса и его качестве, что позволит оперативно вносить коррективы и перестраивать производство при поступлении новых данных. Качество всего технологического процесса в значительной степени определяется точностью выполнения отдельных операций.

Организационная модель интеллектуального машиностроения (Рисунок 2) формируется на фундаменте накопленных знаний в конкретной производственной сфере. Эти знания динамично обогащаются, черпая информацию из внешних источников и развиваясь на основе собственного практического опыта.



Рис. 2. Структура интеллектуального машиностроительного производства

Используя структуру интеллектуального производства, следует учесть, что анализ трехмерных геометрических моделей имеет огромное значение в различных сферах: от медицины (компьютерная томография) и кристаллографии (рентген-дифракционный анализ) до компьютерного зрения (поиск дубликатов, анализ 3D-сцен по снимкам дистанционного зондирования) и компьютерной графики (воксельное представление, мозаики). Это позволяет работать с объектами в цифровом пространстве.

Существующие методы идентификации трансляционных групп Браве, такие как компаратор NIST (Martin M.), оценка эффективности упаковки (Smith W.F.) и идентификация конфигураций изоповерхностей (Patera J., Skala V.), основаны на выделении и сравнении индивидуальных признаков объектов с помощью метрик схожести.

Однако эти методы имеют существенные недостатки: их эффективность сильно зависит от типа симметрии, они чувствительны к искажениям структуры, требуют значительных вычислительных ресурсов и не оптимизированы для современных высокопроизводительных систем. Поэтому разработка новых, универсальных и устойчивых к помехам методов параметрической и структурной идентификации трехмерных объектов на основе трансляционных групп Браве является актуальной задачей, особенно для моделирования обработки корпусных деталей. В работе представлены и проанализированы существующие алгоритмы параметрической идентификации (компаратор NIST, оценка эффективности упаковки, идентификация конфигураций изоповерхностей), выявлены их сильные и слабые стороны. На основе этого анализа предложен новый метод, основанный на оценке параметров элементарных ячеек.

Предложено использовать алгоритмы параметрической идентификации при работе моделями корпусных деталей:

1. Алгоритм параметрической идентификации на основе элементарных ячеек Браве (*Алгоритм 1*).
2. Алгоритм параметрической идентификации на основе ячеек Вигнера-

Зейтца (*Алгоритм 2*).

3. Алгоритм параметрической идентификации на основе изоповерхностей (*Алгоритм 3*).

Алгоритм 1 основан на вычислении шести основных параметров элементарной ячейки Браве – длин трёх сторон l_1, l_2, l_3 и величин трёх углов между сторонами. Для нахождения параметров элементарной ячейки Браве необходимо выделить среди всех узлов структуры тройку узлов с некомпланарными радиус-векторами, являющимися основными трансляционными векторами.

Предложена также модификация *Алгоритма 1* с использование градиентного метода наискорейшего спуска. Данная модификация направлена на улучшение характеристик устойчивости исходного алгоритма к искажениям координат узлов объекта.

Алгоритм 2 основан на вычислении объёма ячейки Вигнера-Зейтца. Для его нахождения строятся ограничивающие ячейку плоскости и вычисляется её объём с помощью метода Монте-Карло – случайного вбрасывания большого числа точек в область объекта и определения количества точек, попавших внутрь ограниченной области.

Алгоритм 3 основан на определении трёх параметров, описывающих взаимное расположение вершин изоповерхностей: среднее значение среднеквадратичного расстояния ($\text{avg } d_{RMS}$); среднее и максимальное расстояния Хаусдорфа ($\text{avg } d_H$ и $\text{max } d_H$).

В рамках данного исследования были разработаны и детально проанализированы алгоритмы параметрической идентификации. Проведенные эксперименты продемонстрировали их инвариантность к размеру и положению объекта, а также устойчивость к гауссовскому и импульсному шуму. Аналитическое исследование позволило определить алгоритмы, наиболее чувствительные к симметрии объекта. Для оценки эффективности метода

структурной идентификации, основанного на нечетких нейронных сетях, были использованы два набора данных, содержащие 700 и 7000 объектов.

Результаты показали следующее:

- Группы поверхностей низшей категории (триклинная и тригональная): Нейронные сети успешно разделяли эти группы, достигая точности идентификации около 90% (погрешность 10%).
- Группы средней категории (гексагональная и моноклинная): Обе модели нейронных сетей также хорошо справлялись с разделением этих групп, обеспечивая точность около 85% (погрешность 15%).
- Группы высшей категории (ромбическая, тетрагональная и кубическая): Разделение этих групп оказалось сложной задачей для нейронных сетей, с низкой точностью (погрешность от 10% до 43%). Это связано с тем, что параметры элементарных ячеек в этих группах имеют тенденцию перекрываться.

Метод структурной идентификации основан на алгоритмах параметрической идентификации. Он включает в себя следующие шаги:

1. Выделение элементарных ячеек: Определение множества элементарных ячеек, составляющих трехмерный объект.
2. Вычисление параметров: Расчет основных параметров каждой элементарной ячейки.
3. Определение параметров объекта: Вычисление средних значений параметров элементарных ячеек для получения итоговых параметров трехмерного объекта.

Для каждого алгоритма параметрической идентификации предлагается ряд нормированных метрик схожести, показывающих степень соответствия параметров.

Представлен инновационный подход к генерации трехмерных моделей, базирующийся на применении трансляционных групп Браве. В рамках данного подхода были разработаны и апробированы методики и алгоритмы, позволяющие определять ключевые параметры и структуру трехмерных

объектов. Дополнительно были предложены и проанализированы параллельные реализации этих алгоритмов, нацеленные на эффективное использование современных вычислительных ресурсов. Результатом работы стал комплексный программный продукт для анализа трехмерных моделей.

Рекомендации и перспективы дальнейшего развития:

1. Повышение точности идентификации: Дальнейшее изучение модели ячеек Вигнера-Зейтца и разработка методов анализа взаимного расположения ограничивающих ячейку плоскостей позволят повысить точность определения параметров и структуры моделей. При этом сохранится высокая устойчивость к искажениям исходных данных.

2. Оптимизация работы с большими объемами данных: для анализа трехмерных объектов, представленных большим количеством точек, с использованием графических процессоров (GPU) рекомендуется применять методы оптимизации работы с памятью GPU. Это включает в себя динамическую загрузку данных, что позволит эффективно обрабатывать большие наборы информации.

3. Исследование сложных композиций объектов: Построение гистограмм распределения параметров элементарных ячеек и применение к ним методов интеллектуального анализа данных откроют возможности для исследования трехмерных объектов, состоящих из комбинации различных трансляционных групп.

Библиографический список

- 1 Кирш, Д. В. Алгоритм реконструкции трёхмерной структуры кристалла по двумерным проекциям [Текст] / Д. В. Кирш, А. С. Широкаев, А. В. Куприянов // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 2. – С. 324-331. – DOI: 10.18287/2412-6179-2019- 43-2-324-331.
- 2 Kirsh, D. V. 3D crystal structure identification using fuzzy neural networks [Text] / D. V. Kirsh, O. P. Soldatova, A. V. Kupriyanov, I. A. Lyozin, I. V. Lyozina // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). – 2017. – Vol. 26, Iss. 4.

– Р. 249-256.

3 Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств. Ч.1 [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е. В. Преображенская, Т. Н. Боровик, Н. С. Баранова, И. В. Белоусов и др. – М.: РТУ МИРЭА, 2021. – Электрон. опт. диск (ISO) (шифр в библиотеке РТУ МИРЭА: Т38).

Лутьянов Александр Владимирович – к.т.н., доцент Российский технологический университет МИРЭА, alou99@mail.ru

Lutyanov Alexander Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Technological University MIREA, alou99@mail.ru

УДК 62-50:004.057.8

Мануилиди М., Королев С.Ю., Феоктистов С.В., Ковалев И.А.

Manuilidi M., Korolev S., Feoktistov S., Kovalev I.

Исследование влияния силы натяжения ремней 3D принтера на качество печати

Investigation of the effect of belt tension on the print quality of 3D printers

В данной работе рассматриваются аспекты влияния натяжения приводных ремней 3D-принтера на частоту остаточных вибраций после выполнения алгоритма автоматической калибровки. Приводятся значения наилучшего и оптимального натяжения ремней.

This paper examines the impact of 3D printer drive belt tension on residual vibration frequency after running an automatic calibration algorithm. Values for optimal and optimum belt tension are presented.

Ключевые слова: 3D-принтер; Input Shaping; натяжение ремней; резонанс; остаточные вибрации; максимальное ускорение

Keywords: 3D printer; Input Shaping; Belt Tension; Resonance; Residual Vibrations; Maximum Acceleration

В современном мире требования к скорости 3D-печати становятся всё более высокими, однако повышение скоростей зачастую приводит к снижению качества печати. Одним из ключевых параметров, определяющих качество изделия при высокоскоростной печати, является ускорение перемещений. Для компенсации вибраций, возникающих в процессе работы принтера, обычно снижают ускорение и применяют специальные алгоритмы подавления колебаний.[1]

В данной работе рассматривается 3D-принтер Creality K1 Max и программное обеспечение Klipper, использующее алгоритм Input Shaping для снижения влияния резонансных колебаний, возникающих в процессе движения кинематической системы принтера. В его состав входят встроенные процедуры

автоматической настройки параметров шейпинга, которые будут использованы в работе.[1]

Особое внимание в настоящем исследовании уделено влиянию натяжения ремней 3D-принтера на результаты калибровки Input Shaping и, как следствие, на итоговое качество печати.

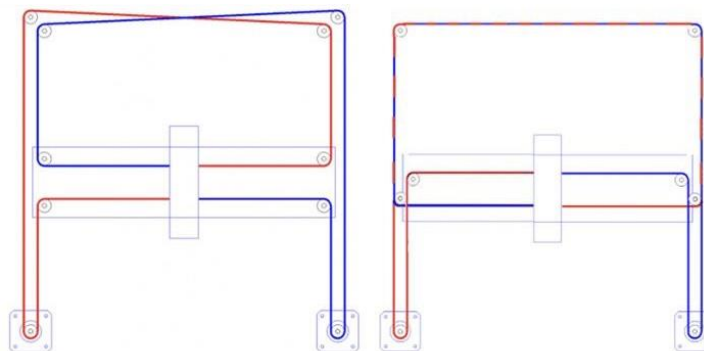


Рис. 1. Устройство кинематики CoreXY

Кинематика типа CoreXY (рис. 1) в настоящее время является одной из наиболее популярных в 3D-принтерах. По сравнению с традиционной схемой Cartesian она обладает важным преимуществом: конструкция разгружает оси от массы шаговых двигателей, что делает подвижные элементы значительно легче. Благодаря этому удаётся достигать более высоких ускорений и скоростей перемещения.[1]

Алгоритм Input Shaping представляет собой метод фильтрации управляющих сигналов, направленных на исполнительные механизмы 3D-принтера. Его основная задача заключается в том, чтобы подавить возбуждение собственных колебаний конструкции, возникающих при резких изменениях скорости или ускорения. Для этого исходный управляющий сигнал преобразуется в последовательность импульсов, сдвинутых по времени таким образом, чтобы их суммарное воздействие минимизировало амплитуду вибраций.

$$\mu_s(t) = \sum_{i=1}^n A_i u(t - t_i),$$

где A_i - амплитуда i -го импульса, t_i - задержка i -го импульса, n - количество импульсов в шейпере.

Процесс измерения параметров Input Shaping и последующего подбора оптимальных значений осуществляется с использованием акселерометра, размещенного в печатной голове 3D-принтера. Так как печатающая голова перемещается по направляющим рельсам и кинематически связана с шаговыми двигателями системой ременных передач, то вибрационные характеристики системы напрямую зависят от степени натяжения ремней. Целью исследования является определение взаимосвязи между механическими свойствами системы движения и результатами измерений инерциального датчика, влияющими на эффективность алгоритмов подавления вибраций и итоговое качество печатных изделий.[2]

На 3D-принтере Creality K1 Max предварительно было уточнено центральное положение печатающей головы по оси X относительно кареток (рис. 2, 3), чтобы исключить влияние ремней вдоль нее на результаты измерений.



Рис. 2, 3. Нахождение центрального положения печатающей головы по X

По полученным размерам изготовили установочный трафарет (рис. 4) на фрезерном станке с ЧПУ, который использовали для быстрого и воспроизводимого позиционирования печатающей головы вдоль оси X и выравнивания кареток вдоль оси Y.



Рис. 4. Установочный трафарет



Рис. 5, 6. Пример позиционирования головы по осям

Частоту собственных колебаний ремней определяли на свободном пролёте между точкой крепления к раме и направляющим роликом каретки оси X, используя приложение для спектрального анализа (рис. 7).

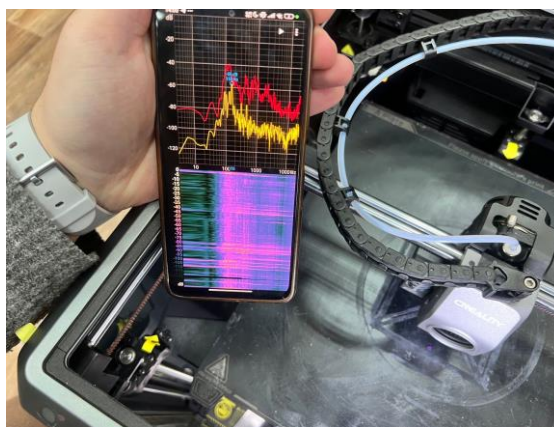


Рис. 7. Приложение для спектрального анализа

Такой подход обеспечивает повторяемость измерений и позволяет регулировать натяжение, ориентируясь на частоту колебаний ремней. Натяжение ремней выполняли штатными натяжителями и итерационно корректировали по показаниям частоты, определяемой приложением.

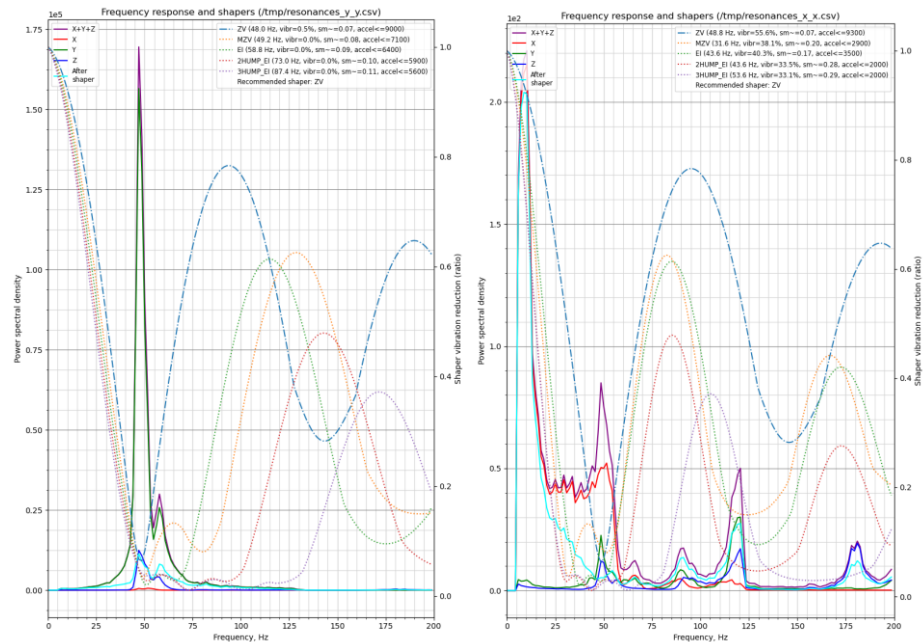


Рис. 8, 9. Выходные данные алгоритма автоматической калибровки при закрытой крышке по оси y и x

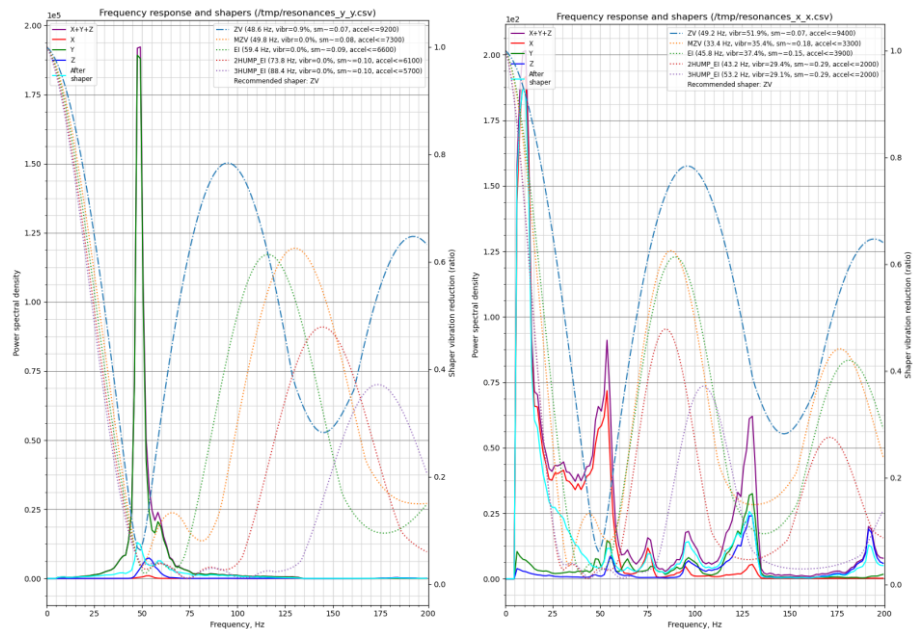


Рис. 10, 11. Выходные данные алгоритма автоматической калибровки при снятой крышке по оси y и x

На предварительном этапе было оценено влияние закрытой крышки камеры: экспериментально установлено, что при снятой крышке алгоритм автоматической калибровки добивался меньших значений остаточной вибрации (рис. 8-11). В связи с этим все последующие замеры проводились при открытой камере. Это согласуется и с практикой печати PLA: для данного материала крышку обычно снимают, чтобы избежать перегрева нити; выбранный режим измерений соответствует реальным условиям печати, для которых важна максимальная точность и качество.

Расшифровки подписей на рисунке с результатами автоматической калибровки Input Shaping:

shaper - выбранный тип шейпера (алгоритма подавления вибраций)

- freq - настроенная резонансная частота, Гц
- vibr - оценка остаточных колебаний
- sm (smoothing) - степень сглаживания траектории, с
- accel - рекомендуемый предел максимального ускорения для печати с выбранным шейпером, мм/с².

Для дальнейшего эксперимента диапазон натяжения ремней определили экспериментально: ремни последовательно доводили до предельно высокого натяжения и ослабляли до минимально допустимого, фиксируя соответствующие частоты. В результате установлен рабочий интервал 126-310 Гц. Этот диапазон равномерно разбили на 10 точек, по которым выполнялись повторные измерения. Для последующего анализа использовались усредненные значения, что обеспечивает воспроизводимость и снижает влияние случайного шума.

Стандартный алгоритм автокалибровки был модифицирован, поскольку его штатная логика ориентирована на выбор и немедленное применение оптимального шейпера, а не на накопление данных для анализа. В код процедуры калибровки добавлен вывод машиночитаемого JSON в консоль принтера,

содержащего параметры по каждому из поддерживаемых шейперов для каждой оси. Это позволило отказаться от ручного считывания значений с сгенерированных изображений и перейти к автоматизированной обработке.

Поскольку ключевая задача настройки Input Shaping - минимизировать остаточные вибрации при одновременной максимизации доступного ускорения печати, по данным автокалибровки были построены графики этих параметров для каждого шейпера при разной степени натяжения ремней (рис. 12-15).[3]

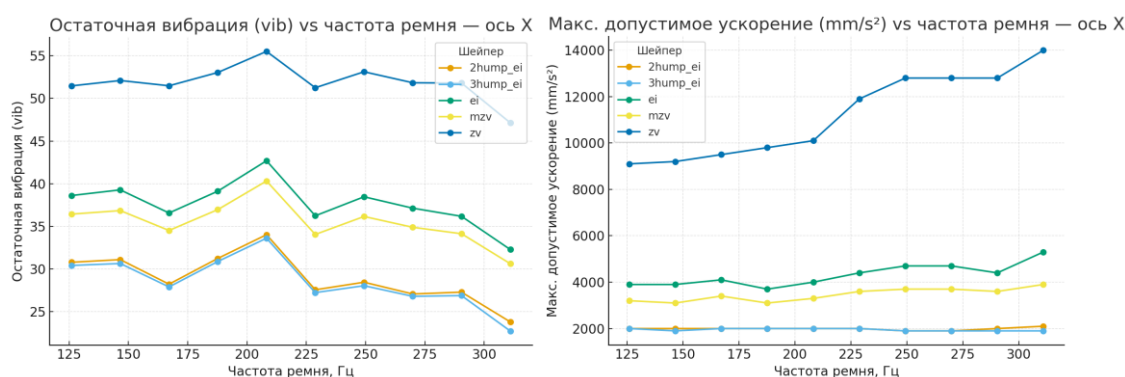


Рис. 12, 13. Графики остаточных вибраций и допустимых ускорений каждого алгоритма для оси X

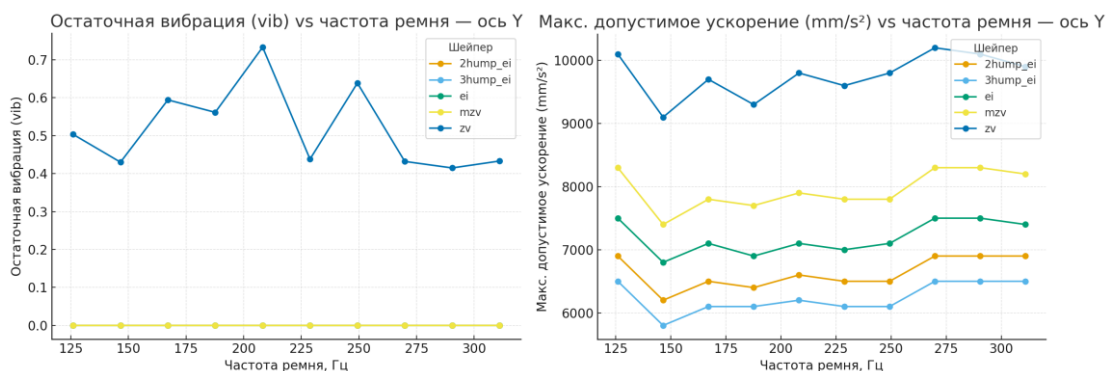


Рис. 14, 15. Графики остаточных вибраций и допустимых ускорений каждого алгоритма для оси Y

По данным автокалибровки видно, что ограничивающим фактором данного принтера выступает ось X: при любых параметрах калибровки, значения остаточных вибраций остаются высокими.

Нормировка метрик:

$$S_{vib} = 1 - \frac{v - v_{min}}{v_{max} - v_{min}}, S_{acc} = \frac{a - a_{min}}{a_{max} - a_{min}},$$

где v - измеренная остаточная вибрация, a - допустимое ускорения, v_{max}, v_{min} - минимум/максимум v по всем шейперам и всем частотам на данной оси, a_{max}, a_{min} - минимум/максимум a по этой же оси.

Взвешенный балл:

$$S_w = w_{vib} \cdot S_{vib} + w_{acc} \cdot S_{acc}, w_{vib} + w_{acc} = 1$$

где w_{vib}, w_{acc} - коэффициенты значимости той или иной метрики.

При варьировании весовых коэффициентов взвешенного балла можно подбирать частоту, которая лучше соответствует приоритету - ускорение или остаточные вибрации. В нашей работе цель - найти натяжение ремней, обеспечивающее минимальные остаточные вибрации при максимально возможном ускорении, поэтому анализ проводился как для равных весов, так и для весов, смещенных в сторону максимизации ускорения (рис. 16-19).

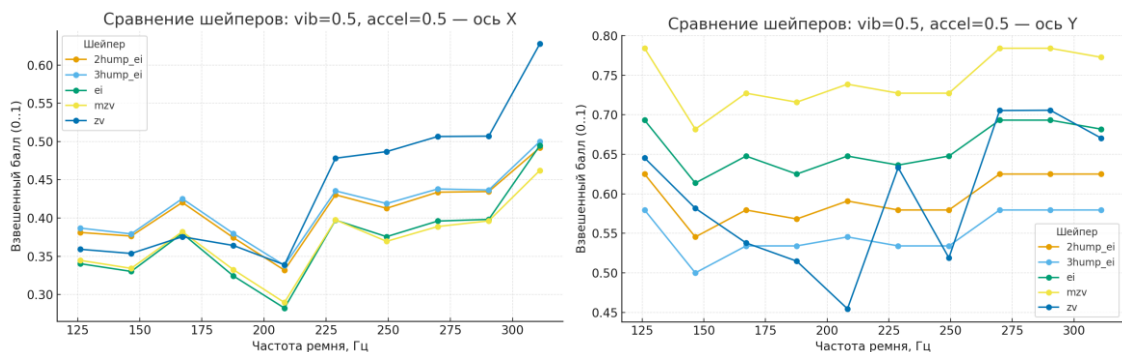


Рис. 16, 17. Графики взвешенного балла при равных весов для оси X и Y

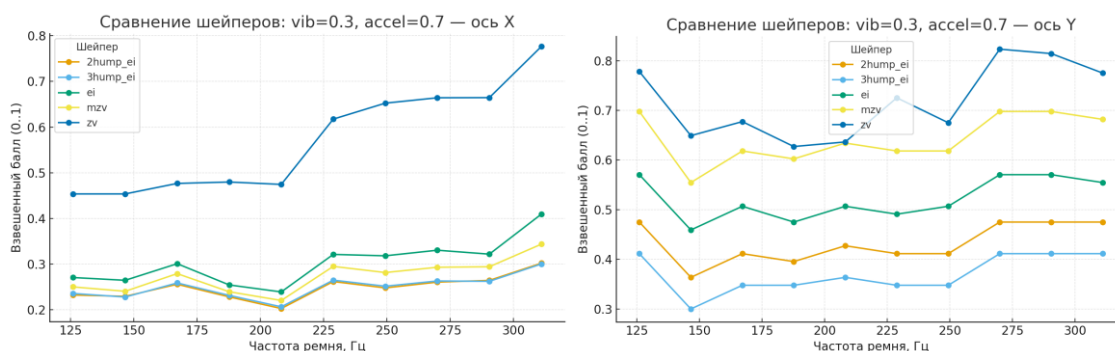


Рис. 18, 19. Графики балла при $w_{vib} = 0.3$, $w_{acc} = 0.7$ для оси X и Y

По итогам экспериментов установлено, что увеличение натяжения ремней приводит к росту максимально допустимого ускорения печати. Минимум взвешенного балла достигается при 310 Гц, однако столь высокое натяжение ремней повышает риск ускоренного износа узлов принтера. Поэтому в качестве рабочего компромисса выбрано натяжение 230 Гц - в этой области метрика переходит через локальный минимум, а долговечность и надежность принтера остаются на приемлемом уровне.

Библиографический список

1. Выбор 3D принтера с параллельной кинематикой для самостоятельной работы студентов. Самойлов В.Б. Машиностроение и компьютерные технологии. 2017. № 10. С. 57-69.
2. Singh T., Singhose W. Tutorial on Input Shaping / Time-Delay Control of Maneuvering Flexible Structures // *Proceedings of the 2002 American Control Conference (ACC)*. Anchorage, AK, USA, 8–10 May 2002. P. 1717–1731. DOI: 10.1109/ACC.2002.1023813.
3. Klipper documentation. Resonance Compensation [Электронный ресурс]. URL: https://www.klipper3d.org/Resonance_Compensation.html (дата обращения: 24.10.2025)

Мануилиди Мария - бакалавр 4 года обучения кафедры ИТиВС., ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» *nobodysshero@gmail.com*

Maria Manuilidi - 4th-year Bachelor's degree in the IT and VS Department, MSTU «STANKIN», *nobodysshero@gmail.com*

Королев Семен Юрьевич - магистр 1 года обучения кафедры РиМ, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», *semenkorolev2003@gmail.com*

Korolev Semyon Yuryevich - 1st-year Master's degree in the RiM Department, MSTU «STANKIN», *semenkorolev2003@gmail.com*

Феоктистов Сергей Вячеславович - магистр 1 года обучения кафедры РиМ, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», *feok.feoktistovs@gmail.com*

Feoktistov Sergey Vyacheslavovich - 1st-year Master's degree in the RiM Department, MSTU «STANKIN», *feok.feoktistovs@gmail.com*

Ковалев Илья Александрович – к.т.н., доцент кафедры КСУ, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Kovalev Ilya Aleksandrovich – PhD, Associate Professor of the Department of Control and Control Systems, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education MSTU «STANKIN»

УДК 304.4

Матросов Д.В.

Matrosov D.V.

Методы оценки эффективности управления проектами в сфере молодёжной политики образовательных организаций

Methods for Evaluating the Effectiveness of Project Management in the Field of Youth Policy of Educational Organizations

В статье рассмотрены основные подходы к оценке эффективности управления проектами в сфере молодёжной политике образовательных организаций. Рассмотренные основные количественные, качественные и комбинированные методы.

The article explores the main approaches to assessing the effectiveness of project management in youth policy within educational institutions, focusing on quantitative, qualitative, and integrated evaluation methods.

Ключевые слова: молодёжная политика, образовательная организация, проектное управление, эффективность, методы оценки, социальный эффект, управление проектами.

Keywords: youth policy, educational organization, project management, effectiveness, evaluation methods, social impact, project governance.

Современная система молодёжной политики в образовательных организациях опирается на проектный подход, который является инструментом стратегического управления развитием студенческих инициатив, социальной активности молодежи и формирования гражданской ответственности. Проектное управление является способом решения образовательных, воспитательных и социокультурных задач.

Актуальность исследования обусловлена отсутствием единой методологии оценки эффективности управления проектами в сфере молодёжной политики образовательных организаций. Несмотря на активное внедрение

проектных практик, большинство вузов сталкивается с трудностями при определении результативности реализуемых инициатив [4]. Согласно исследованиям, в большинстве случаев анализ ограничивается количественными показателями, когда качественные остаются вне поля зрения [1].

На основе анализа научных публикаций последних лет можно сделать вывод, что для образовательных организаций требуется комплексный подход, который позволит измерять не только формальные результаты, но и качество управленческих процессов, уровень вовлеченности молодежи и устойчивость достигнутых результатов. Формирование методически обоснованных подходов к оценке эффективности управления проектами в сфере молодежной политики имеет стратегически важное значение для развития государственной молодежной политики в целом.

Цель данного исследования заключается в выявлении и систематизации методов оценки эффективности управления проектами в сфере молодежной политики образовательных организаций, а также определения направлений их совершенствования. В работе решаются задачи анализа существующих подходов, выявления специфики оценки, обеспечения повышения результативности проектной деятельности.

Объектом работы являются образовательные организации, а предметом – процессы управления эффективностью реализации проектов в рамках молодежной политики образовательных организаций. Методологическая основа включает системный, сравнительный и аналитический подходы.

Согласно анализу существующих теоретических подходов, к реализации проектного управления, в том числе и в молодежной политике, понятие эффективности в проектном управлении трактуется как совокупность количественных и качественных результатов, характеризующих достижение целей при оптимальном использовании ресурсов [2]. Однако в сфере молодежной политики данный термин приобретает дополнительное содержательное наполнение, отражая не только экономические, но и социальные, воспитательные и ценностные аспекты деятельности.

Теоретические основы оценки эффективности управления проектами

Проведенный анализ показал, что эффективность управления в молодёжной политике определяется степенью соответствия результатов проекта общественным ожиданиям и стратегическим приоритетам государства. Важным отличием от коммерческих проектов, где результат выражается в прибыли или доле рынка, социальные проекты оцениваются через воздействие на целевую аудиторию, степень вовлечённости участников и устойчивость достигнутых эффектов. Исходя из данных анализа, экономические показатели не позволяют в полной мере охарактеризовать успешность управленческих решений в сфере молодёжной политики.

В ряде научных публикаций отмечается необходимость перехода от оценки конечных результатов к анализу эффективности всего цикла проектного управления. Важно оценивать не только итоговые показатели, но и управленческие процессы – планирование, координацию, коммуникацию и контроль, так как именно они определяют устойчивость проектов и их воспроизводимость в образовательной среде [1]. Схожую позицию занимает С. П. Куликов, который указывает, что критерием эффективности в контексте вузовской молодёжной политики является не просто достижение целевых показателей, а формирование системы компетенций у студентов и сотрудников, вовлечённых в проектную деятельность [4].

На основе анализа теоретических подходов можно выделить несколько методологических подходов, применяемых для оценки эффективности управления проектами:

1. Ресурсно-результативный подход, ориентированный на соотношение затрат и полученных результатов;
2. Целевой подход, предполагающий оценку степени достижения поставленных задач;
3. Социально-ценностный подход, акцентирующий внимание на изменениях в мотивации, уровне активности и социальной сплочённости участников;

4. Институциональный подход, позволяющий оценивать влияние проектной деятельности на развитие управленческой и организационной структуры образовательного учреждения.

Отталкиваясь от проведенного анализа, наибольшую эффективность может показать комплексный подход, который объединит количественные и качественные критерии.

Особенности управления проектами в сфере молодежной политики образовательных организаций

Проектное управление в сфере молодёжной политики обладает рядом уникальных особенностей, которые отличают его от классических направлений проектного управления. Особенности обусловлены спецификой аудитории, ограниченностью ресурсов, социальным характером задач. В отличие от коммерческих или производственных проектов в молодежных инициативах ключевым критерием становится не финансовая отдача, а степень развития компетенций, гражданской активности и развития личностных и профессиональных качеств обучающихся.

Согласно исследованиям С.П. Куликова и И.В. Мирошниченко, молодежные проекты формируются преимущественно на принципах инициативности и добровольного участия, что делает управление более гибким, но при этом менее предсказуемым [5].

Основные выявленные особенности:

1. Двойная управленческая подчиненность – управление проектами проходит через отделы вуза и студенческие объединения.
2. Высокая роль человеческого фактора – мотивация участников напрямую влияет на результаты проекта.
3. Социальная направленность – проекты направлены на формирование ценностей, развитие гражданской идентичности и социальных компетенций. Оценка таких результатов требует особых подходов, которые отличаются от традиционных KPI.

4. Ограниченность ресурсов – большинство проектов реализуются за счет грантов или вовсе без привлечения денежных ресурсов.

5. Краткосрочный жизненный цикл – большинство инициатив реализуются разово и в краткосрочный временной период.

Основные особенности управления проектами в образовательных организациях представлены в таблице 1.

Таблица 1

Особенности управления проектами в образовательных организациях

Аспект	Особенности в образовательных организациях	Последствия для оценки эффективности
Цели	Социально-воспитательные, гражданские, коммуникативные	Сложность измерения качественных результатов
Структура управления	Смешанная: администрация + студенческие объединения	Необходимость координации и распределения ответственности
Ресурсы	Ограниченные, часто грантовые	Повышенные требования к эффективности распределения
Сроки реализации	Краткосрочные, учебный цикл	Требуется ускоренная оценка результативности
Мотивация участников	Добровольная, ценностная	Важность мониторинга вовлечённости и удовлетворённости
Результаты	Социальный эффект, развитие компетенций	Применение качественных и интегральных методов оценки

Методы оценки эффективности управления проектами

Проблема выбора основной методологии оценки эффективности управления проектами в сфере молодежной политики образовательных организаций остается одной из наиболее дискуссионных в современном мире. Основываясь от проведенных исследований, универсальная методология, позволяющая комплексно оценивать результаты проектов так и не зафиксировано. Тем не менее опишем основные направления оценки проектов.

Принято выделять количественные и качественные методы, к количественным методам относят подходы основанные на измерении достижений проектных целей в числовых показателях. Согласно исследованиям Э. А. Зайцева, в практике вузов чаще всего применяются критерии результативности (число участников, мероприятий, охват целевой аудитории), ресурсной эффективности (соотношение затрат и достигнутых целей) и временной эффективности (выполнение этапов проекта в установленные сроки) [2]. Эти показатели позволяют оценить организационную дисциплину и план-факт исполнения, однако они не отражают глубину социальных изменений. Недостаток количественного метода – не отображает реальной вовлеченности в проекты и качества внутренних процессов.

Качественные методы направлены на выявление управленческих, социальных и ценностных аспектов проектной деятельности. В работах И. В. Мирошниченко отмечается, что наиболее информативными инструментами являются экспертные оценки, социологические опросы, фокус-группы и анализ проектной документации. Эти методы позволяют оценить качество управления, степень удовлетворённости участников, уровень командного взаимодействия и восприятие проекта со стороны целевой аудитории.

В последние годы наблюдается тенденция к применению комплексных и интеграционных моделей оценки эффективности [1-2]. Наиболее перспективным считается использование интегрального подхода, включающего три группы критериев: результативность, социальный эффект и устойчивость проекта.

Такой подход учитывает количественные и качественные показатели, что позволяет оценивать как сам процесс реализации, так и конечный результат с учетом удовлетворенности аудиторий.

Заключение. На основе проведённого анализа можно сделать вывод, что в сфере молодёжной политики образовательных организаций по-прежнему отсутствует единая и объективная система оценки эффективности проектного управления. Несмотря на активное развитие проектной деятельности, большинство вузов продолжают оценивать результаты

преимущественно по количеству мероприятий и участников [4]. Такой подход не позволяет выявить реальные управленческие и социальные эффекты.

Проведённое исследование показало, что наибольшая потребность сегодня заключается в формировании комплексной модели оценки, которая сочетает количественные и качественные методы. Подобная система должна учитывать не только достигнутые показатели, но и процесс реализации проектов, уровень вовлечённости студентов, развитие их компетенций и устойчивость полученных результатов.

Таким образом, развитие подходов к оценке эффективности проектного управления в молодёжной политике становится не просто инструментальной задачей, а фактором повышения качества управления в образовательных организациях и укрепления их социальной миссии.

Библиографический список:

1. Благоданова, Ю. К. «Оценка эффективности проектного управления в сфере молодёжной политики»//Актуальные вопросы современной науки, 2023.
2. Зайцев, Э. А. «Теоретические подходы к оценке эффективности реализации молодёжной политики» // статья 2025 года.
3. Зеленин, А. А. «Критериальная модель оценки эффективности молодёжной политики»//Статья (ранний, но классический) из CyberLeninka / аналогичных источников.
4. Куликов, С. П. «Мониторинг эффективности реализуемых программ и проектов в области молодёжной политики в российских образовательных организациях»//Журнал/Сборник, 2018.
5. Мирошниченко, И. В. «Проектный подход в государственной молодёжной политике РФ: институциональные практики и потенциал развития»//Журнал Кубанского госуниверситета, 2022.

Матросов Данил Вячеславович - аспирант кафедры финансового менеджмента ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», danil.matrosov@mail.ru

Matrosov Danil Vyacheslavovich postgraduate student of the department of Financial Management, MSUT STANKIN, danil.matrosov@mail.ru

УДК 621.9.025.19

Мирзوماхмудов А.Р., Исаев А.В., Кузнецов В.А., Хариев И.Н., Кострюков А.А.
Mirzomakhmudov A.R., Isaev A.V., Kuznetsov V.A., Khariev I.N., Kostryukov A.A.

Комбинированный способ обработки профиля катания колесных пар для снижения нагрузки на режущий инструмент

Combined method for reducing cutting forces when machining profile of wheelset

В статье представлен сравнительный анализ существующих инструментов для обработки профиля катания колесных пар и обоснована необходимость создания новой конструкции. Разработана конструкция сборной дисковой фрезы со сменными многогранными пластинами (СМП), обеспечивающая равномерное распределение нагрузок между режущими элементами и возможность обработки различных типоразмеров колесных пар. Представлен комбинированный способ восстановления профиля катания колесных пар, основанный на сочетании чернового шлифования и последующей механической обработки (фрезерование или точение). Показано, что применение комбинированного способа позволяет снизить термомеханические нагрузки на режущий инструмент, стабилизировать структуру поверхностного слоя и повысить качество восстановления профиля катания.

The paper presents a comparative analysis of cutting tools for machining the wheelset tread profile and substantiates the need for developing a new design of cutting tool. An indexable disk milling cutter with changeable inserts was developed, ensuring uniform load distribution among the cutting elements and the capability to process wheelsets of various sizes. A combined method for restoring the wheelset tread profile is proposed, based on the combination of rough grinding and subsequent mechanical processing (milling or turning). It is shown that the use of the combined method reduces thermomechanical loads on the cutting tool, stabilizes the structure of the surface layer, and improves the quality of the restored tread profile of wheelsets.

Ключевые слова: дисковая фреза, сменная режущая пластина, восстановление колесных пар, комбинированная обработка, стойкость инструмента.

Keywords: disc milling cutter, indexable insert, wheelset restoration, combined machining, tool life.

В процессе эксплуатации колесные пары подвижного состава (рис. 1) подвергаются интенсивному контактному износу, особенно в зонах гребня и поверхности катания. Это приводит к изменению геометрии профиля, увеличению динамических нагрузок и снижению эксплуатационной надежности. Для восстановления первоначальной формы и рабочих параметров профиля катания применяются различные методы механической обработки, обеспечивающие требуемую точность и качество поверхности.

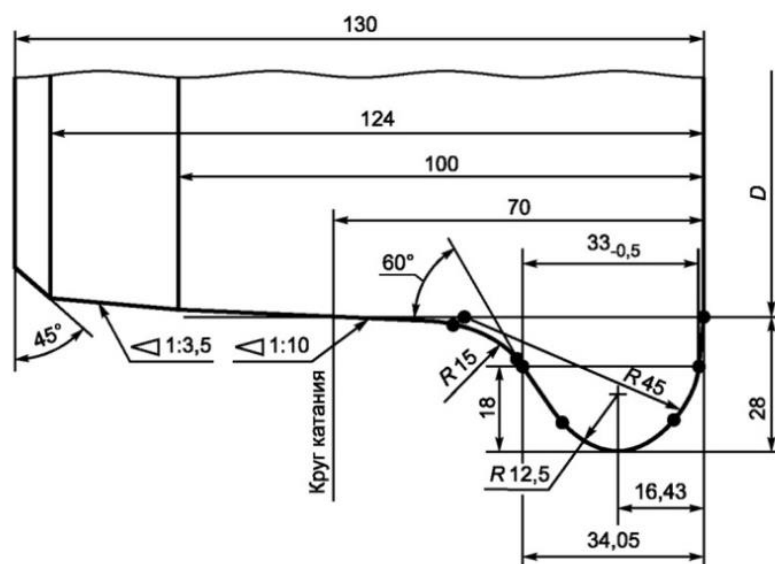


Рис. 1. Профиль колесной пары подвижного состава [1]

На практике для этих целей используют точение, шлифование и фасонное фрезерование, каждое из которых обладает своими преимуществами и ограничениями. Анализ конструктивных и технологических особенностей данных способов обработки позволяет определить направления совершенствования инструментального обеспечения и выбрать оптимальные подходы к восстановлению профиля катания колесных пар.

Токарные резцы с СМП (рис. 2) широко используются для черновой и чистовой обработки профилей колесных пар. Они отличаются простотой конструкции и возможностью оперативной переналадки, однако при значительных припусках наблюдается повышенное трение в зоне резания и

ускоренный износ режущих кромок. Накопление тепла и образование длинной стружки снижают стабильность процесса и увеличивают частоту замены СМП.



Рис. 2. Токарные резцы с СМП

Сборные фасонные фрезы с СМП (рис. 3) обеспечивают высокую точность и производительность при обработке сложнопрофильных поверхностей [6, 9, 10]. Их недостатками являются значительная масса (более 85 кг), сложность внестаночной настройки и высокая стоимость изготовления, что ограничивает использование при ремонте колесных пар различных типоразмеров [4].

Шлифовальные круги (рис. 4) применяются преимущественно на финишных стадиях для доводки поверхности и устранения дефектов. Несмотря на высокое качество формируемой поверхности, шлифование характеризуется низкой производительностью при больших припусках и требует высокой жесткости технологической системы, что снижает его универсальность в ремонтных условиях.

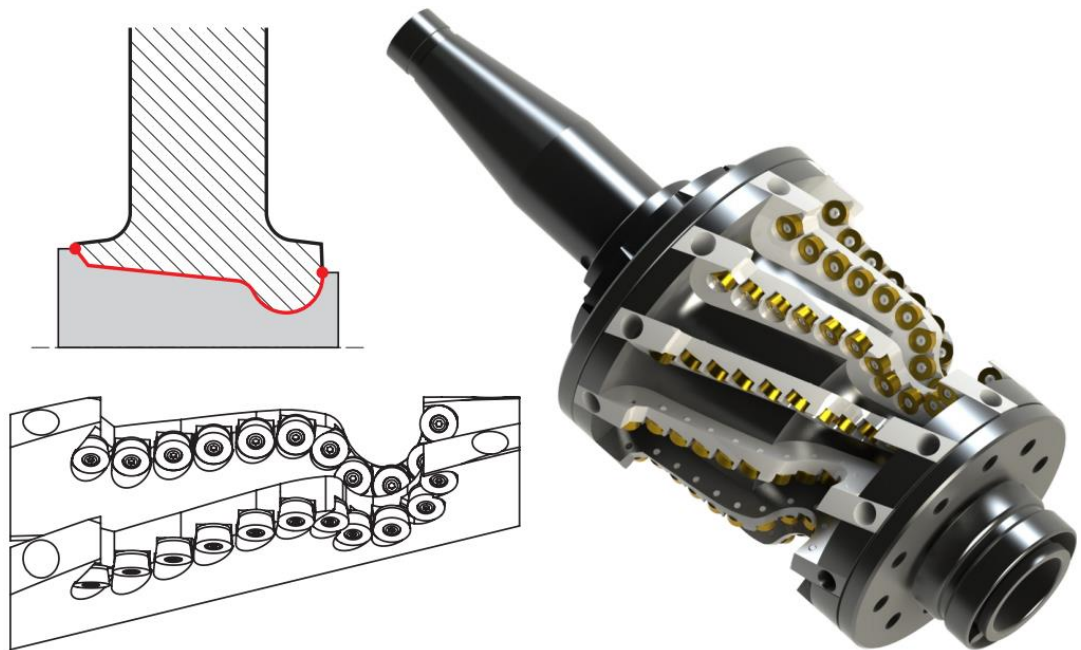


Рис. 3. Сборная фасонная фреза с СМП

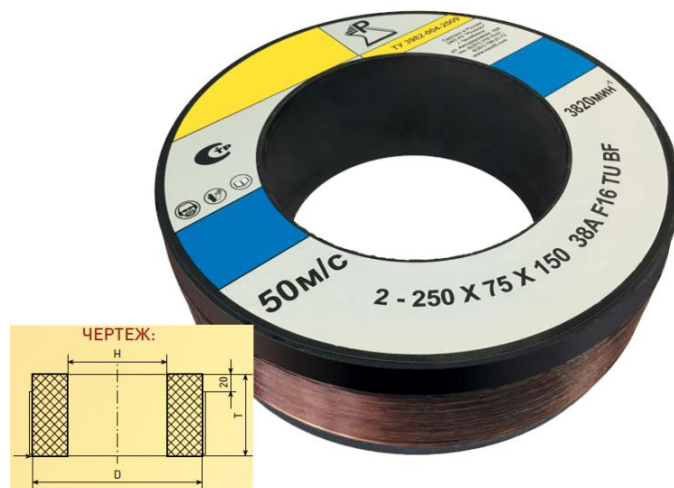


Рис. 4. Шлифовальный круг

Сравнительный анализ показал, что ни один из рассмотренных инструментов не обеспечивает комплексного сочетания высокой производительности, точности и удобства переналадки. Это определило необходимость разработки нового инструмента – сборной дисковой фрезы с СМП, обладающего достоинства рассмотренных решений и лишенного их ключевых недостатков [3].

Разработанная сборная дисковая фреза с СМП (рис. 5) имеет конструкцию с расположением режущих пластин по обеим торцевым поверхностям корпуса. Тангенциальная установка пластин с одной стороны и радиальная с другой

позволяет варьировать схему резания в зависимости от геометрии профиля катания и условий обработки [5].



Рис. 5. Сборная дисковая фреза с СМП

Масса инструмента снижена до 3 кг за счет формы конструкции корпуса и оптимизации габаритов. Прерывистый характер резания обеспечивает равномерное распределение тепловых и механических нагрузок между зубьями, снижая вероятность перегрева и повышая стабильность процесса. Конструкция обеспечивает универсальность применения при обработке колесных пар разных типоразмеров за счет применения на станках с ЧПУ. Решения, реализованные в конструкции фрезы, защищены патентами РФ [7, 8].

Несмотря на совершенствование конструкции режущего инструмента, важным направлением повышения эффективности процесса восстановления профиля катания колесных пар остается совершенствование самой технологии обработки. Практика эксплуатации показывает, что наибольшие нагрузки на режущие кромки возникают при снятии закаленного слоя и при неравномерном распределении тепла в зоне резания. Для снижения этих эффектов разработан комбинированный способ обработки, предусматривающий рациональное разделение функций между стадиями черного шлифования и лезвийной обработкой [2].

Комбинированный способ обработки основан на сочетании черного шлифования всей поверхности катания с последующей обработкой точением

или фрезерованием. Процесс может быть реализован в двух вариантах организации технологического цикла:

- последовательный вариант, при котором черновое шлифование выполняется до проведения лезвийной обработки (рис. 6);
- одновременный вариант, при котором операции черновое шлифование и лезвийная обработка осуществляются синхронно (рис. 7).

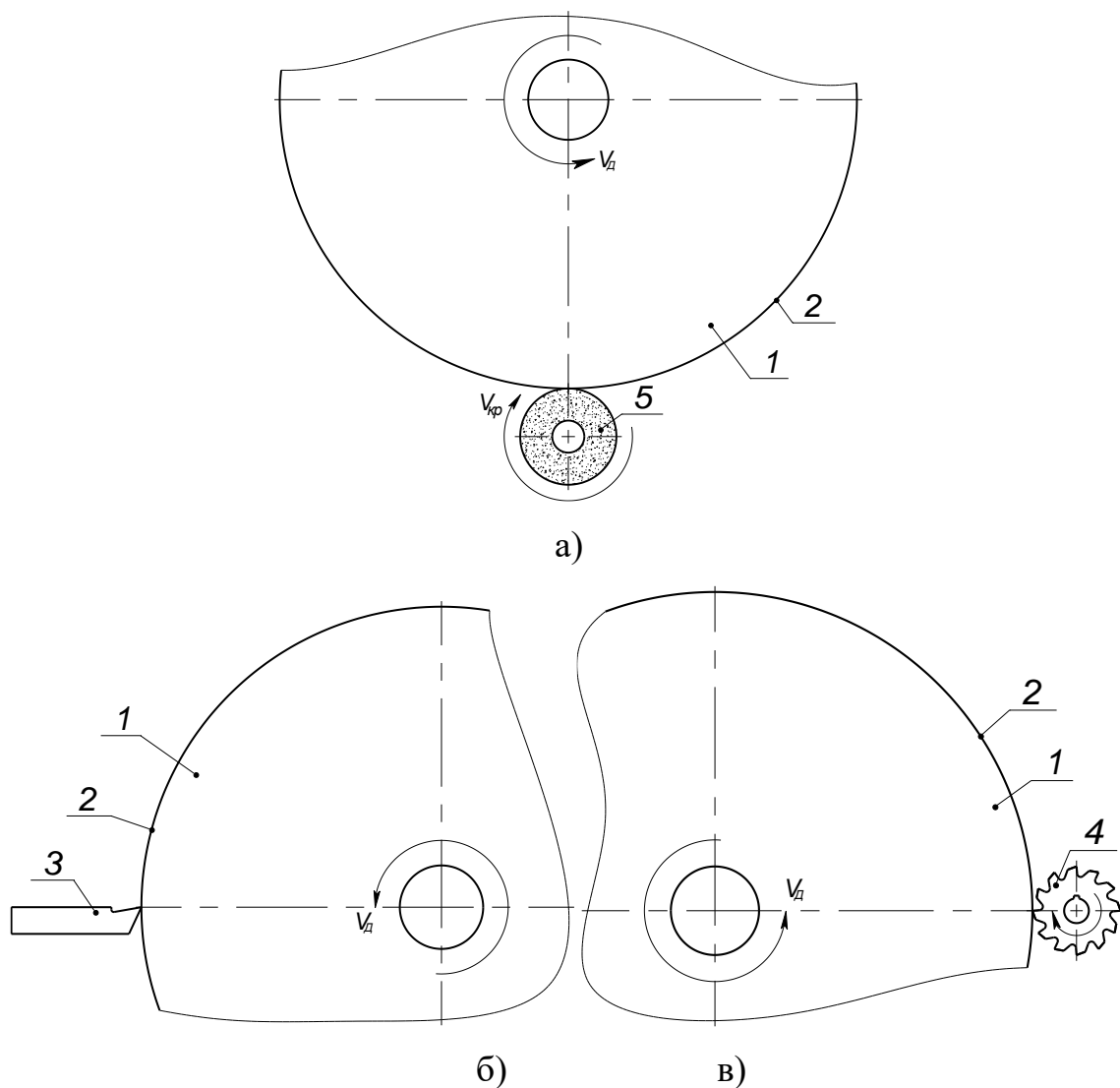


Рис. 6. Комбинированный способ последовательной обработки колесной пары черновым шлифованием (а), точением (б) или фрезерованием (в) где 1 – колесная пара; 2 – обрабатываемая поверхность; 3 – резец; 4 – фреза; 5 – шлифовальный круг; V_d – направление вращения колесной пары; $V_{кр}$ – направление вращения шлифовального круга.

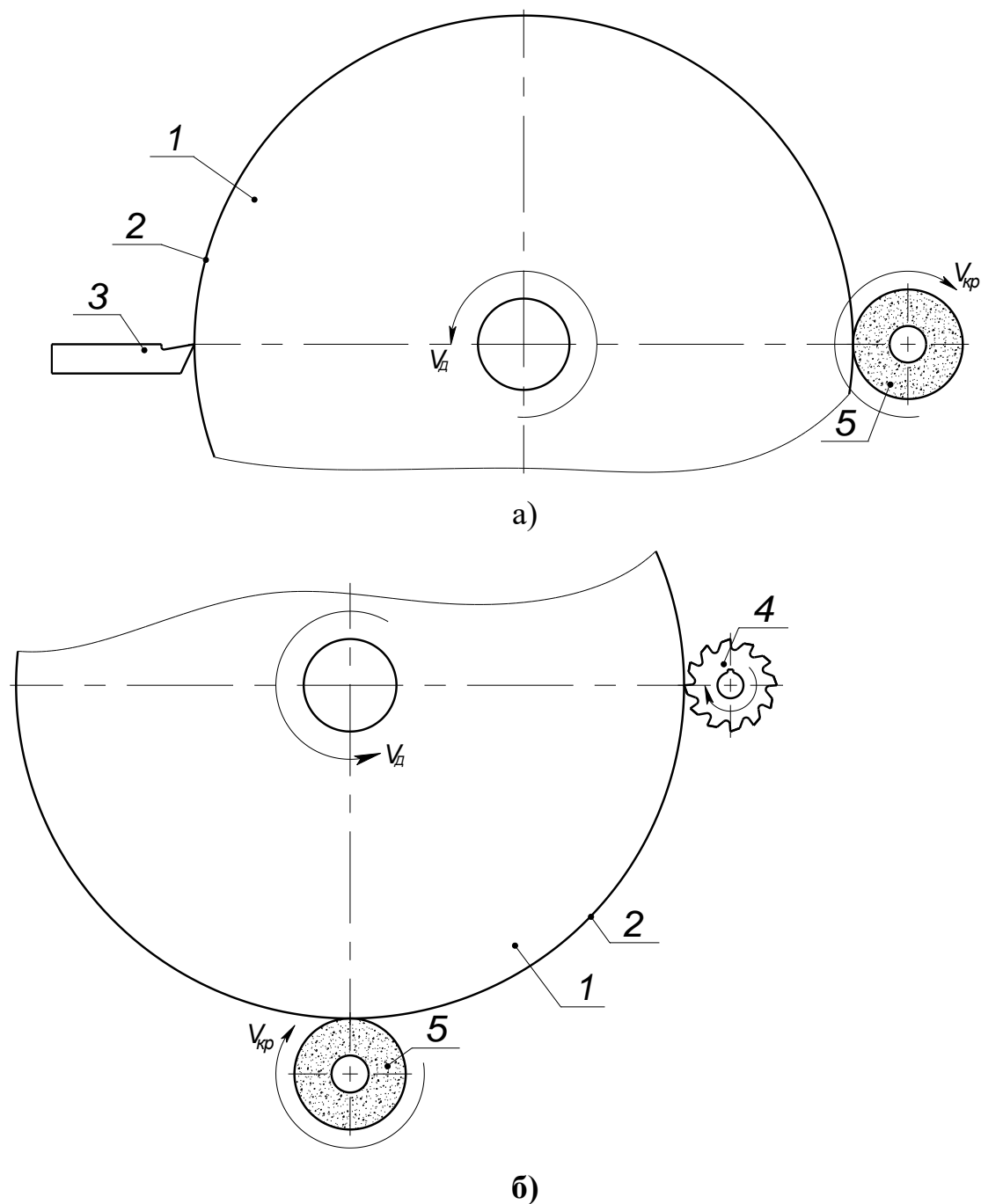


Рис.7. Комбинированный способ обработки колесной пары:
черновым шлифованием и обточкой (а);
черновым шлифованием и фрезерованием (б)

Оба варианта направлены на снижение термомеханических нагрузок на режущие элементы и стабилизацию структуры поверхностного слоя за счет контролируемого теплового воздействия в процессе чернового шлифования.

Рекомендуемые режимы чернового шлифования:

- скорость круга $V_{кр}=30...35$ м/с;

- поперечная (врезная) подача $S_p=0,01\ldots0,05$ мм/об;
- глубина резания $t=1\ldots11,8$ мм;
- скорость вращения детали $V_d=10\ldots50$ м/мин.

Температурный диапазон в зоне контакта ($550\ldots850$ °С на поверхности и $300\ldots600$ °С на глубине минимального снимаемого припуска $t_{\min}=0,2$ мм) способствует формированию перлитно-сорбитной структуры, повышающей обрабатываемость материала при последующих операциях резания [2].

После выполнения чернового шлифования рационально переходить к финишной лезвийной обработке, реализуемой методом фрезоточения. Данный процесс, появившийся как развитие комбинированных технологий резания, позволяет одновременно использовать кинематические принципы фрезерования и точения, обеспечивая высокую производительность и чистоту поверхности.

Расчет технологических параметров фрезоточения [11].

Исходные данные для расчетов:

- Диаметр фрезы $D = 135$ мм;
- Число зубьев фрезы $z = 10$ шт;
- Подача на оборот заготовки (продольная) $S_z = 0,9$ мм/зуб;
- Подача на зуб (периферийная) $S_z = 0,35$ мм/зуб
- Диаметр обрабатываемой детали: $D_{\text{заг}} = 957$ мм;
- Ширина колеса: $B = 130$ мм (рис. 1);
- Глубина фрезерования: $t = 1\ldots2$ мм;
- Материал колесная сталь 2;
- Предел прочности колесной стали 2: $\sigma_B = 910$ МПа.

В табл. 1 представлены рассчитанные режимы резания для дисковой фрезы с СМП при глубине резания в диапазоне $t = 1\ldots2$ мм.

Формула для расчета машинного времени при фрезоточении:

$$T_m = \frac{L_1 + L_2}{S_{\text{м.прод.}}}, \quad (1)$$

где $L_1 = 114$ мм – длина резания до вершины гребня, $L_2 = 17$ мм – длина после вершины гребня.

Результаты расчетов показывают зависимость основных технологических параметров (скорости резания V , частоты вращения n , минутной подачи S_m , силы резания P_z , крутящего момента $M_{кр}$, мощности N_e и машинного времени T_m) от изменения глубины резания. Анализ полученных данных подтверждает возможность рационального выбора режимов для обеспечения стабильности процесса при минимальной нагрузке на режущие элементы.

Таблица 1

Режимы резания дисковой фрезы с СМП
при различных глубинах резания

t , мм	V , м/мин	n , об/мин	S_m , периф. мм/мин	S_m продольн., мм/мин	P_z , Н	$M_{кр}$, Н*м	N_e , кВт
1	180	440	440	0.13	823.4	55.6	2.4
1.5					1246.8	84.2	3.7
2					1600.1	108	4.7
1	280	685	685	0.2	823.4	55.6	3.8
1.5					1246.8	84.2	5.7
2					1600	108	7.3
1	180	440	1540	0.45	2137.1	144.3	6.3
1.5					3163.9	213.6	9.3
2					4177.8	282	12.3
1	280	685	2400	0.7	2137.1	144.3	9.8
1.5					3163.9	213.6	14.5
2					4177.8	282	19.1
1	180	440	11020	3.2	5937.4	400.8	17.5
1.5					7978.8	538.6	23.5
2					9676.1	653.1	28.5
1	280	685	17140	4.97	5937.4	400.8	27.2
1.5					7978.8	538.6	36.5
2					9676.1	653.1	44.3

Заключение

Разработана конструкция сборной дисковой фрезы с СМП, обеспечивающая универсальность настройки и равномерное распределение нагрузки между режущими зубьями. Предложен комбинированный способ восстановления профиля катания колесных пар, реализуемый в последовательном и одновременном вариантах, основанный на сочетании

чернового шлифования и механической лезвийной обработки. Применение разработанных решений позволяет снизить термомеханические нагрузки на режущие кромки СМП, стабилизировать структуру поверхностного слоя, повысить качество формируемого профиля и сократить затраты времени на восстановление колесных пар в ремонтных условиях.

Библиографический список

1. ГОСТ 11018–2011. Колесные пары тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 26 с.
2. Заявка на патент № 2024610723 Российская Федерация, МПК В23В 1/00. Способ восстановления изношенных поверхностей катания колесных пар / Кузнецов В.А., Гречишников В.А., Исаев А.В., Хариев И.Н., Мирзوماхмудов А.Р., Кострюков А.А. : заявл. 28.12.2023. – 6 с.
3. Мирзوماхмудов, А.Р. Проектирование конструкций сборных фасонных фрез для обработки железнодорожных изделий / А.Р. Мирзوماхмудов, А.В. Исаев // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: Технология – Оборудование – Инструмент – Качество: тезисы докл. 37-й Междунар. науч.-техн. конф. – Минск: Бизнесофсет – 2023. – С. 47–49.
4. Мирзوماхмудов, А.Р. Проектирование сборных фрез для обработки колесных пар / А.Р. Мирзوماхмудов, А.В. Исаев // Научные технологии в машиностроении: сб. матер. XV Междунар. науч.-техн. конф. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024. – С. 330–333.
5. Мирзوماхмудов, А.Р. Разработка инновационной конструкции дисковой фрезы со сменными многогранными пластинами для обработки профилей колесных пар железнодорожных составов / А.Р. Мирзوماхмудов // Сборник научных трудов XIV Национальной научно-технической конференции. – М.: Союз машиностроителей России, 2025. – С. 51–56.

6. Патент № 040649 Евразия, МПК В23С 3/00, В23С 5/02, В23С 5/16. Сборная фасонная фреза для обработки профиля железнодорожных колес / Исаев А.В., Гречишников В.А., Мирзوماхмудов А.Р. : № 202100060; заявл. 25.02.2021; опубл. 11.07.2022. – 5 с.
7. Патент № 217298 Российская Федерация, МПК В23С 5/08. Дисковая фреза / Пивкин П.М., Мирзوماхмудов А.Р., Исаев А.В., Ершов А.А. – № 2022132628; заявл. 13.12.2022; опубл. 27.03.2023, Бюл. № 9. – 8 с.
8. Патент № 231960 Российская Федерация, МПК В23С 5/08. Дисковая фреза для обработки бандажей колесных пар / Мирзوماхмудов А.Р., Самсоненко Г.А., Исаев А.В., Домнин П.В. – № 2024126124; заявл. 05.09.2024; опубл. 19.02.2025, Бюл. № 5. – 7 с.
9. Патент № 2746202 Российская Федерация, МПК В23С 3/00, В23С 5/00, E01В 31/02. Сборная фасонная фреза для обработки профиля головки рельсов / Исаев А.В., Гречишников В.А., Мирзوماхмудов А.Р. – № 2020119126; заявл. 09.06.2020; опубл. 08.04.2021, Бюл. № 10. – 9 с.
10. Патент № 2746204 Российская Федерация, МПК В23С 3/00, В23С 5/00, E01В 31/02. Сборная фасонная фреза для обработки профиля железнодорожных колес / Исаев А.В., Гречишников В.А., Мирзوماхмудов А.Р. – № 2020119128; заявл. 09.06.2020; опубл. 08.04.2021, Бюл. № 10. – 10 с.
11. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. С74 Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерикова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. 496 с., ил.

Мирзوماхмудов Азимжон Рустамович - аспирант ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», mirzoazim97@mail.ru

Mirzomakhmudov Azimzhon Rustamovich - Postgraduate Student, MSTU STANKIN, mirzoazim97@mail.ru

Исаев Александр Вячеславович - к.т.н., доцент; ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», avisz@yandex.ru

Isaev Aleksandr Vyacheslavovich - Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, MSTU STANKIN, avisz@yandex.ru

Кузнецов Владимир Анатольевич - д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», rensi@mail.ru

Kuznetsov Vladimir Anatolyevich - Doctor of Engineering Sciences, Professor, MSTU STANKIN, rensi@mail.ru

Хариев Ибрагим Насирович - аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана, ikhariev@gmail.com

Khariev Ibrahim Nasirovich - Postgraduate Student, Bauman Moscow State Technical University, ikhariev@gmail.com

Кострюков Александр Андреевич - руководитель направления по развитию эталонных линий АО «Демиховский машиностроительный завод» (АО «ДМЗ»), kaaoz@bk.ru

Kostryukov Alexander Andreevich - Head of the Standard Line Development Department of JSC Demikhovsky Machine-Building Plant (JSC DMZ), kaaoz@bk.ru

УДК 621.9

Образцов А.Е., Утенков В.М., Кузнецов П.М., Пискарев А.С.

Obraztsov A.E., Utenkov V.M., Kuznetsov P.M., Piskarev A.S.

Повышение производительности лезвийной обработки при использовании колебательных движений

Improving the quality of the treated surface by vibration assist cutting

Статья посвящена исследованию методов вибрационного резания для решения проблемы обработки хрупких материалов, склонных к трещинообразованию при традиционных способах механической обработки. Рассматривается концепция обработки в пластичном режиме, позволяющая получать поверхности высокого качества за счёт обеспечения толщины срезаемого слоя ниже критической глубины резания. Показано, что вибрационное резание с его прерывистым характером взаимодействия инструмента и заготовки способствует расширению границ пластичного режима обработки, снижению сил резания и уменьшению износа инструмента.

В работе проводится сравнительный анализ систем одномерной (1D) и двухмерной (2D) вибрационной обработки, а также ультразвукового вибрационного резания. Экспериментальные исследования демонстрируют, что применение колебательных движений, особенно ультразвукового диапазона, позволяет увеличить критическую толщину недеформированной стружки и улучшить качество обрабатываемой поверхности. Результаты микроскопического анализа подтверждают значительное снижение плотности дефектов на поверхностях, обработанных с применением вибрации, по сравнению с традиционными методами.

The article is devoted to the study of vibration cutting methods to solve the problem of processing brittle materials prone to cracking in traditional machining methods. The concept of plastic processing is considered, which makes it possible to obtain high-quality surfaces by ensuring the thickness of the cut layer below the critical cutting

depth. It is shown that vibration cutting, with its intermittent nature of the interaction of the tool and the workpiece, helps to expand the boundaries of the plastic processing mode, reduce cutting forces and reduce tool wear.

The paper provides a comparative analysis of one-dimensional (1D) and two-dimensional (2D) vibration processing systems, as well as ultrasonic vibration cutting. Experimental studies demonstrate that the use of oscillatory movements, especially in the ultrasonic range, can increase the critical thickness of undeformed chips and improve the quality of the treated surface. The results of microscopic analysis confirm a significant reduction in the density of defects on surfaces treated with vibration, compared with traditional methods.

Ключевые слова: Вибрационное резание, обработка с применением вибрации, обработка хрупких материалов, способы вибрационной обработки, осциллирующие движения, обработка с применением осциллирующих движений, особенности обработки с применением осциллирующих движений.

Keywords: *Vibration cutting, processing using vibration, processing of brittle materials, methods of vibration processing, chip formation during vibration cutting, oscillating movements, processing using oscillating movements, features of processing using oscillating movements.*

Введение

Ряд хрупких материалов, таких как керамика, монокристаллический кремний из-за высокой твёрдости и хрупкости склонны к трещинообразованию во время обработки резанием [1]. При традиционном точении, в хрупком материала накапливаются микротрещины. После преодоления критического порога эти дефекты приводят к возникновению сколов в результате чего деталь не выполняет свои заданные функции.

Для предотвращения разрушения, вызванного распространением трещин, необходимо обеспечить такой режим механической обработки, при котором материал ведёт себя как пластичный. Этот подход, известный как обработка в пластичном режиме, рассматривается как перспективный метод получения

поверхностей высокого качества с минимальной последующей обработкой или вообще без неё. Концепция обработки в пластичном режиме возникла из экспериментов по вдавливанию индентора в хрупкий материал, которые продемонстрировали, что хрупкость материала зависит от размера области вдавливания [2]. На основе этих наблюдений исследователи выдвинули гипотезу, что при механической обработке, если толщина срезаемого слоя (недеформированной стружки) находится ниже определённого критического порога, материал в зоне резания деформируется преимущественно за счёт сдвига, подобно пластичным металлам, благодаря проявлению микроскопической пластичности.

Вибрационное резание

Вибрационное резание — это технология обработки, где в традиционный процесс резания вводится внешняя энергия, вызывающая колебательные движения малой амплитуды, прикладываемые к режущему инструменту или заготовке [3]. В результате создаётся прерывистый характер резания с циклическим контактом между инструментом и заготовкой. Управляемые параметры вибрации - частота и амплитуда, позволяют достичь ряда технологических преимуществ, включая улучшение качества обработанной поверхности в виде уменьшения шероховатости и количества микротрещин, подавление паразитных вибраций, снижение сил резания и повышения стойкости инструмента [4].

Ключевой проблемой механической обработки хрупких материалов, таких как монокристаллический кремний, является их высокая чувствительность к глубине резания. При традиционном резании поверхность без дефектов может быть достигнута только в пластичном режиме при малой толщине срезаемого слоя [5]. Например, даже незначительное увеличение глубины резания на 5–10 мкм приводит к переходу из пластичного к хрупкому режиму с образованием микротрещин, что приводит деталь в негодность. Вибрационное резание позволяет расширить границы пластичного режима обработки за счёт снижения

динамических нагрузок, обеспечивая получение бездефектных поверхностей при более высокой производительности.

Экспериментальные исследования [6] продемонстрировали, что использование вибрационной обработки позволяет увеличить критическую толщину недеформированной стружки при обработке хрупких материалов. Это расширяет технологические возможности получения бездефектных поверхностей.

Колебательное воздействие на инструмент происходит в разных направлениях. Однонаправленное колебательное воздействие является (1D) вибрационной обработкой, которая находит применение как в прецизионной алмазной обработке поверхностей оптических элементов, так и в традиционных операциях с глубиной резания до 0,5 мм [7]. Однако ключевым недостатком 1D-метода является образование на обработанной поверхности периодических следов инструмента, вызванных его колебательным движением [8]. Несмотря на это, метод обеспечивает снижение сил резания до 20% по сравнению с традиционным резанием [9].

Колебательное двунаправленное воздействие (2D), в которой силы резания меньше, чем при обычном резании и 1D-обработке, нашло широкое распространение в вибрационном резании [10]. Уменьшение сил, действующих на инструмент, является следствием комплекса явлений, изменяющих геометрию стружки, характер взаимодействия между передней поверхностью инструмента и заготовкой.

Ультразвуковая обработка с применением осциллирующих движений, являющаяся частным случаем вибрационного резания с высокой частотой колебаний, обеспечивает ряд значительных преимуществ. По сравнению с низкочастотной вибрацией, данный метод характеризуется меньшими силами резания, сниженным коэффициентом трения и улучшением качества обрабатываемой поверхности [10, 11]. Для хрупких материалов, таких как кремний, вибрационная обработка в области ультразвука позволяет увеличить допустимую глубину резания по сравнению с традиционным резанием [12].

Сравнительный анализ структуры поверхности, полученной различными методами обработки, наглядно демонстрирует преимущества колебательного воздействия. На Рис. 1а представлена поверхность, обработанная традиционным способом (без колебаний), где можно наблюдать, что с увеличением глубины резания на дне канавки формируется значительное количество трещин и впадин, что характерно для хрупкого режима удаления материала.

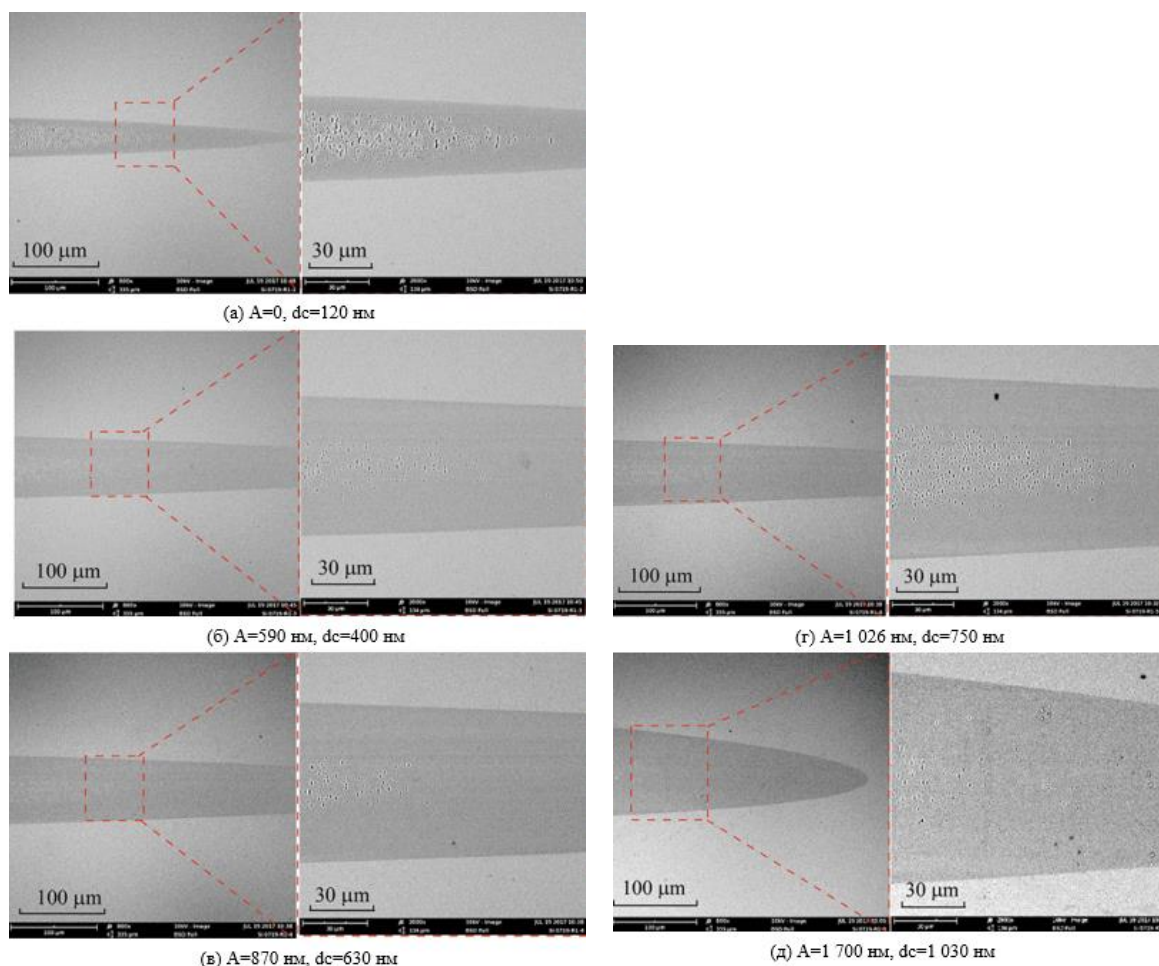


Рис.1. Текстура канавок при различных амплитудах вибрации ($V_c = 200$ мм/мин), сделанная на электронном микроскопе [13]

Как показано на рис. 1б–д, область поверхности с относительно гладкой текстурой на каждой канавке оказалась больше, чем при традиционной обработке. Более того, в области перехода от пластичного к хрупкому разрушению плотность дефектов (трещин и впадин) на поверхности, обработанной с наложением ультразвуковых колебаний, была ниже, чем при традиционном резании. Это подтверждает, что колебательное воздействие

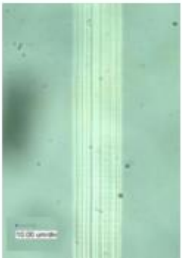
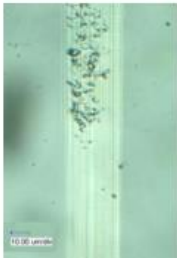
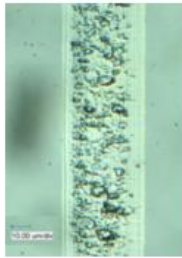
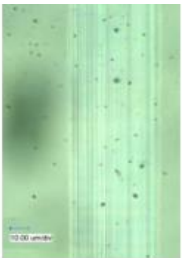
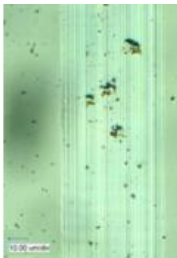
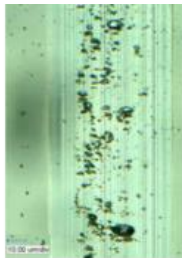
обеспечивает более плавный и контролируемый переход между режимами, минимизируя повреждение поверхностного слоя [13].

В исследовании [14] проведен сравнительный анализ микроточения монокристаллического кремния традиционным способом и с применением осциллирующих движений режущей кромки. Экспериментально установлено, что допустимая глубина резания при использовании осциллирующего движения инструментом составляет 0,45 мкм, что более чем в два раза превышает показатель традиционного точения (0,2 мкм) при номинальной скорости резания 0,4 м/мин.

Данные, представленные в Таблице 1, наглядно демонстрируют преимущества осциллирующей обработки. Точка перехода из пластичного режима удаления в хрупкое разрушение смещается в область больших глубин резания, а в зоне хрупкого перехода наблюдается значительно меньшее количество трещин. Дефекты локализуются преимущественно в центре канавки, где толщина недеформированной стружки достигает максимальных значений.

Таблица 1.

Канавки, полученные при традиционной обработке и с применением осциллирующих движений инструмента (скорость резания 0,4 м/мин)

	Пластичный режим удаления	Переходной процесс	Хрупкое разрушение
Традиционная обработка			
Обработка с наложением колебательных движений			

Проведенные эксперименты [15] показали, что кратковременное воздействие режущей кромки инструмента с применением колебательного воздействия на обрабатываемую поверхность не вызывает хрупкого разрушения, а создает высокое механическое напряжение за минимальный промежуток времени. Этот эффект объясняется тем, что при осциллирующей обработке энергия воздействия распределяется в ограниченном объеме материала, не успевая достичь критического значения, необходимого для развития трещин. Полученные результаты открывают новые возможности для применения осциллирующих движений в прецизионной обработке хрупких материалов, обеспечивая повышение допустимой глубины резания и улучшение качества поверхности.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что технологии резания с наложением колебаний представляют собой перспективное направление для решения проблемы обработки хрупких материалов. Традиционные методы механической обработки таких материалов, как монокристаллический кремний и керамика, сталкиваются с фундаментальным ограничением - необходимостью работы в узком диапазоне пластичного режима удаления при глубинах резания в диапазоне нескольких микрометров.

Экспериментально доказано, что применение колебательного воздействия позволяет существенно расширить границы пластичного режима обработки. Использование осциллирующих движений инструмента повышает допустимую глубину резания более чем в два раза - с 0,2 до 0,45 мкм для монокристаллического кремния. Это достижение открывает возможности для повышения производительности обработки при обеспечении высокого качества поверхности.

Перспективы дальнейшего развития данной технологии связаны с оптимизацией параметров колебательного воздействия для различных классов хрупких материалов, а также с созданием специализированного оборудования,

позволяющего реализовать преимущества данной технологий в промышленных условиях.

Библиографический список

1. Akbar F., Mativenga P.T., Sheikh M.A. An experimental and coupled thermos-mechanical finite element study of heat partition effects in machining. *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 2010, vol. 46, pp. 491–507. DOI: 10.1007/s00170-009-2117-5
2. XinQuan Zhang, Muhammad Arif, Kui Liu, Senthil Kumar Anantharajan. A model to predict the critical undeformed chip thickness in vibration-assisted machining of brittle materials. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2013, vol. 69, pp. 57-66. DOI:10.1016/j.ijmachtools.2013.03.006
3. Wanqun Chen, Lu Zheng, Xiangyu Teng, Kai Yang, Dehong Huo. Cutting Mechanism Investigation in Vibration–Assisted Machining. *Nanomanufacturing and Metrology*, 2018, vol. 1, pp. 268–276. DOI:10.1007/s41871-018-0031-x.
4. Xin Quan Zhang, Shamsul Arefin, Senthil Kumar, Kui Liu. Elastic and plastic chip deformation mechanism in 1D vibration-assisted metal cutting. *4th CIRP Conference on Surface Integrity*, 2018, vol. 71, pp. 309-312. DOI:10.1016/j.procir.2018.05.027
5. Chavoshi S. Z., Goel S., Luo X. Influence of temperature on the anisotropic cutting behavior of single crystal silicon: A molecular dynamics simulation investigation. *Journal of Manufacturing Processes*, 2016, vol. 23, pp. 201-210. DOI:10.1016/j.jmapro.2016.06.009
6. Kim J.D. , Choi I.H. Micro surface phenomena of ductile cutting in the ultrasonic vibration cutting of optical plastics. *Journal of Materials Processing Technology*, 1997, vol. 68, pp. 89-98 DOI: 10.1016/s0924-0136(96)02546-0
7. Xiaobo Wang, Chaosheng Song, Jinglin Tong, Lulu Li, Mingqiang Wu, Bo Zhao. Study on the influence of ultrasonic-assisted cutting on the surface quality of CFRP. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2022, vol. 131, pp. 1989–2000. DOI:10.21203/rs.3.rs-2195027/v1

8. Jun-Yun Chen, Tian-Ye Jin, Xi-Chun Luo. Key machining characteristics in ultrasonic vibration cutting of single crystal silicon for micro grooves. *Advances in Manufacturing*, 2019, vol. 7, pp. 303–314. DOI:10.1007/s40436-019-00263-4
9. Brehl D.E., Dow T.A. Review of vibration-assisted machining. *Precision Engineering*, 2008, vol. 32, pp. 153-172. DOI:10.1016/j.precisioneng.2007.08.003
10. Образцов А.Е., Утенков В.М., Кузнецов П.М. Повышение производительности и качества обработки поверхности титановых сплавов с применением осциллирующих движений. Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 14 – 18 апреля, 2025, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2025
11. Zhang X., Arif M., Liu K. A model to predict the critical undeformed chip thickness in vibration-assisted machining of brittle materials. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2013, vol. 69, pp. 57-66. DOI:10.1016/j.ijmachtools.2013.03.006
12. Zhu Z., To S., Xiao G. et al. Rotary spatial vibration-assisted diamond cutting of brittle materials. *Precision Engineering*, 2015. vol. 44, pp. 211-219. DOI:10.1016/j.precisioneng.2015.12.007
13. Jun-Yun Chen, Tian-Ye Jin, Xi-Chun Luo. Key machining characteristics in ultrasonic vibration cutting of single crystal silicon for micro grooves. *Advances in Manufacturing*, 2019, vol. 7, pp. 303–314.
14. Xinquan Zhang. A model to predict the critical undeformed chip thickness in vibration-assisted machining of brittle materials. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 2013.
15. Toshimichi Moriwaki, Eiji Shamoto, Kenji Inoue. *Ultraprecision Ductile Cutting of Glass by Applying Ultrasonic Vibration*. Kobe University, Kobe/Japan. 1992

Образцов Александр Евгеньевич – начальник конструкторского отдела АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ», аспирант кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, obrazcow2@mail.ru

Obraztsov Alexander Evgenievich - Head of the Design Department at JSC VNIINSTUMENT, Postgraduate student of the Department of «Metal Cutting Machines», Bauman Moscow State Technical University obrazcow2@mail.ru

Утенков Владимир Михайлович – научный руководитель, доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, utencov@bmstu.ru

Utenkov Vladimir Mikhailovich– Scientific supervisor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Metal-Cutting Machines, utencov@bmstu.ru

Кузнецов Павел Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры «Системное моделирование и автоматизированное проектирование», «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», profpol@rambler.ru

Kuznetsov Pavel Mikhailovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of System Modeling and Computer-aided Design, Moscow Aviation Institute (National Research University), profpol@rambler.ru

Пискарев Александр Сергеевич – начальник управления инжиниринговыми проектами АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» заведующий лабораторией, преподаватель кафедры «Технология производства и эксплуатации двигателей летательных аппаратов» «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», tpdla-zl@mail.ru

Piskarev Alexander Sergeevich – Head of the Engineering Projects Department at JSC VNIINSTUMENT, head of the Laboratory, lecturer of the Department «Technology of Production and Operation of Aircraft Engines», Moscow Aviation Institute (National Research University), tpdla-zl@mail.ru

УДК 621.983.3

Паслён А.В., Коробова Н.В.

Paslen A.V., Korobova N.V.

Исследование процессов реверсивной вытяжки

Research of reverse drawing processes

В статье представлены результаты исследования процесса реверсивной вытяжки листового металла для изготовления рабочей ёмкости бытового автоклава из коррозионностойкой стали 08X18H10 (AISI 304). Проведено сравнение с традиционной технологией вытяжки. Методом компьютерного моделирования в программном комплексе DEFORM 3D/2D доказано, что реверсивная вытяжка позволяет получить деталь с более точными геометрическими размерами и лучшим распределением толщины стенки. Разработана научно обоснованная геометрия совмещенной штамповой оснастки.

The article presents the results of a study of the reverse drawing process of sheet metal for the manufacture of a household autoclave working chamber made of corrosion-resistant steel AISI 304. A comparison with the traditional drawing technology is carried out. Using computer simulation in the DEFORM 2D/3D software package, it has been proven that reverse drawing allows to obtain a part with more accurate geometric dimensions and better wall thickness distribution. A scientifically based geometry of combined stamping tooling has been developed.

Ключевые слова: реверсивная вытяжка, листовая штамповка, штамповая оснастка, компьютерное моделирование, экономическая эффективность, DEFORM.

Keywords: reverse drawing, sheet metal forming, stamping tooling, computer simulation, economic efficiency, DEFORM.

Введение

Современное машиностроение сталкивается с необходимостью повышения производительности и качества изделий при одновременном снижении затрат. Одним из перспективных направлений является совершенствование процессов листовой штамповки, в частности, операций вытяжки, используемых для производства полых осесимметричных деталей. К таким деталям относятся рабочие ёмкости автоклавов, к которым предъявляются высокие требования по герметичности, качеству поверхности и точности геометрических размеров.

Традиционные технологии изготовления подобных ёмкостей, основанные на сварке или многопереходной вытяжке, имеют ряд существенных недостатков: высокая трудоёмкость, риск возникновения дефектов, необходимость последующей механообработки и относительно низкая производительность. [3; 5] В связи с этим актуальной задачей является разработка и внедрение прогрессивных методов, таких как реверсивная вытяжка (вытяжка с выворачиванием), позволяющих совместить несколько операций в один ход пресса. [1; 6]

При традиционной многооперационной вытяжке направление деформации остается неизменным на всех переходах. Это приводит к накоплению деформационного упрочнения и остаточных напряжений в материале, что в итоге повышает риск разрушения. Кроме того, при таком подходе сложно обеспечить равномерное утонение по высоте изделия.

Реверсивная вытяжка, при которой направление деформирования меняется на противоположное, предлагает принципиально иной подход. Чередование схем нагружения позволяет «разгрузить» наиболее критичные зоны, перераспределить и снизить значения напряжений. Это не только снижает риск разрушения, но и способствует получению более однородной микроструктуры и механических свойств в готовой детали, а также улучшению качества поверхности. Реверсивный метод преодолевает ограничения

стандартной технологии вытяжки, открывая путь к изготовлению более сложных и ответственных изделий.

Несмотря на потенциальные преимущества, реверсивная вытяжка остается недостаточно изученной. Анализ литературных источников показал отсутствие систематизированных данных по применению данного метода для производства, в частности, по влиянию геометрии оснастки на качество и напряженно-деформированное состояние изделия из коррозионностойких сталей. Таким образом, настоящее исследование является одним из первых шагов в освоении и научном обосновании технологии реверсивной вытяжки для данной области, направленным на формирование инженерной методики расчёта

Целью исследования является определение оптимальной геометрии штамповой оснастки для процесса реверсивной вытяжки детали типа «бак автоклава» и оценка технологической и экономической эффективности данного метода в сравнении со стандартной схемой.

Исследование технологии и разработка инструмента

Объектом исследования служила рабочая ёмкость бытового автоклава, изготовленная из коррозионностойкой стали 08X18H10 [2] или AISI 304 и толщиной стенки 1,5 мм. Основным методом исследования стало компьютерное моделирование процессов стандартной и реверсивной вытяжки в программном комплексе DEFORM 2D/3D [7; 4], позволяющем анализировать напряженно-деформированное состояние, распределение толщины.

Для реверсивного метода была разработана методика построения геометрии совмещенного инструмента (пуансон-матрица), объединяющего операции первого и второго переходов (рис. 1). Особое внимание уделено проектированию конической кромки совмещенного инструмента, которая, согласно расчетам, позволяет снизить напряжение в опасном сечении на 23% по сравнению с радиусной кромкой (с 177 МПа до 136 МПа). (рис. 2)

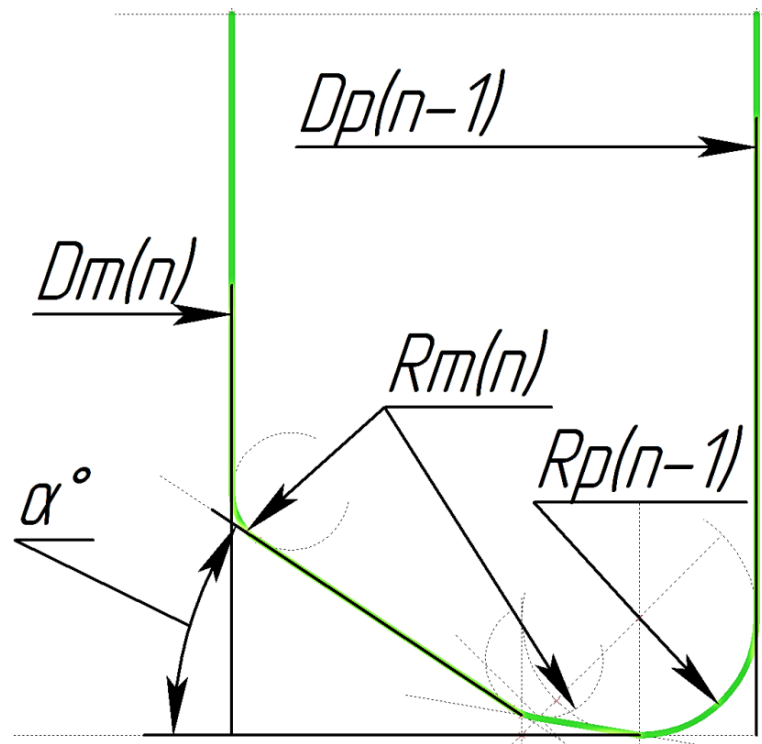


Рис. 1. Проектирование кромки смешанного инструмента. α° – конусность матрицы, D_m – диаметр матрицы, D_p – диаметр пуансона, n – номер перехода, R_m – радиус скругления матрицы, R_p – радиус скругления пуансона

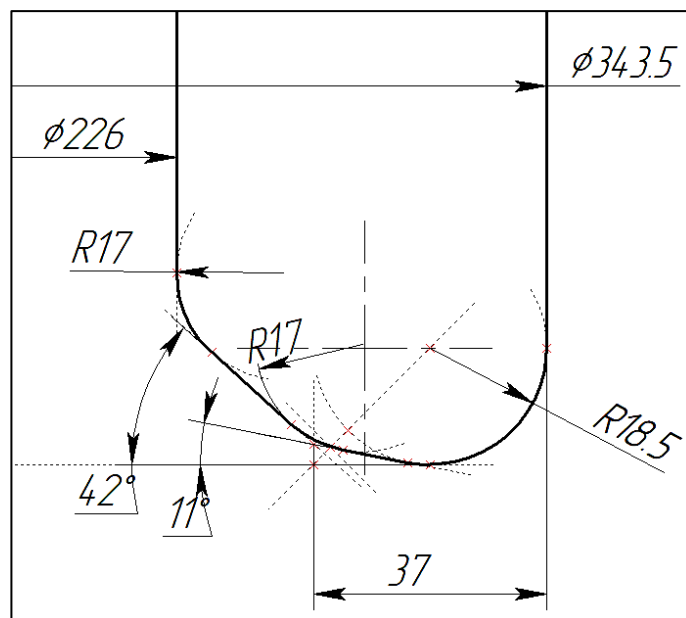


Рис. 2. Рабочая кромка совмещенного инструмента для изготовления бака автоклава

Результаты

При схеме изображенной на рис. 3 результаты моделирования показали, что реверсивная вытяжка позволяет получить деталь за один проход, геометрические размеры которой более точно соответствуют чертежным, чем при стандартном методе.

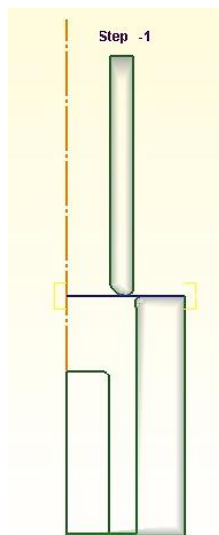


Рис. 3. Схема реверсивной вытяжки за 1 ход пресса

Анализ распределения толщины стенки показал меньшую склонность к образованию критических зон. (рис. 4)

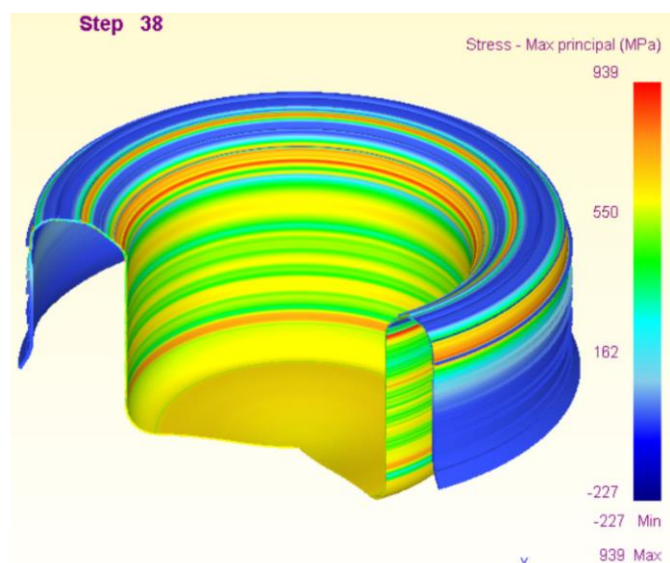


Рис. 4. Максимальные сжимающие и растягивающие напряжения при реверсивной вытяжке

Было установлено, что, несмотря на увеличение работы деформации на 13% за один ход пресса, реверсивный метод обеспечивает лучшее распределение напряжений благодаря чередованию направления деформирования, что снижает риск возникновения разрывов.

Проведенный технико-экономический расчет для годовой программы выпуска 35 000 шт. подтвердил высокую эффективность предлагаемой технологии. В сравнении с технологией, использующей сварку, были получены следующие результаты:

- Снижение полной себестоимости детали на 30%
- Сокращение количества технологического оборудования на 40%
- Снижение внутризаводской оптовой цены на 26%.
- Увеличение запаса финансовой прочности с 31% до 33%.

Заключение

Проведённое исследование позволило решить все поставленные задачи, доказав высокую технологическую и экономическую эффективность применения реверсивной вытяжки для изготовления ответственных осесимметричных изделий.

В ходе работы впервые была научно обоснована и разработана геометрия совмещенного инструмента для реверсивной вытяжки, адаптированная под конкретный материал – коррозионностойкую сталь 08X18H10. Применение конической кромки матрицы вместо радиусной позволило теоретически и экспериментально (через компьютерное моделирование) снизить максимальные напряжения в опасном сечении на 23%, что существенно повышает надежность процесса и снижает риск разрушения заготовки.

Комплексный анализ, включая математические расчеты и моделирование в DEFORM, подтвердил ключевые преимущества предлагаемого технологического решения:

1. Обеспечено повышение качества продукции – готовая деталь характеризуется более точным соответствием габаритных размеров и высоким

качеством поверхности, что минимизирует или исключает последующую механообработку.

2. Достигнута значительная технологическая эффективность – совмещение двух операций вытяжки в один ход пресса позволяет сократить количество единиц технологического оборудования в производственной линии на 40%, что упрощает логистику и снижает капитальные затраты.

3. Подтверждена высокая экономическая целесообразность – сравнительный технико-экономический расчет демонстрирует снижение полной себестоимости изделия на 30%, а также увеличение запаса финансовой прочности предприятия.

Полученные результаты не только имеют практическую ценность для конкретной задачи, но и вносят вклад в развитие технологии реверсивной вытяжки в целом, расширяя область её применения для изготовления глубоких осесимметричных деталей из трудно деформируемых материалов.

Перспективы дальнейших исследований связаны с оптимизацией геометрии оснастки для разного типоразмера и адаптацией технологии для различных классов материалов.

Библиографический список

1. Marciniak. Z., Duncan. J. L., Hu. S. J // Mechanics of sheet metal forming. - ISBN 0750653000 изд. - London: Oxford, 2002. - 210 с.
2. ГОСТ 5632-2014 Нержавеющие стали и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные.
3. Зубцов М.Е. Листовая штамповка: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и технология обработки металлов давлением» 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленинград. Отд-ние. 1980-432с.
4. Инженерные программы: DEFORM // ТЕСИС // ТЕСИС URL: https://tesis.com.ru/cae_brands/deform/

5. Попов Е.А., Шубин И.Н. Методические указания по курсу «Технология и автоматизация листовой штамповки». - М: МТГУ им. Н.Э. Баумана, 1989. - 22 с.
6. Романовский В. П., Справочник по холодной штамповке /– М.: Книга по Требованию, 2012. – 520 с. ISBN 978-5-458-26964-3
7. Скрипаленко М. М., Скрипаленко М. Н. К вопросу выбора программных продуктов для моделирования процессов обработки металлов давлением // Металлург.2013. № 1. с. 20 – 23.

Паслён Анастасия Владимировна – аспирант кафедры «Системы пластического деформирования» ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»; E-mail: beatrus243@gmail.com

Paslen Anastasia Vladimirovna – postgraduate student of the Department of Plastic Deformation Systems of the MSTU «STANKIN»; E-mail: beatrus243@gmail.com

Коробова Наталья Васильевна – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Системы пластического деформирования» ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»; E-mail: n.korobova@stankin.ru

Korobova Natalia Vasilyevna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Plastic Deformation Systems of the MSTU «STANKIN»; E-mail: n.korobova@stankin.ru

УДК 336.67

Пополитова С.В., Мушлаева В.А., Панченко К.Л.

Popolitova S.V, Mushlaeva V.A., Panchenko K.L.

Особенности экономического управления стратегическими бизнес-единицами (корпоративными стартапами) предприятий в условиях высокой неопределенности

Features of economic management of strategic business units (corporate startups) of enterprises in conditions of high uncertainty

Статья посвящена анализу особенностей корпоративных стартапов в современных условиях, отражены вопросы качества их функционирования, разработаны оценочные метрики для контроля эффективности стратегических бизнес-единиц

The article is devoted to the analysis of corporate start-ups' peculiarities under modern conditions, addressing issues concerning their performance evaluation and developing assessment metrics for controlling the effectiveness of strategic business units

Ключевые слова: стратегическая бизнес-единица, корпоративный стартап, центр финансовой ответственности, контроль эффективности, экономическая оценка

Keywords: Strategic Business Unit, Corporate Startup, Center of Financial Responsibility, Effectiveness Control, Economic Evaluation

В условиях высокой неопределенности и динамики современного рынка крупные компании сталкиваются с множеством вызовов. Экономические колебания, изменения в потребительских предпочтениях, технологические прорывы и глобальные кризисы требуют от бизнеса гибкости и способности адаптироваться к новым условиям [2,3].

В такой ситуации выбор стратегии развития становится критически важным [1-6]. Важным элементом такой стратегии являются корпоративные

стартапы или, так называемые, стратегические бизнес-единицы (СБЕ), которые способствуют росту и успешному функционированию организаций.

СБЕ функционируют как самостоятельные субъекты конкурентной борьбы и управляются менеджерами, несущими ответственность за финансовые результаты. В большинстве случаев СБЕ являются подразделениями, филиалами, производственными участками или совместными предприятиями, сосредоточенными на производстве определённых товаров для целевого рынка или его сегментов [4,5].

Процесс бюджетирования и управления такими СБЕ сталкивается с рядом проблем, требующих внимания. Первым шагом в эффективном управлении финансами компании является создание четкой финансовой структуры через организацию центров финансовой ответственности (ЦФО). Эти центры позволяют распределить учет и ответственность за финансовые результаты между различными подразделениями и обеспечить более прозрачное управление ресурсами [2,3,6]. Однако при внедрении СБЕ возникает вопрос о том, как правильно классифицировать эти новые единицы в контексте существующих ЦФО. Одной из основных проблем является отсутствие единого подхода к классификации стратегических бизнес-единиц. В зависимости от специфики бизнеса и выбранной стратегии, СБЕ могут относиться к различным ЦФО — от центров доходов до центров прибыли или инвестиций.

Несмотря на сложности, связанные с бюджетированием и управлением финансами в рамках этих новых структур, важно понимать, что данные вызовы не должны пугать предпринимателей. Напротив, они открывают новые горизонты для роста и инноваций.

Можно предположить, что контрольные показатели, используемые для оценки эффективности работы СБЕ, могут формироваться как на основе традиционных метрик, присущих устоявшимся предприятиям, так и на основе специфических оценочных критериев, типичных для стартапов.

Тем не менее, состав контрольных показателей может значительно варьироваться в зависимости от типа СБЕ. Различные виды СБЕ могут быть

классифицированы по нескольким параметрам, включая степень их автономии от материнской компании, цели функционирования как краткосрочного, так и долгосрочного характера, а также позиционирование СБЕ на целевом рынке.

В рамках данного исследования была разработана классификация СБЕ на основании потенциальных стратегических целей и наиболее значимых оценочных показателей (таблица 1).

Таблица 1.

Классификация СБЕ на основании потенциальных стратегических целей и наиболее значимых оценочных показателей

Название	Ожидаемые цели от СБЕ	Контрольные показатели
Бизнес-единица по оптимизации доходов и клиентских отношений	1. Сгенерировать дополнительные доходы к основному бизнесу 2. Увеличить долю компании на рынке 3. Улучшить удержание и конверсию клиента 4. Увеличить клиентскую базу 5. Увеличить средний чек 6. Оптимизировать персонализацию во взаимодействии с клиентами	Объем продаж, выручка, доля рынка, количество новых клиентов, коэффициент конверсии, объем целевого рынка (TAM), доступный объем обслуживаемого рынка (SAM), достижимый объем обслуживаемого рынка (SOM), средний доход на одного клиента (ARPU), коэффициент оттока клиентов (Churn Rate), суммарная прибыль с одного клиента (LTV)
Бизнес-единица по эффективности капитала и	1. Сгенерировать дополнительные доходы к основному бизнесу 2. Выйти на новые рынки сбыта	Доля рынка, общие затраты по бизнес единице, себестоимость продукции/услуг, объем инвестированного

удержании клиентов	<p>3. Минимизировать затраты по СБЕ</p> <p>4. Использовать Материнскую компанию, как поставщика с более низкой себестоимостью</p> <p>5. Увеличить объем инвестированного капитала</p> <p>6. Оптимизировать персонализацию во взаимодействии с клиентами</p>	<p>капитала, стоимость привлечения клиента (CAC), коэффициент оттока клиентов (Churn Rate)</p>
Бизнес-единица по управлению прибыльностью и возможностей рынка	<p>1. Сгенерировать дополнительные доходы к основному бизнесу</p> <p>2. Увеличить прибыль и рентабельность продаж</p> <p>3. Вывод СБЕ на рынок, как самостоятельного игрока, в краткосрочной перспективе</p> <p>4. Обеспечить устойчивую финансовую жизнеспособность</p> <p>5. Увеличить клиентскую базу</p> <p>6. Увеличить средний чек</p>	<p>Чистая прибыль, рентабельность продаж (ROS), прибыль до налогообложения (EBIT), маржинальная прибыль, объем целевого рынка (TAM), доступный объем обслуживаемого рынка (SAM), достижимый объем обслуживаемого рынка (SOM), скорость сгорания (Burn Rate), денежный путь (Cash Runway), суммарная прибыль с одного клиента (LTV)</p>

<p>Бизнес-единица по финансовому контролю и инвестированию</p>	<p>1. Сгенерировать дополнительные доходы к основному бизнесу</p> <p>2. Разработать и внедрить систему управления бюджетом, которая позволит контролировать и предсказывать расходы</p> <p>3. Создать стратегический план по привлечению финансирования и инвесторов</p> <p>4. Ускорить окупаемость СБЕ</p> <p>5. Вывод СБЕ на рынок, как самостоятельного игрока, в долгосрочной перспективе</p> <p>6. Повысить эффективность использования активов для увеличения прибыли</p>	<p>Скорость сгорания (Burn Rate), денежный путь (Cash Runway), Объем инвестированного капитала, рентабельность инвестиций (ROI), чистая приведенная стоимость (NPV), период окупаемости (Payback Period), рентабельность капитала (ROE)</p>
--	---	---

Анализ приведенных в таблице 1 СБЕ показывает, что, несмотря на различия в их стратегических направлениях, существует значительное пересечение как в целях, так и в контрольных показателях. Все рассматриваемые СБЕ имеют общую цель — сгенерировать дополнительные доходы и денежные потоки к основному бизнесу. Это свидетельствует о том, что компании стремятся к увеличению своей финансовой устойчивости и росту в условиях конкурентной среды. Подобная унификация целей может быть обусловлена корпоративной стратегией, направленной на оптимизацию общей структуры доходов и денежных потоков. Цели, связанные с увеличением клиентской базы,

улучшением удержания клиентов и повышением среднего чека, также являются общими для всех СБЕ. Это подчеркивает важность клиентоориентированного подхода в современных бизнес-моделях. Увеличение клиентской базы и удержание существующих клиентов становятся важными факторами для роста доходов и устойчивости бизнеса.

Некоторые контрольные показатели, такие как доля рынка, коэффициент оттока клиентов (Churn Rate) и объем инвестированного капитала, являются универсальными и применимыми для различных типов СБЕ. Это позволяет компаниям использовать схожие метрики для оценки своей эффективности и конкурентоспособности.

Однако, несмотря на общие элементы, такие как стремление к генерации дополнительных доходов, можно наблюдать значительные различия в целях и контрольных показателях между различными СБЕ. Каждая СБЕ имеет свою уникальную специализацию, что определяет ее стратегические цели. Например, СБЕ по оптимизации доходов и клиентских отношений акцентирует внимание на удержании клиентов и увеличении их конверсии, в то время как СБЕ по эффективности капитала и удержанию клиентов фокусируется на минимизации затрат и выходе на новые рынки. Это различие в фокусе обусловлено разными ролями, которые эти единицы играют в рамках общей бизнес-стратегии компании.

Разные СБЕ могут находиться на различных этапах своего жизненного цикла. Например, СБЕ, стремящаяся выйти на рынок как самостоятельный игрок, может сосредоточиться на краткосрочных целях, таких как увеличение клиентской базы и прибыли. В то же время, более зрелые СБЕ могут ставить акцент на устойчивой финансовой жизнеспособности и оптимизации процессов. Различия в целях также могут быть связаны с характером рынка, на котором действует каждая СБЕ. Например, в условиях высокой конкуренции одни СБЕ могут стремиться к агрессивному захвату доли рынка, тогда как другие могут сосредоточиться на удержании существующих клиентов и повышении их удовлетворенности.

Заключение

Можно заключить, что СБЕ представляют собой ключевые компоненты компании, которые отвечают за выполнение определенных функций и достижение стратегических целей. Эффективность СБЕ может существенно влиять на общую производительность и конкурентоспособность организации.

Проведенный анализ показал, что традиционные подходы к оценке финансовых результатов часто оказываются недостаточными для стартапов и инновационных подразделений. Необходимо опираться на новые контрольные показатели, которые учитывают специфику работы СБЕ и позволяют более точно оценивать их вклад в общие финансовые результаты предприятия. Такой дифференцированный подход к оценке результатов работы и эффективности СБЕ предоставляет возможность систематизировать данные о их работе и принимать обоснованные управленческие решения.

Разработанные рекомендации по внедрению метрик для контроля и оценки эффективности работы центров финансовой ответственности могут служить основой для повышения финансовой устойчивости и адаптивности организаций в условиях неопределенности.

Библиографический список

1. An approach to developing digital enterprise business models Andreev V.N., Eleneva J.Y., Chervenкова S.G., Charuyskaya M.A., Popolitova S.V., Kryzhanovskaya A.S. // В сборнике: European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. – Krasnoyarsk, Russia, 2021. С. 612-620.
2. Вики, Т. Корпоративный стартап: как создать инновационную экосистему в крупной компании / Т. Вики, Д. Тома, Э. Гонс; перевод Н. Лихачева. — Москва: Альпина Паблишер, 2021. — 288 с. — ISBN 978-5-9614-3638-9. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/124566.html> (дата обращения: 03.04.2024)
3. Карпова, Т. П. Управленческий учет: учебник для вузов / Т. П. Карпова. — 2-е изд. — Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2017. — 351 с. — ISBN 5-238-

00633-0. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/81580.html> (дата обращения: 15.06.2023)

4. Определение ключевых факторов стоимости предприятия в условиях непредсказуемого кризиса Пополитова С.В., Тагирова А.М., Червенкова С.Г. // В сборнике: Машиностроение: традиции и инновации (МТИ - 2020). Материалы XIII всероссийской конференции с международным участием. – Москва, 2020. С. 324-329.

5. Проблемы использования технологий аналитики данных при принятии финансово-экономических решений в организациях Гимадинова Л.Р., Пополитова С.В. // В сборнике: Управление и инновационное развитие предприятия: новые подходы и актуальные исследования. Материалы Международной научно-практической конференции. – Москва, 2025. С. 51-55.

6. Российские быстрорастущие технологические компании. В 2 томах. Т.1 / А. Г. Алексеев, А. А. Лихачев, С. Ю. Ляпина [и др.]; составители Д. С. Медовников; под редакцией Д. С. Медовникова. — 2-е изд. — Москва: Издательский дом Высшей школы экономики, 2023. — 176 с. — ISBN 978-5-7598-2802-0 (Т.1), 978-5-7598-2450-3. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/142903.html> (дата обращения: 06.09.2024).

Пополитова Светлана Викторовна -канд. экон. наук, доцент ФГАОУ ВО «МГУ «СТАНКИН», spopolitova@yandex.ru

Popolitova Svetlana Viktorovna - PhD in Economics, Associate Professor at STANKIN Moscow State University, spopolitova@yandex.ru

Мушлаева Влада Алексеевна – студент ФГАОУ ВО «МГУ «СТАНКИН», meteleva978@mail.ru

Mushlaeva Vlada Alekseevna - Student at STANKIN Moscow State University, meteleva978@mail.ru

Панченко Кирилл Леонидович – аспирант ФГАОУ ВО «МГУ «СТАНКИН»

Panchenko Kirill Leonidovich - Postgraduate Student at STANKIN Moscow State University

УДК 502.175, 543.95

Рябов С. А., Иванова Н. А., Булатова Р.И.

Ryabov S.A., Ivanova N.A., Bulatova R.I.

Перспективы создания Эко-биолaborатории кафедры ИНЭБ для развития высокотехнологичного машиностроительного производства

Prospects for creating an Eco-biolaboratory at the INEB Department for the development of high-tech engineering production

В статье обоснована актуальность создания учебно-научной эко-биолaborатории на кафедре инженерной экологии и безопасности (ИНЭБ) МГТУ «СТАНКИН». Приведено возможное материально-техническое и приборное наполнение лaborатории, направленное на решение практических задач в области экологического мониторинга, биотестирования и анализа состояния окружающей среды.

The article substantiates the relevance of creating a training and scientific ecobiological laboratory at the Department of Engineering Ecology and Safety (INEB) of the Moscow State University of Stankin. It presents the possible material, technical, and instrumental equipment of the laboratory, which is aimed at solving practical problems in the field of environmental monitoring, biotesting, and analysis of the state of the environment.

Ключевые слова: биолaborатория, экологическая безопасность, лaborаторное оборудование, научные исследования.

Keywords: biotechnology laboratory, environmental safety, laboratory equipment, scientific research.

Примеры высокотехнологичных отраслей машиностроительного комплекса включают авиастроение, судостроение, автомобилестроение, робототехнику, приборостроение, станкостроение и др. Для успешного функционирования подобного производства необходимы квалифицированные кадры, высокая культура организации труда, развитые научно-

исследовательские центры и лаборатории, доступ к современным технологиям и оборудованию. Таким образом, высокотехнологичное машиностроительное производство является основой развития экономики многих стран, включая Россию, способствуя созданию новых рабочих мест, повышению конкурентоспособности национальной промышленности и укреплению позиций государства на мировом рынке высоких технологий.[1] Особенности и сложности, характерные для таких организаций, заключаются в следующем (таблица 1)

Таблица 1.
Особенности создания лаборатории

Высокая квалификация сотрудников	Работа в исследовательских центрах требует глубоких знаний в области физики, химии, материаловедения, механики и других наук. Исследователи часто имеют ученую степень и многолетний опыт работы.
Использование современного оборудования	Лаборатории оснащены дорогостоящими приборами и инструментами, такими как микроскопы высокого разрешения, спектрометры, испытательные стенды и вычислительные комплексы
Интеграция научных исследований и промышленного сектора	Научно-техническое сотрудничество позволяет компаниям получать новые знания и решения, необходимые для внедрения инноваций в продукцию.
Фокус на перспективные направления	Центры занимаются изучением новейших технологий, материалов и процессов, направленных на улучшение характеристик производимых товаров
Поддержка государственных инициатив	Многие проекты финансируются государством, которое стимулирует развитие ключевых направлений науки и техники

Научно-исследовательские центры и лаборатории играют ключевую роль в развитии высокотехнологичного машиностроительного производства, обеспечивая фундаментальные исследования, разработки инновационных решений и создание прототипов будущих продуктов.

При создании лаборатории можно спрогнозировать вероятные сложности:

- Недостаточное финансирование: Несмотря на важность научных исследований, зачастую наблюдается нехватка финансирования, особенно в небольших лабораториях.
- Отсутствие связи с промышленностью: Иногда возникают трудности в передаче результатов исследований промышленному сектору, поскольку ученые и инженеры говорят на разных языках.
- Проблемы кадрового обеспечения: Набор высококвалифицированных кадров остается сложной задачей, особенно учитывая низкую заработную плату ученых и инженеров в сравнении с зарубежными коллегами.
- Необходимость обновления оборудования: Современные научные приборы быстро устаревают, и обновление парка приборов требует значительных финансовых вложений.
- Конкуренция с международными центрами: Российским научным организациям приходится конкурировать с ведущими мировыми научными центрами, которые предлагают лучшие условия для исследователей.

Биологическая лаборатория в экологии — это специальное подразделение, занимающееся исследованием экологических проблем и вопросов охраны природы посредством изучения биологических объектов и процессов. Экологи-биологи проводят комплексные анализы состояния экосистем, выявляют факторы воздействия на окружающую среду и разрабатывают меры по сохранению биоразнообразия и восстановлению нарушенных природных комплексов.

Актуальность создания эко-биолаборатории в рамках вуза обусловлена необходимостью интеграции научно-исследовательской деятельности в образовательный процесс для подготовки высококвалифицированных кадров, отвечающих современным вызовам в области экологии и биобезопасности. Она служит критически важной ресурсной базой для проведения прикладных исследований по оценке состояния окружающей среды, разработки и апробации новых методов биомониторинга и биоремедиации [2]. Наличие уникальной материально-технической базы позволит коллективу кафедры и студентам выступать с инициативными проектами и побеждать в грантовых конкурсах как

фундаментального (РНФ, РФФИ), так и прикладного характера - госконтракты с промышленными предприятиями (рис.1.).



Российский
центр научной
информации

<https://www.rfbr.ru/>

19	+	регенерационные технологии очистки вод от нефти и масляных эмульсий	
10	+	Поиск и изучение штаммов микроорганизмов, перспективных для разработки на их основе биопрепарата для очистки нефте- и жиродержащих стоков и ремедиации нефтезагрязненных почв Байкальского региона	14-44-04081
11	+	Исследование процессов сорбции гетероатомных соединений и разработка технологии первичной очистки нефти	15-03-03501
3	+	Исследование возможности использования биосорбентов на основе отходов производства для очистки почвы и воды от нефти и нефтепродуктов	16-35-00424

Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина Российской академии наук (ИБФМ РАН)
 XI Всероссийская Пушинская конференция «Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов», V Школа-конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Генетические технологии в микробиологии и микробное разнообразие»

➡ Основные направления работы конференции

Микробное разнообразие и экология микроорганизмов;
 Биохимия, физиология и молекулярная биология микроорганизмов;
 Ресурсный биотехнологический потенциал микробного разнообразия.

Рис. 1. Инициативные проекты и участие в конференциях

В основные задачи лаборатории можно включить:

- **Мониторинг окружающей среды** - оценка уровня загрязнения воздуха, воды и почвы различными веществами, мониторинг динамики популяций животных и растений.
- **Изучение последствий антропогенного влияния** - определение негативных воздействий хозяйственной деятельности человека на природу, оценка степени деградации экосистем.
- **Разработка мероприятий по охране природы** - создание рекомендаций по снижению нагрузки на природные объекты, внедрение экологически чистых технологий и возобновляемых ресурсов.
- **Оценка рисков для здоровья населения** - анализ токсичности загрязнителей и оценка риска возникновения заболеваний, вызванных воздействием вредных веществ.
- **Экологическое образование и просвещение** - организация семинаров, лекций и практических занятий для повышения экологической грамотности студентов.

Современная лаборатория в рамках кафедры ИНЭБ будет предназначена для решения комплексных задач экологического мониторинга, оценки антропогенного воздействия на окружающую среду и разработки инновационных методов ликвидации загрязнений (рис. 2.). Ключевым направлением ее деятельности - это проведение санитарно-гигиенической оценки состояния воздуха и газов, почвы, осадков, донных отложений, воды, отходов, фильтратов, и других загрязняющих частиц.



Рис. 2. Создание лаборатории: актуальность и ценность

Лабораторию необходимо оснастить для выполнения биотестирования и биоиндикации — методов, позволяющих дать интегральную оценку токсикологической опасности среды даже при сложном сочетанном загрязнении [3]. Для учебной и научно-исследовательской биолаборатории экологического профиля в вузе требуется минимальный необходимый (таблица 2) и дополнительный набор оборудования (таблица 3):

Таблица 2.

Базовое оборудование для обеспечения стерильности и подготовки проб

Наименование оборудования	Назначение и ключевые функции
Ламинарный бокс (микробиологической безопасности)	Создание стерильной зоны для работы с культурами микроорганизмов и питательными средами. Обеспечение безопасности и качества работ
Автоклав	Стерилизация лабораторной посуды, питательных сред и обеззараживание отходов
Дистиллятор или система очистки воды (милли-Кью)	Получение чистой воды для приготовления питательных сред и растворов
Аналитические весы	Точное взвешивание реактивов
Сушильный шкаф	Сушка лабораторной посуды и проб
Холодильник и морозильник	Хранение реактивов, питательных сред и культур тест-объектов.
Шейкер-инкубатор	Выращивание микробных и водорослевых культур в контролируемых условиях
pH-метр	Контроль и корректировка pH питательных сред и проб

Таблица 3.

Расходные материалы и тест-системы

Категория материалов	Конкретные примеры и назначение
Коллекции чистых культур тест-объектов	<i>Daphnia magna</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Paramecium caudatum</i> , <i>Escherichia coli</i> (непатогенная), <i>Bacillus subtilis</i> и др.
Наборы питательных сред	Агар, бульоны, среды для санитарно-микробиологического анализа
Химические реактивы	Реактивы для приготовления буферных растворов и питательных сред
Стандартная лабораторная посуда	Колбы, пипетки, чашки Петри, мерные цилиндры и др.

Особое значение имеет научно-исследовательский потенциал лаборатории, направленный на разработку и апробацию новых способов борьбы с последствиями техногенных загрязнений. Это включает исследования в области биоремедиации – технологии очистки с использованием специализированных микроорганизмов-деструкторов и растений-фиторемедиантов, способных нейтрализовать или трансформировать опасные

загрязнения (нефтепродукты, тяжелые металлы, пестициды) в менее токсичные соединения. Практическим выходом таких исследований становятся инновационные методики восстановления нарушенных территорий, оптимизации процессов очистки сточных вод и утилизации отходов.

Таким образом, успешное функционирование научно-исследовательских центров и лабораторий зависит от множества факторов, среди которых особое значение имеет поддержка государства, интеграция с бизнесом и привлечение талантливых молодых специалистов. Результаты внедрения предполагают следующие возможности (рис. 3):

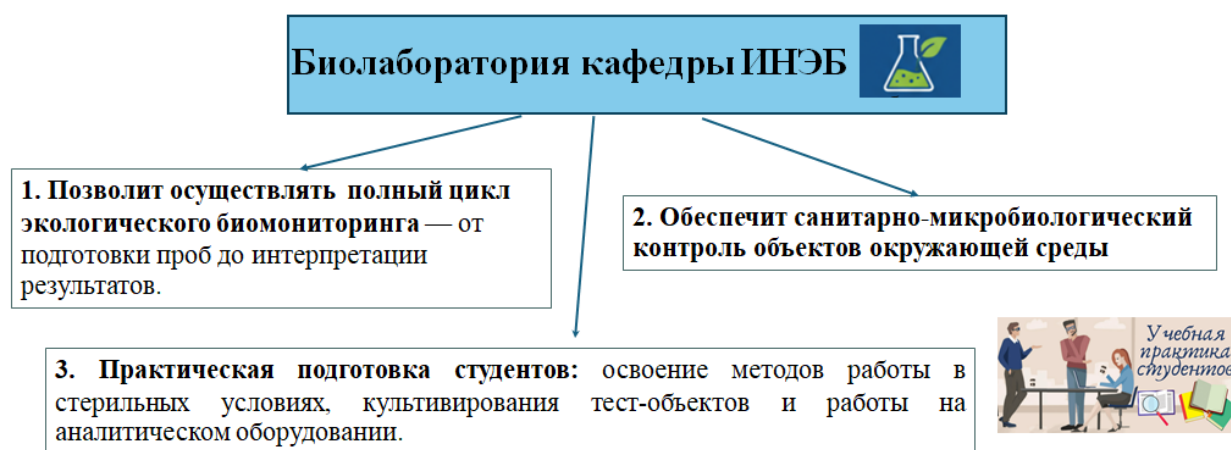


Рис. 3. Перспективы развития и возможности

Создаваемая лаборатория позволит осуществлять полный цикл экологического биомониторинга — от подготовки проб до интерпретации результатов. Будет возможно проводить интегральную оценку токсичности воды, почв и отходов с использованием стандартизированных биотестов на дафниях, водорослях и бактериях, что соответствует требованиям нормативных документов. Научная составляющая будет включать исследования в области биоремедиации — отбор микроорганизмов-деструкторов и оценку эффективности биопрепаратов для очистки загрязненных сред.

Библиографический список

1. Экспертное заключение по итогам сессии ВЭФ-2024: «Биоэкономика России: траектории развития». Стратегия развития биоэкономики России: анализ и перспективы 2024. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://roscongress.org/materials/strategiya-razvitiya-bioekonomiki-rossii-analiz-i-perspektivy-2024/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 19.10.2025)
2. Федеральный научно-исследовательский социологический центр РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.fnisc.ru/grant_rffi.html (дата обращения: 19.10.2025)
3. Gluvex. Лаборатория экологического контроля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gluvexlab.com/articles/laboratoriya-ekologicheskogo-kontrolya/?ysclid=mfccr6ke5x889431727> (дата обращения: 19.10.2025)

Рябов Сергей Александрович – к.т.н., доцент кафедры инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», E-Mail: zarr05@mail.ru

Ryabov Sergey Aleksandrovich - candidate of Sc. in engineering, associate Professor of the Department of environmental engineering and life safety of MSTU «STANKIN», E-Mail: zarr05@mail.ru

Иванова Наталья Александровна – к.т.н., доцент кафедры инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», E-Mail: ivanova_na2006@mail.ru

Ivanova Natalia Aleksandrovna - candidate of Sc. in engineering, associate Professor of the Department of environmental engineering and life safety of MSTU «STANKIN», E-Mail: ivanova_na2006@mail.ru

Булатова Регина Искандеровна – студент (ЭДБ-23-08), кафедры инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», E-Mail: rrbbiii@mail.ru

Bulatova Regina Iskanderovna – student (ЭДБ-23-08), of the Department of environmental engineering and life safety of MSTU «STANKIN», E-Mail: rrbiii@mail.ru

УДК 621.9.025.7

Самсоненко Г.А., Гречишников В.А., Мирзомахмудов А.Р.

Samsonenko G.A., Grechishnikov V.A., Mirzomakhmudov A.R.

Повышение эффективности работы сборного резьбообразующего инструмента на основе применения схемы планетарного резьбофрезерования

Improving the efficiency of an assembled thread-forming tool based on the application of a planetary thread milling scheme

В статье представлена разработка портативного устройства для нарезания наружной резьбы труб в устье скважин с применением схемы планетарного фрезерования. Устройство обеспечивает совмещение вращательного и поступательного движений инструмента, что позволяет повысить равномерность резания и качество формируемого профиля. Для работы с устройством создана сборная резьбовая фреза со сменной режущей пластиной, оснащенной механизмом регулировки угла наклона, обеспечивающим возможность обработки резьб различной формы и конусности. Разработана параметрическая 3D-модель процесса, позволяющая рассчитывать профиль инструмента в зависимости от геометрии заготовки и условий обработки. Проведенные испытания подтвердили эффективность планетарной схемы обработки, обеспечивающей снижение вибраций, равномерность износа и повышение чистоты обработанной поверхности.

The paper presents the development of a portable device for external thread cutting on pipes at the wellhead using a planetary milling scheme. The device combines rotational and translational tool movements, which improves cutting uniformity and the quality of the formed thread profile. An assembled thread milling cutter with an indexable insert and an adjustable inclination mechanism was developed for operation with the device, providing the capability to machine threads of various shapes and tapers. A parametric 3D model of the process was created to calculate the tool profile depending

on the geometry of the workpiece and processing conditions. The conducted tests confirmed the efficiency of the planetary milling scheme, which ensures reduced vibration, uniform tool wear, and improved surface finish quality.

Ключевые слова: Планетарное фрезерование, резьбовая фреза, сменная режущая пластина, параметрическая модель, резьба, упорная резьба.

Keywords: Planetary milling, thread milling cutter, indexable insert, parametric model, thread, buttress thread.

Введение

Современное развитие нефтегазовой отрасли России сопровождается активным внедрением технологий, направленных на повышение надежности и производительности оборудования. Существенное влияние на эффективность систем добычи нефти и газа оказывает качество и точность изготовления резьбовых соединений, обеспечивающих герметичность и прочность узлов. Обработка резьбовых элементов, особенно на трубах нефтяного сортамента, относится к числу наиболее трудоемких операций, требующих высокой точности и стабильности параметров резания.

Традиционные методы нарезания резьбы предполагают использование крупногабаритных токарных или фрезерных станков, что ограничивает их применение в стесненных условиях устья скважин и при проведении монтажно-ремонтных работ. В связи с этим возникла необходимость разработки компактного и мобильного устройства, обеспечивающего обработку резьбовых поверхностей с требуемым качеством в полевых условиях без привлечения громоздкого оборудования.

Разработка портативного устройства для резьбофрезерования

На основании анализа существующих конструкций разработано устройство для нарезания наружной резьбы труб в устье скважин [5], в котором реализована схема планетарного фрезерования (рис. 1). Применение данного принципа обеспечивает равномерное распределение нагрузки между зубьями

инструмента, повышение стойкости режущих пластин и улучшение качества обработанной поверхности.

Масса устройства составляет 40 кг, габариты — $\varnothing 310 \times 420$ мм, что обеспечивает удобство транспортировки и монтаж на трубе без дополнительного подъемного оборудования. Для надежной фиксации предусмотрены прижимные элементы, расположенные на наружной поверхности корпуса. Они равномерно распределяют нагрузку вдоль обрабатываемого участка трубы и предотвращают деформацию установочной поверхности.

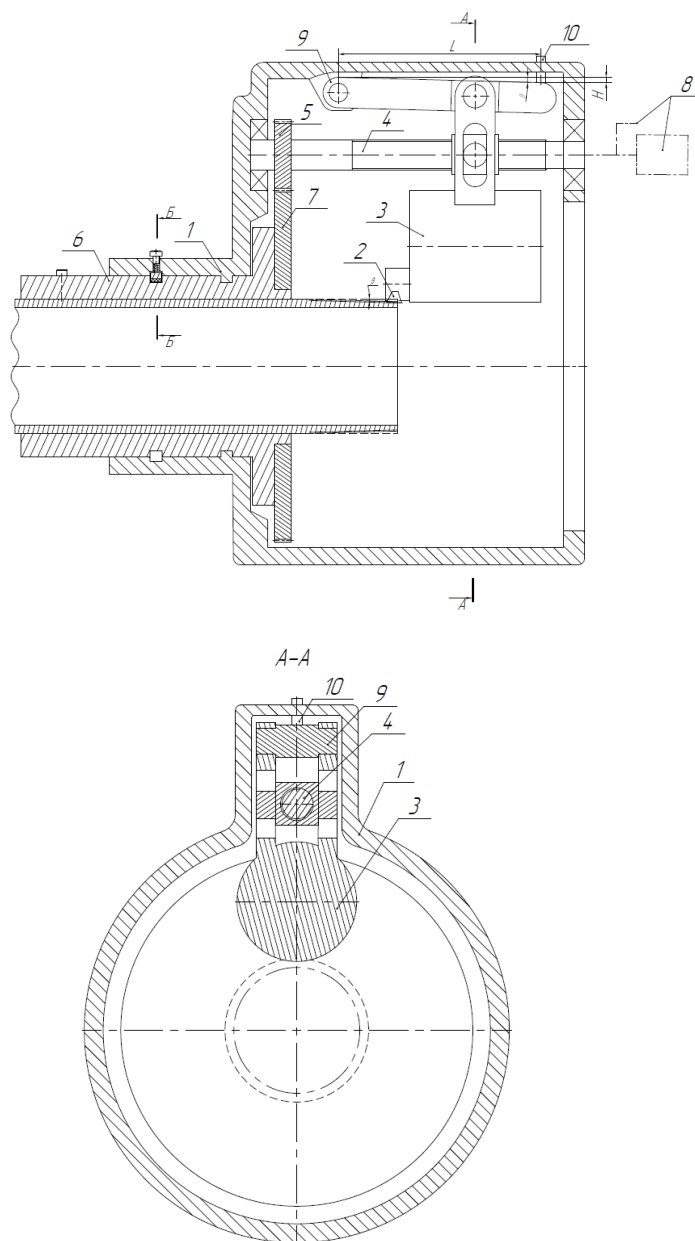


Рис. 1. Устройство для нарезания резьб на трубах в устье скважин

Устройство состоит из корпуса 1, внутри которого размещены механизмы вращения и подачи режущего инструмента 2, соединенные с электродвигателем 3. Передача вращения осуществляется через систему зубчатых колес, включающую ходовой винт 4, малое зубчатое колесо 5, установленное на валу двигателя, и большое зубчатое колесо 7, закрепленное на гильзе 6. Привод вращения устройства 8 обеспечивает одновременное вращательное и поступательное движение инструмента, что позволяет реализовать планетарную схему фрезерования. Для задания угла наклона траектории перемещения инструмента предусмотрена регулировочная планка 9, шарнирно закрепленная одним концом на внутренней стенке корпуса 1 и взаимодействующая с регулировочным винтом 10, установленным в корпусе. Положение планки 9 изменяется при вращении винта 10, что обеспечивает настройку угла β , соответствующего конусности нарезаемой резьбы. На внешней поверхности корпуса 1 расположены прижимные элементы, обеспечивающие фиксацию устройства на обрабатываемой трубе, равномерное распределение нагрузки по ее длине и предотвращение деформации установочной поверхности. Корпус 1 изготовлен из легких, но прочных материалов, что обеспечивает необходимую жесткость и снижает массу устройства.

Корпус снабжен фрикционным элементом между ним и гильзой, который снижает вибрации при работе и повышает стабильность резания. Вращение и подача инструмента синхронизированы через систему зубчатых передач. Коническая резьба формируется при установке планки 9 под углом β , определяемым выражением (1):

$$\arctan \beta = \frac{H}{L}, \quad (1)$$

где H – глубина установки регулировочного винта, L – расстояние между осями планки и винта.

Передаточное отношение между зубчатыми колесами описывается зависимостью (2):

$$n = \frac{Z_2}{Z_1}, \quad (2)$$

где Z_1 и Z_2 – числа зубьев малого и большого зубчатых колес соответственно; n – количество оборотов регулировочного винта за один обкат малого колеса вокруг большого. Шаг нарезаемой резьбы P определяется формулой (3):

$$P = \frac{P_{\text{винт}}}{n}. \quad (3)$$

где $P_{\text{винт}}$ – шаг ходового винта.

Для предотвращения перегрева и износа режущего блока предусмотрена возможность подачи смазочно-охлаждающей жидкости через встроенные каналы. На основе выполненных эскизов и кинематических расчетов создана трехмерная модель устройства (рис. 2), что позволило провести проверку кинематических соотношений и уточнить геометрию зубчатой передачи.

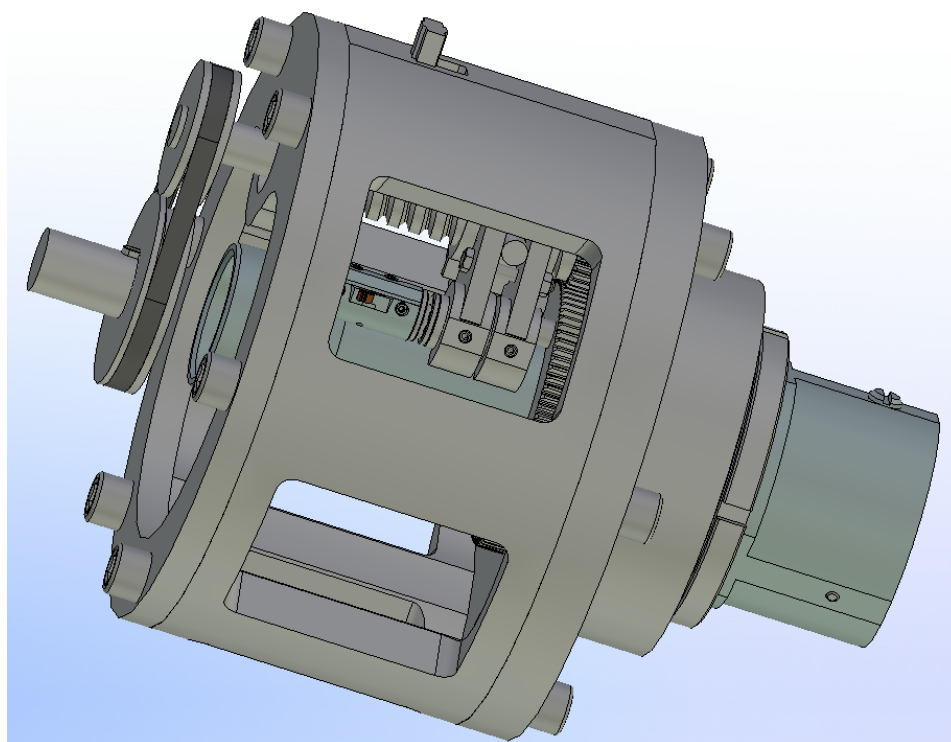


Рис. 2. Трехмерная модель разработанного устройства

Разработанное устройство обладает следующими преимуществами:

- Универсальность – возможность настройки под различные типы и профили резьбы;

- Повышенная производительность – применение метода планетарного фрезерования снижает износ режущего инструмента;
- Портативность – малая масса и простота установки позволяют использовать устройство в полевых условиях;
- Экономичность – простая конструкция снижает эксплуатационные затраты и повышает надежность.

Разработка сборного резьбофрезерного инструмента

Для работы с устройством была спроектирована сборная резьбовая фреза [4, 5] со сменной режущей пластиной, позволяющая выполнять обработку различных типов резьб – метрических, дюймовых и упорных (рис. 3 и 4).

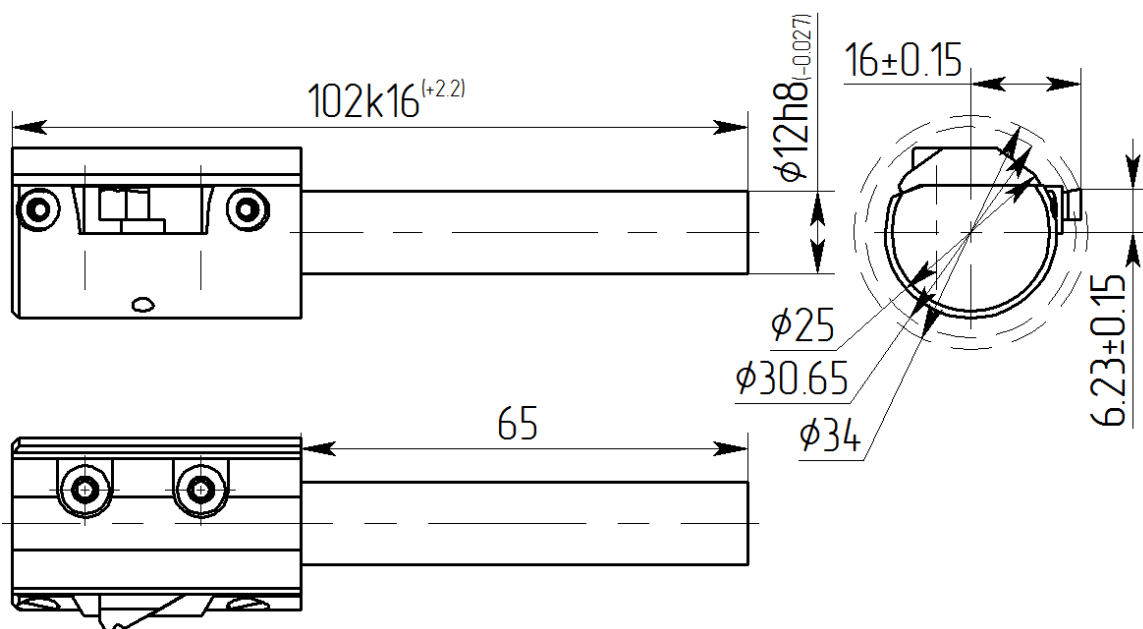


Рис. 3. Конструкция сборной резьбовой фрезы

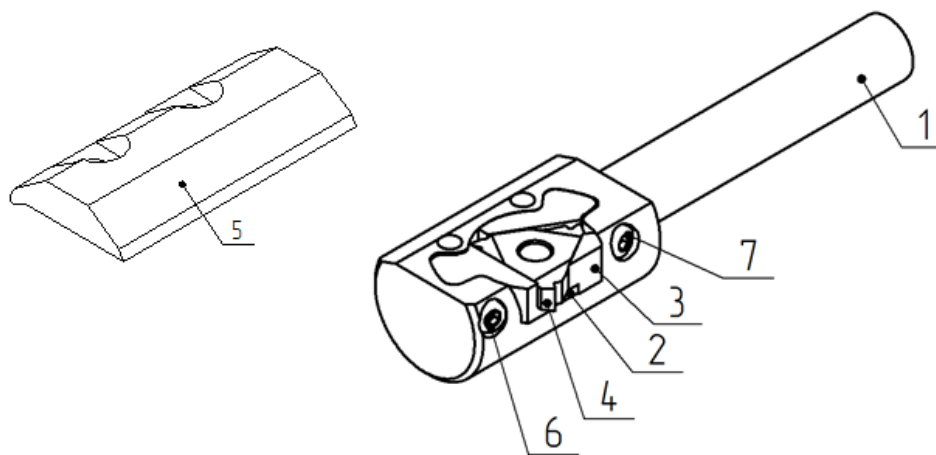


Рис. 4. Схема регулировки режущей пластины

Фреза состоит из корпуса 1, круглой опоры 2, подложки 3, на которой размещается режущая пластина 4, крышки-прихвата 5 и винтов 6, 7. При затяжке винтов подложка поворачивается вокруг опоры, что изменяет положение пластины под требуемым углом к оси инструмента. Это позволяет точно настроить профиль резания при обработке конических и упорных резьб. Резьбовая фреза изготовлена на Московском инструментальном заводе, где проведены ее опытные испытания. На конструкцию получен патент РФ № 204572.

Планетарный способ резьбофрезерования

Способ планетарного фрезерования резьб со специальным профилем требует использования инструмента, профиль режущей части которого специально рассчитан для конкретных параметров обработки. К данным параметрам относятся кинематические углы при работе, угол схода стружки, диаметр обрабатываемой резьбы и диаметр инструмента. Сущность планетарного способа заключается в том, что инструмент совершает одновременно несколько согласованных движений:

- D_r – вращение вокруг собственной оси;
- $D_{пр}$ – продольное движение подачи вдоль оси трубы;
- D_k – радиальное движение к оси заготовки (для конических резьб);
- D_o – планетарное движение вокруг оси заготовки.

Комбинация этих движений обеспечивает плавное формообразование витков резьбы без прерывания контакта режущих кромок с поверхностью заготовки. Схема обработки показана на рис. 5, где A – межцентровое расстояние; D_3 – диаметр заготовки; $D_{и}$ – диаметр инструмента.

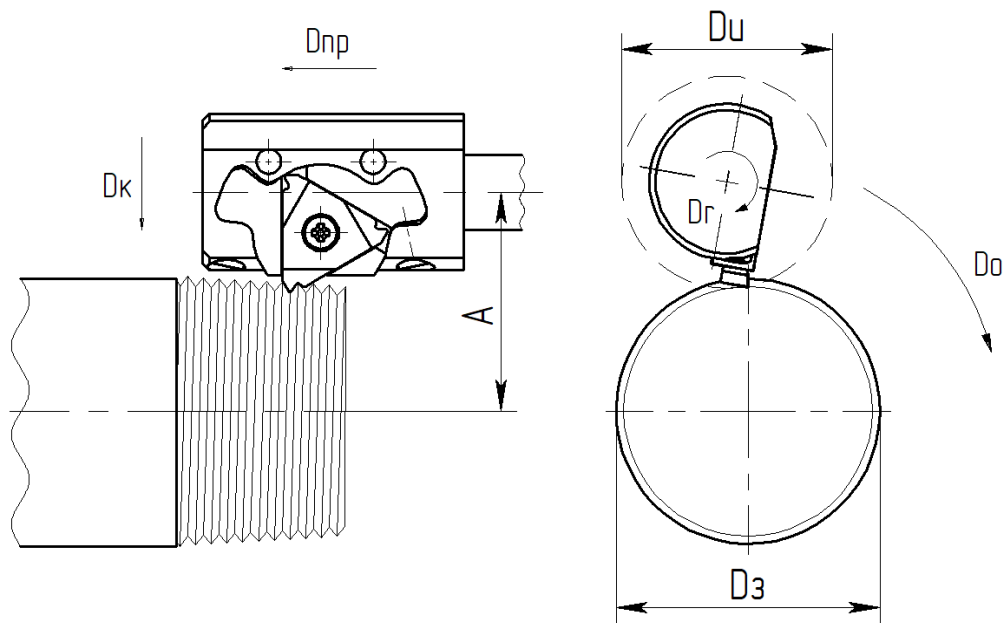


Рис. 5. Схема обработки наружной резьбы по способу планетарного резьбофрезерования

Для оценки параметров процесса разработана параметрическая 3D-модель [3] обработки в среде T-FlexCAD, которая позволяет варьировать входные параметры (диаметры инструмента и заготовки, шаг резьбы, конусность, углы установки) и получать профиль режущей кромки в зависимости от конкретных условий (рис. 6).

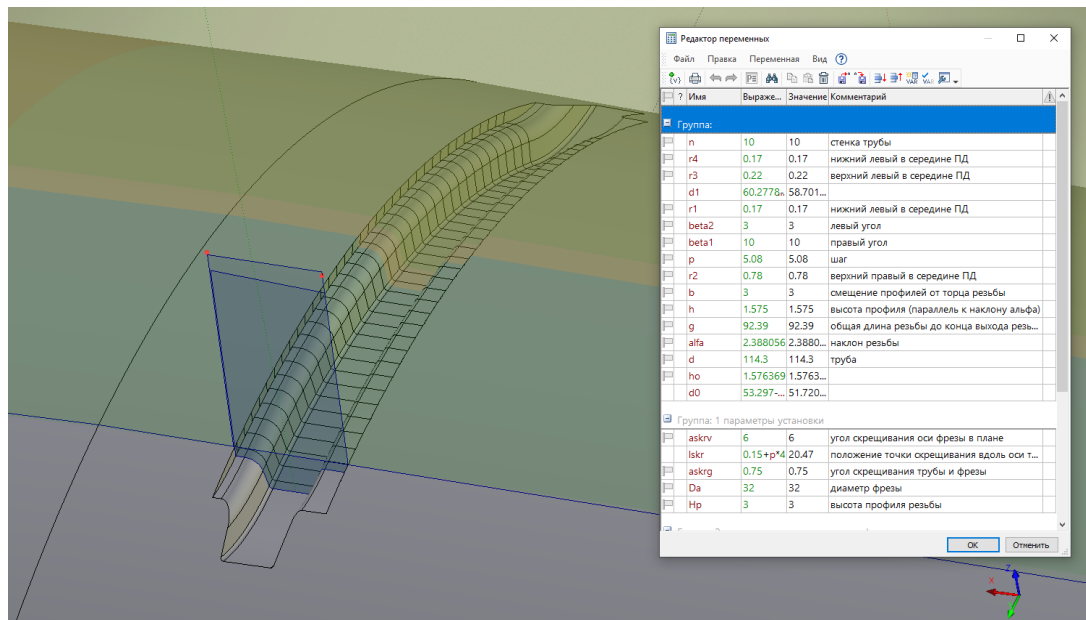


Рис. 6. Входные параметры для расчета профиля режущей части

Для исследования результатов моделирования были рассчитаны профили режущих пластин для обработки резьб насосно-компрессорных труб (НКТ 73) и упорной резьбы Buttress по ГОСТ 633-80 [1] (рис. 7).

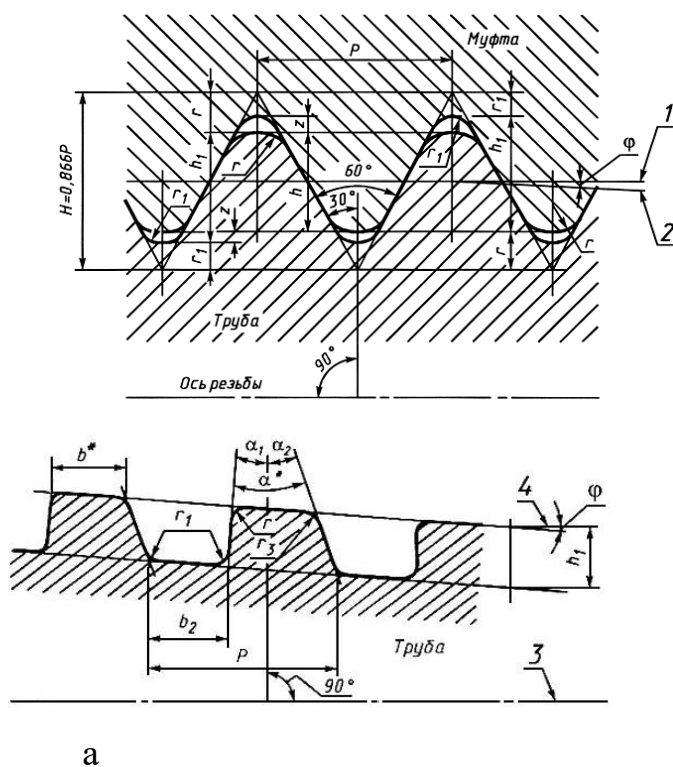


Рис. 7. Профили резьб НКТ 73 (а) и упорной резьбы Buttress (б)

Профили режущих пластин, рассчитанные для обработки указанных типов резьб, представлены на рис. 8.

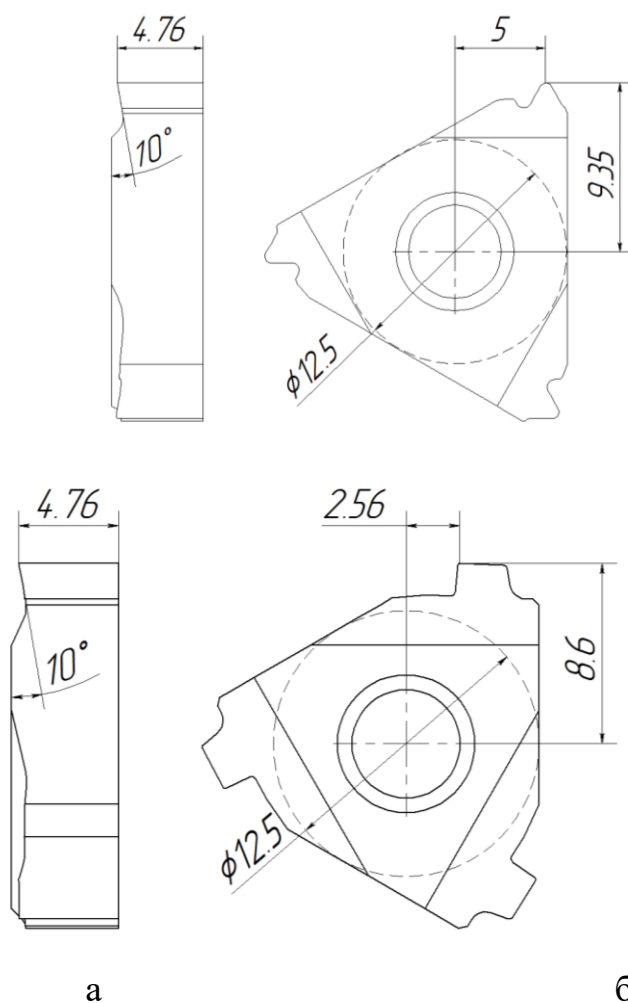


Рис. 8. Профили режущих пластин для обработки резьб НКТ 73 (а) и упорной резьбы Buttress (б)

Материал режущих пластин – твердый сплав Т15К10ОМ, обеспечивающий высокую износостойкость и термостойкость при резании легированных сталей. Пластины выполнены треугольной формы (тип Т) с диаметром вписанной окружности $d_{\text{впис.}} = 12,5$ мм и высотой режущей части 4,76 мм. Геометрические параметры режущей части после заточки: передний угол $\gamma = 10^\circ$, задний угол $\alpha = 0^\circ$.

Заключение

В результате проведенных исследований разработано компактное портативное устройство массой 40 кг и габаритами $\varnothing 310 \times 420$ мм, предназначенное для нарезания наружной резьбы в устье скважин по схеме планетарного фрезерования, обеспечивающей равномерное распределение нагрузки и повышение качества обработки.

Создана сборная резьбовая фреза со сменной режущей пластиной, оснащённой механизмом регулировки угла наклона, что позволяет формировать резьбы различной формы и конической с высокой точностью.

Разработанная параметрическая 3D-модель процесса дает возможность рассчитывать профиль инструмента в зависимости от геометрии заготовки и заданных технологических условий, оптимизируя конструкцию режущей части.

Результаты моделирования и экспериментальных испытаний на резьбах НКТ 73 и Buttress подтвердили эффективность предложенной планетарной схемы, проявившуюся в снижении вибраций, равномерном износе режущих кромок и повышении чистоты обработанной поверхности.

Разработанная технология сочетает в себе высокую точность, портативность и универсальность, что делает ее перспективным решением для использования в полевых условиях при ремонте и восстановлении резьбовых соединений нефтегазового оборудования.

Библиографический список

1. ГОСТ 633-80. Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 31 с.
2. Гречишников В.А., Самсоненко Г.А., Мирзомахмудов А.Р. Повышение производительности и снижение эксплуатационных затрат при обработке трубных резьб на основе планетарной фрезерной обработки // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 1 (72). – С. 49-57.
3. Гречишников В.А., Самсоненко Г.А., Кочев А.В. Профилирование и изготовление резьбовых пластин сборного инструмента для обработки труб нефтяного сортамента по способу планетарного резьбофрезерования // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 3 (70). – С. 16-22.
4. Пат. 204572 Российская Федерация, МПК В23G 5/18. Резьбофреза / Самсоненко Г.А., Косарев В.А., Мирзомахмудов А.Р.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН». – № 2020136706; заявл. 09.11.2020 г.; опубл. 31.05.2021 г., Бюл. № 16 – 1 с.: ил.

5. Самсоненко Г.А., Гречишников В.А., Мирзомахмудов А.Р. Проектирование и эксплуатация резьбовых фрез для планетарного фрезерования резьб на трубах нефтяного сортамента// Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 4 (71). – С. 22-32.

Самсоненко Григорий Андреевич - аспирант ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», samsonenko_gr@mail.ru

Samsonenko Grigory Andreevich - postgraduate student at MSTU STANKIN, samsonenko_gr@mail.ru

Гречишников Владимир Андреевич - д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», ittf.stankin@yandex.ru

Grechishnikov Vladimir Andreevich - Doctor of Engineering, Professor, MSTU STANKIN, ittf.stankin@yandex.ru

Мирзомахмудов Азимжон Рустамович - аспирант ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», mirzoazim97@mail.ru

Mirzomakhmudov Azimzhon Rustamovich - postgraduate student at MSTU STANKIN, mirzoazim97@mail.ru

УДК 338.24

Со Пъей Хейн, Бадалова А.Г.

Soe Pyae Hein, Badalova A. G.

Принципы управления устойчивым развитием промышленных предприятий на основе применения информационных технологий
Principles of sustainable development management of industrial enterprises based on the use of information technology

Современные промышленные предприятия сталкиваются с необходимостью адаптации к вызовам глобальной экономики, ужесточению экологических норм и растущим требованиям к социальной ответственности бизнеса. В этих условиях концепция устойчивого развития становится ключевым элементом стратегического управления, обеспечивающим баланс экономической эффективности, экологической безопасности и социального благополучия. Целью статьи является анализ принципов управления устойчивым развитием промышленных предприятий на основе применения современных информационных технологий. Основопологающим принципом является цифровая трансформация системы управления, которая реализуется через внедрение сквозных технологий Индустрии 4.0. Наиболее значимый эффект достигается при использовании промышленного интернета вещей, позволяющего в режиме реального времени отслеживать все параметры производственного процесса. При этом важно отметить, что максимальная эффективность достигается при комплексном подходе, когда системы мониторинга интегрированы с системами поддержки принятия решений. Реализация разработанных подходов требует создания благоприятных институциональных условий, включая развитие цифровой инфраструктуры, совершенствование нормативно-правовой базы и стимулирование инвестиций в «зелёные» технологии. Особую роль в этом процессе должны играть

государственно–частные партнёрства и международное сотрудничество в области устойчивого промышленного развития.

Modern industrial enterprises face the need to adapt to the challenges of the global economy, stricter environmental regulations and growing demands for business social responsibility. In these conditions, the concept of sustainable development becomes a key element of strategic management, ensuring a balance of economic efficiency, environmental safety and social well-being. The purpose of the article is to analyze the principles of managing the sustainable development of industrial enterprises based on the use of modern information technologies. The fundamental principle is the digital transformation of the management system, which is implemented through the introduction of end-to-end technologies of Industry 4.0. The most significant effect is achieved when using the industrial Internet of Things, which allows real-time monitoring of all parameters of the production process. It is important to note that maximum efficiency is achieved with an integrated approach, when monitoring systems are integrated with decision support systems. The implementation of the developed approaches requires the creation of favorable institutional conditions, including the development of digital infrastructure, improvement of the regulatory framework and promotion of investments in «green» technologies. Public–private partnerships and international cooperation in the field of sustainable industrial development should play a special role in this process.

Ключевые слова: устойчивое развитие; промышленные предприятия; цифровая трансформация; экономическая устойчивость; управление ресурсами.

Keywords: sustainable development; industrial enterprises; digital transformation; economic sustainability; resource management.

Современные промышленные предприятия сталкиваются с необходимостью адаптации к вызовам глобальной экономики, ужесточению экологических норм и растущим требованиям к социальной ответственности бизнеса. В этих условиях концепция устойчивого развития становится ключевым

элементом стратегического управления, обеспечивающим баланс экономической эффективности, экологической безопасности и социального благополучия [1].

Актуальность исследования обусловлена стремительным развитием информационных технологий (ИТ), которые открывают новые возможности для реализации принципов устойчивого развития. Внедрение цифровых решений позволяет промышленным предприятиям оптимизировать использование ресурсов, снижать негативное воздействие на окружающую среду, повышать прозрачность бизнес-процессов, а также улучшать взаимодействие с заинтересованными сторонами [2].

Целью статьи является анализ принципов управления устойчивым развитием промышленных предприятий на основе применения современных информационных технологий.

Основная часть

Современный этап промышленного развития характеризуется необходимостью интеграции трех ключевых компонентов устойчивого развития: экономической эффективности, экологической ответственности и социального благополучия. Информационные технологии выступают катализатором этого процесса, обеспечивая принципиально новые возможности для управления устойчивым развитием предприятий [3].

Основополагающим принципом является цифровая трансформация системы управления, которая реализуется через внедрение сквозных технологий Индустрии 4.0. Наиболее значимый эффект достигается при использовании промышленного интернета вещей (IoT), позволяющего в режиме реального времени отслеживать все параметры производственного процесса. Как показывают исследования, внедрение IoT-решений даёт сокращение потребления энергоресурсов и выбросов вредных веществ [4]. Влияние цифровых технологий на показатели устойчивого развития приведено в таблице 1.

Таблица 1.

Влияние цифровых технологий на показатели устойчивого развития

Технология	Экономический эффект	Экологический эффект	Социальный эффект	Внедряемость
IoT–мониторинг	Снижение затрат на 15–20%	Уменьшение выбросов на 25–30%	Повышение безопасности труда	Высокая
Big Data Analytics	Оптимизация логистики (10–12%)	Снижение отходов на 15–18%	Улучшение условий труда	Средняя
ИИ–планирование	Рост производительности на 8–10%	Энергосбережение до 20%	Снижение травматизма	Низкая
Блокчейн	Сокращение транзакционных издержек	Прозрачность цепочек поставок	Повышение доверия	Средняя

При этом важно отметить, что максимальная эффективность достигается при комплексном подходе, когда системы мониторинга интегрированы с системами поддержки принятия решений. Особое значение имеет принцип данных как ключевого актива управления. Современные аналитические платформы на основе больших данных позволяют выявлять скрытые зависимости между экономическими, экологическими и социальными показателями. При этом наиболее значимый вклад вносят системы предиктивной аналитики, обеспечивающие сокращение непроизводственных потерь на 15–18% [5].

Принцип замкнутости производственных циклов реализуется через внедрение цифровых двойников. Эти технологии позволяют моделировать полный жизненный цикл продукции, оптимизировать использование вторичных ресурсов и минимизировать отходы производства. Практика ведущих промышленных предприятий демонстрирует, что применение цифровых двойников даёт снижение материалоемкости на 12–15% при одновременном повышении качества продукции [6].

Ключевым становится принцип прозрачности и подотчётности, обеспечиваемый технологиями распределённых реестров. Блокчейн–решения в области отслеживания цепочек поставок позволяют не только повысить

эффективность логистики (сокращение затрат на 10–12%), но и гарантировать соблюдение экологических и социальных стандартов на всех этапах производства. Принцип адаптивности управления реализуется через системы искусственного интеллекта. Нейросетевые алгоритмы позволяют оперативно корректировать производственные процессы с учётом изменяющихся внешних условий. Особенно важно это для управления экологическими рисками, где системы ИИ–мониторинга обеспечивают сокращение аварийных ситуаций на 35–40% [7].

Принцип вовлеченности стейкхолдеров поддерживается цифровыми платформами взаимодействия. Внедрение корпоративных социальных сетей и VR–технологий для обучения персонала приводит к росту социального индекса предприятия, что непосредственно влияет на производительность труда. Реализация этих принципов сталкивается с рядом барьеров, среди которых: высокая стоимость внедрения, дефицит квалифицированных кадров и сопротивление изменениям [8]. Преодоление этих барьеров требует разработки комплексных программ трансформации, включающих поэтапное внедрение технологий, переподготовку персонала и изменение корпоративной культуры. Матрица внедрения ИТ–решений для устойчивого развития приведена в таблице 2.

Таблица 2.
Матрица внедрения ИТ–решений для устойчивого развития

Принцип управления	Технологическое решение	Показатель эффективности	Срок окупаемости
Ресурсная эффективность	Цифровые двойники	Снижение потребления на 18–22%	1,5–2 года
Экологическая ответственность	ИИ–оптимизация выбросов	Сокращение CO ₂ на 25–35%	2–3 года
Социальное партнёрство	VR–тренажёры для персонала	Снижение травматизма на 40%	1 год
Прозрачность управления	Блокчейн–реестры	Увеличение инвестиций на 15%	2 года

Эффективность управления устойчивым развитием на основе информационных технологий может быть оценена через интегральный показатель, учитывающий экономические (40%), экологические (30%) и

социальные (30%) параметры [9]. Перспективным направлением развития является создание цифровых экосистем промышленных предприятий, где технологии обмена данными и совместного использования ресурсов позволят вывести управление устойчивым развитием на качественно новый уровень.

Заключение

Информационные технологии становятся системообразующим элементом стратегии устойчивого развития, обеспечивая синергетический эффект за счёт интеграции экономических, экологических и социальных аспектов деятельности предприятия. Наиболее значимый вклад вносят технологии промышленного интернета вещей, больших данных и искусственного интеллекта, демонстрирующие комплексное воздействие на все компоненты устойчивости.

Разработанная система принципов управления, включающая цифровую трансформацию, данные как ключевой актив, замкнутость производственных циклов, прозрачность и адаптивность, формирует методологическую основу для перехода к новому качеству промышленного производства. Практическая реализация этих принципов позволяет достичь повышения ресурсоэффективности, сокращения экологического следа, а также улучшения социальных показателей.

Анализ барьеров внедрения выявил необходимость комплексного подхода к цифровой трансформации, сочетающего технологические, организационные и кадровые аспекты. Особое значение приобретают программы переподготовки персонала и изменение системы корпоративных ценностей.

Библиографический список

1. Горшков А. С. Цифровые технологии устойчивого развития промышленных предприятий / А. С. Горшков // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия «Машиностроение». – 2022. – № 3 (150). – С. 45–58.

2. Климов А. А. Информационные системы управления экологической безопасностью промышленного предприятия / А. А. Климов, Е. В. Петрова // Автоматизация и современные технологии. – 2021. – № 5. – С. 32–37.
3. Программа «Цифровая экономика» : [Электронный ресурс] // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. – URL: <https://digital.gov.ru/> (дата обращения: 20.06.2025).
4. Bocken N. M. P. Sustainable business model innovation / N. M. P. Bocken // Business Strategy and the Environment. – 2017. – Vol. 26, Iss. 5. – С. 597–608.
5. Deloitte. The Fourth Industrial Revolution in manufacturing: [Электронный ресурс] // Deloitte. – URL: <https://www2.deloitte.com/> (дата обращения: 09.09.2025).
6. European Environment Agency. Industrial transformation 2050: [Электронный ресурс] // European Environment Agency. – URL: <https://www.eea.europa.eu/> (дата обращения: 04.08.2025).
7. Kagermann H. Change through digitization — Value creation in the age of Industry 4.0 / H. Kagermann // Management of Permanent Change / eds. H. Albach, H. Meffert, A. Pinkwart, R. Reichwald. – Wiesbaden: Springer Gabler, 2015. – С. 23–45.
8. McKinsey & Company. How digital twins enable the next generation of sustainability: [Электронный ресурс] // McKinsey & Company. – URL: <https://www.mckinsey.com/> (дата обращения: 04.08.2025).
9. The Global Risks Report 2023 / World Economic Forum. – 18th ed. – Geneva: World Economic Forum, 2023. – С. 117.

Со Пьей Хейн - аспирант, кафедра экономики и управления предприятием, Московский государственный технологический университет(СТАНКИН), г. Москва, soepyaehin.phd@gmail.com

Soe Pyae Hein – postgraduate student, Department of Economics and Enterprise Management, Moscow State Technological University (STANKIN), Moscow, soepyaehin.phd@gmail.com

Бадалова Анна Георгиевна – д.э.н., проф., кафедра экономики и управления предприятием, Московский государственный технологический университет(СТАНКИН), г. Москва, abadalova@mail.ru

Badalova Anna Georgievna – Doctor of Economics, Professor, Department of Economics and Enterprise Management, Moscow State Technological University (STANKIN), Moscow, abadalova@mail.ru

УДК 65.011.56

Терешонок А. С., Феофанов А. Н.

Tereshonok A. S., Feofanov A. N.

Методы определения норм времени на промышленном предприятии

Methods for determining time standards in an industrial enterprise

В данной статье предлагается современный метод определения норм времени на операции, выполняемые рабочими на промышленном предприятии. Существуют классические статистические методы нормирования труда. Нормы времени, определенные такими методами, необходимо постоянно обновлять. Это обуславливается появлением новых технологий, новых способов выполнения старых операций и т.п. Такие изменения приводят к постоянно изменяющимся условиям организации производства. В предлагаемом подходе к нормированию труда на предприятии, процесс пересчета норм времени выполняется в оперативном режиме на основе исторических данных, собираемых прямо с производственных участков.

This article proposes a modern method for determining the time standards for operations performed by workers in an industrial enterprise. There are classical statistical methods of labor rationing. The time standards determined by such methods must be constantly updated. This is due to the emergence of new technologies, new ways of performing old operations, etc. Such changes lead to constantly changing conditions of production organization. In the proposed approach to labor rationing at the enterprise, the process of recalculating time standards is performed online based on historical data collected directly from production sites.

Ключевые слова: предприятие; нормирование; операция; штрихкодирование

Keywords: Enterprise; rationing; operation; barcoding

Введение

Определение норм времени на предприятии является одной из важнейших задач, которые стоят перед отделом организации труда и заработной платы.

Нормы времени могут определяться различными методами. Основными методами по определению норм времени труда являются аналитический метод и метод микроэлементного нормирования [1].

Аналитический метод определения норм времени основывается на разбиении технологического процесса на отдельные операции. Для отдельных операций на основе данных из статических справочников расчетным путем определяется норма времени в зависимости от вида операции, оборудования и квалификации рабочего. После этого, нормы времени на выполнение каждой операции суммируются и определяется итоговая трудоемкость и срок изготовления изделия.

Микроэлементное нормирование построено на теории о том, что все сложные движения рабочего можно свести к элементарным движениям пальцев, рук, корпуса, ног рабочего и зрительных органов. Нормы времени, которые определены таким методом имеют высокую точность. Данный метод определения норм времени является высоко трудоемким. Поэтому существует сложность его применения в единичном производстве.

Описанные выше методы определения норм времени не позволяют оперативно подстраиваться под изменяющиеся производственные условия. К тому же на предприятиях зачастую нормативно-справочная информация находится в не актуальном состоянии или отсутствует, а ее пересмотр требует много времени.

Динамичность норм времени

В исследовании [2], проведенном в 2017 году командой Redbooth, было сделано предположение и экспериментально подтвержден следующий факт. Производительность любого сотрудника любой компании не является абсолютной постоянной во времени. Подтверждением этого является эмпирический график зависимости процента выполнения задач в течение всего рабочего дня от времени суток (рис. 1). На горизонтальной оси показаны часы суток (от 00:00 до 23:00), а на вертикальной – процент выполненных задач от их общего количества (100%). На графике видно, что пик выполненных задач

приходится на время с 10:00 до 11:00, что в подавляющем большинстве случаев является предобеденным временем. После 13:00 производительность начинает возрастать, это время, как правило, соответствует времени окончания обеда. Из этого можно сделать вывод, что сотрудники предприятий работают с непостоянной скоростью в течение всего рабочего дня.

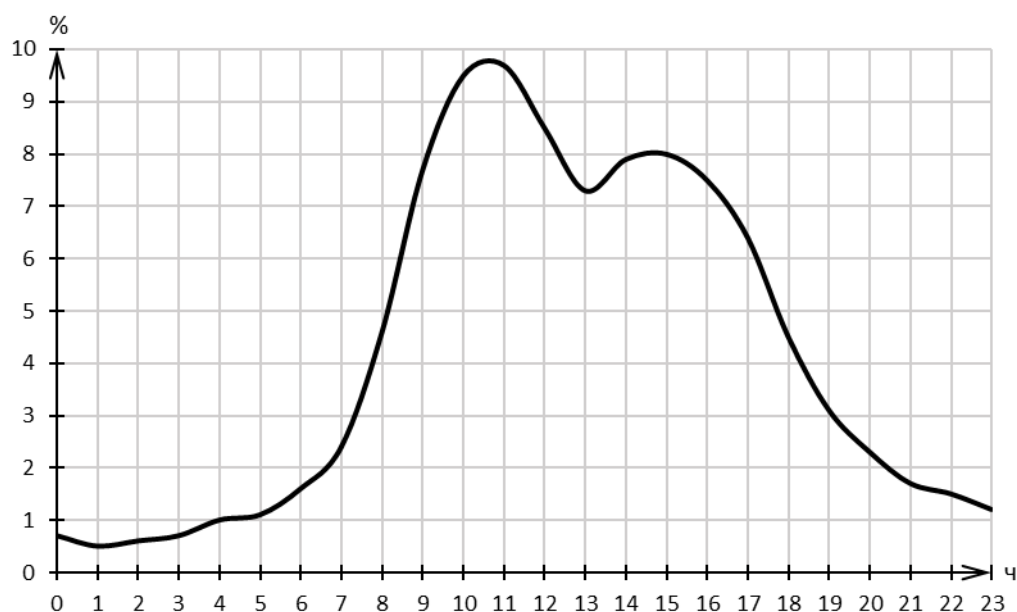


Рис. 1. График зависимости процента выполнения задач от времени суток

Таким образом, исследователи команды Redbooth подтвердили еще раз тот факт, который был описан в книге [1]. Производительность сотрудников до обеда возрастает, перед обедом снижается, затем снова возрастает, но не до пика. За час до окончания рабочего дня производительность начинает неизбежно падать.

Команда провела исследования производительности по дням недели. Самыми продуктивными оказались понедельник и вторник 20,4 и 20,2% соответственно. А со среды процент выполненных задач начинает заметно снижаться вплоть до следующей недели.

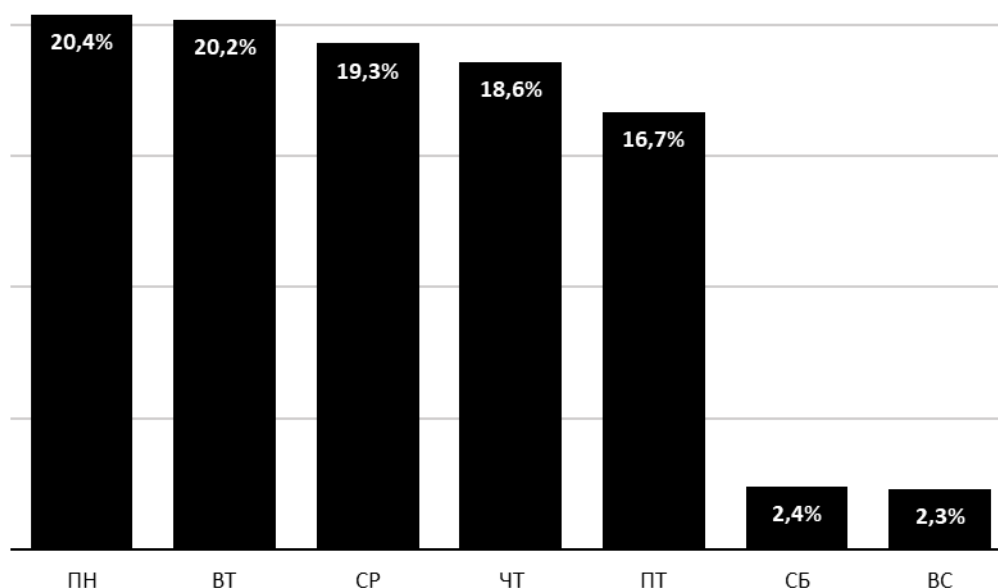


Рис.2. Гистограмма распределения процента выполнения задач по дням недели

На рис. 3 приведена гистограмма распределения процента решенных задач по месяцам года. Наиболее продуктивным является октябрь (9,5% решенных задач), а январь (7,2% решенных задач) является менее продуктивным чем октябрь почти на четверть.

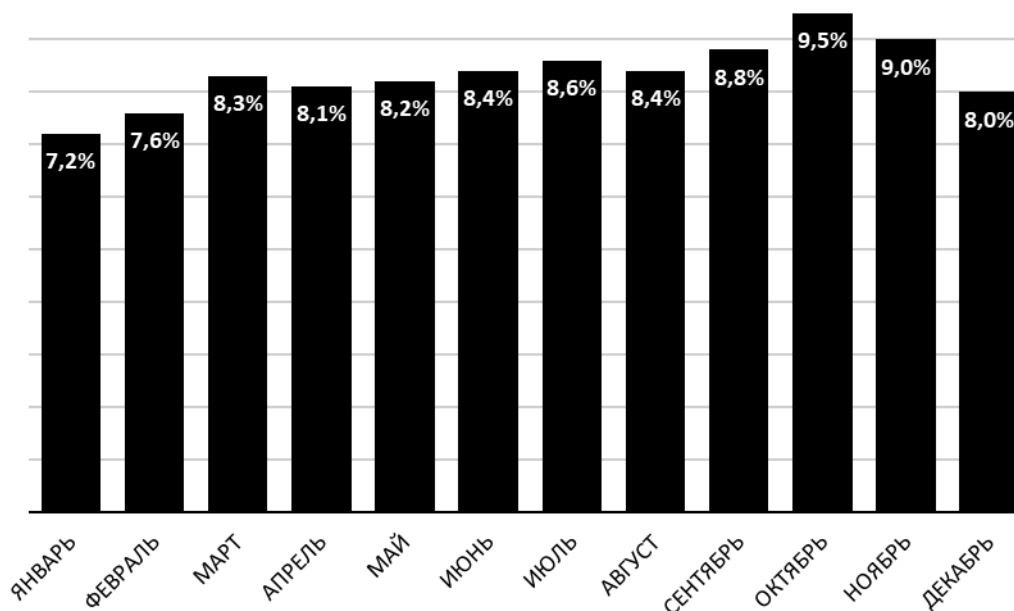


Рис.3. Гистограмма распределения процента выполнения задач по месяцам

На рис. 4 показана обобщая гистограмма распределения производительности по временам года. Из нее видно, что осенью выполняется

27,3% поставленных задач на год. А весной задач решается меньше всего. Это может быть связано с тем, что сотрудники под конец года пытаются успеть решить еще не решенные задачи.

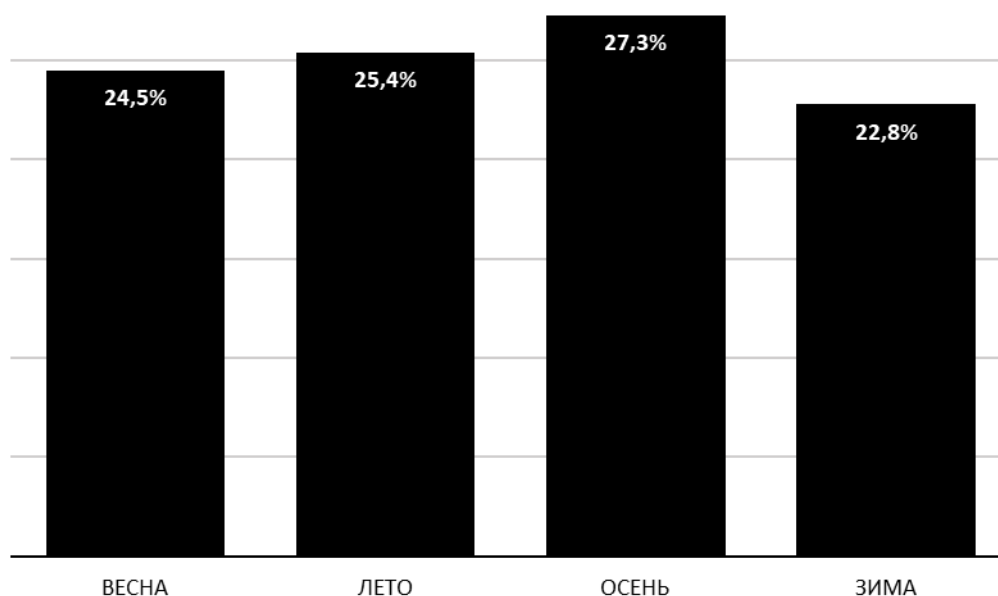


Рис. 4. Гистограмма распределения процента выполнения задач по временам года

Из этого большого исследования, проводимого с 2013 по 2017 год, можно сделать однозначный вывод – нормы времени выполнения операций нельзя принимать как некие постоянные величины для разного периода времени.

Современный подход к определению норм времени

Использование автоматизации позволяет получать фактические нормы времени прямо с производственных участков цехов. Так, на одном из машиностроительных предприятий, была внедрена система позволяющая определять точные нормы времени на выполнение каждой операции.

Система состоит из различных модулей. Одним из них является модуль участка, при помощи которого рабочие фиксируют выполненные операции через сканирование личных карточек и штрихкодов на операциях в маршрутных картах. Данная система позволяет точно отслеживать время выполнения операции.

На основании данных, полученных с производственных участков, определяются нормы времени выполнения конкретной операции для каждого

рабочего. Для каждого рабочего рассчитывается свой коэффициент производительности. Этот коэффициент используется только лишь для того, чтобы составить точный прогноз по выполнению программы выпуска деталей.

Все данные поступают в обезличенном виде, что способствует их использованию только с целью планирования производства. Это важный психологический момент. Поскольку целью внедрения данной системы не является увеличение нормы выработки одним рабочим, а увеличение выполнения общего объема работ за счет оптимального планирования.

Если же не применять обезличенный метод сбора данных при внедрении данной системы, то рабочие неизбежно начнут работать быстрее, чтобы повысить личный коэффициент производительности. Нормальная интенсивность работы нарушится, что приведет к тому, что рабочие начнут уставать и допускать больше ошибок. Это непременно скажется на конечном сроке изготовления изделий. По мнению автора данной статьи, это является тупиковым методом. Он не позволит объективно оценивать и планировать производство. Система планирования производства должна исключительно образом наблюдать и максимально точно определять, что и когда делать, учитывая максимально возможное количество влияющих на это факторов.

Для решения поставленной задачи необходима точная математическая модель планирования производства для разработки нейрости.

Заключение

В статье приведен пример современного подхода к определению норм времени и дальнейшего их использования при планировании производства. Нормы времени не являются чем-то статичным. Фактические нормы времени постоянно изменяются в течение дня, недели, месяца и года. Также они будут отличаться для разных сотрудников компании, на что нельзя не обращать внимания. Таким образом, для определения реальных сроков изготовления продукции, необходимо знать максимально приближенные нормы времени к фактическим для конкретных сотрудников в конкретный момент времени.

Библиографический список

1. Новицкий, Н. И. Организация, планирование и управление производством: учеб.-метод. пособие/ Н. И. Новицкий, В. П. Пашуто. – Москва : Финансы и статистика, 2006. – 576 с. – ISBN 5-279-02691-3.

2. Everybody's Working for the Weekend, But When Do You Actually Get Work Done? / [Электронный ресурс] // Redbooth : [сайт]. — URL: <https://redbooth.com/blog/your-most-productive-time> (дата обращения: 21.10.2025).

Терешонок Артем Сергеевич – аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», tereshonokartem99@mail.ru

Tereshonok Artem Sergeevich – postgraduate student, Department of Automated Information Processing and Control Systems, MSTU STANKIN, tereshonokartem99@mail.ru

Феофанов Александр Николаевич – д.т.н., профессор кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», feofanov.fan1@yandex.ru

Feofanov Aleksandr Nikolaevich – Doctor of Engineering, Professor, Department of Automated Information Processing and Control Systems, MSTU STANKIN, feofanov.fan1@yandex.ru

УДК 519. 67

Тиханова Ю.В.

Tikhanova J.V.

Анализ теоретических подходов к концепции устойчивого развития**Analysis of theoretical approaches to the concept of sustainable development**

В данной статье проанализированы теоретические подходы к концепции устойчивого развития, выявлено противоречие между экономической эффективностью и экосоциальными целями.

This article analyzes theoretical approaches to the concept of sustainable development and identifies a contradiction between economic efficiency and eco-social goals.

Ключевые слова: устойчивое развитие, теоретические подходы, эффективность

Keywords: sustainable development, theoretical approaches, efficiency

За последнее десятилетие наблюдается стремительный рост глобального производства, на фоне которого многие страны столкнулись с новыми вызовами: объемы выпускаемой продукции многократно возросли, а качество жизни и экологическое благополучие населения остаются неутешительными. В современных экономических условиях традиционная модель роста, ориентированная преимущественно на количественные показатели валового выпуска, демонстрирует свою ограниченность. Об этом свидетельствует растущий разрыв между объемами производства и качеством жизни населения, а также ухудшение экологического благополучия населения. Ответом на эти вызовы было разработано и введено понятие «устойчивое развитие» как в теории, так и на практике. В рамках «устойчивого развития» были пересмотрены цели общественного прогресса, интегрируя в него экологическую составляющую и социальное благополучие наравне с экономической эффективностью и ростом производства товаров и услуг.

Термин «устойчивое развитие» часто употребляется в научных публикациях, однако наблюдается плюрализм в его трактовке. Ключевым

ориентиром для понимания данной концепции служит определение, представленное в докладе «Наше общее будущее» (доклад Гру Харлем Брундтланн (Gro Harlem Brundtland), подготовленный в 1987 году Всемирной комиссией по окружающей среде и развитию [7]. Согласно ему, устойчивое развитие определяется как развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, не ставя под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности. В настоящее время данный принцип лежит в основе глобальной политики, координируемой Организацией Объединенных наций (ООН), и находит отражение в стратегиях ведущих государств, включая и Российскую Федерацию. В России реализация принципов устойчивого развития, предложенных ООН, осуществляется с учетом национальных особенностей.

Согласно исследованию Е.И. Левиной [10], термин «устойчивое развитие» трактуется как процесс последовательных и взаимосвязанных трансформаций, протекающих в рамках сложной организационно-производственной системы. Автор указывает на то, что данные изменения иницируются под воздействием комплекса внешних и внутренних факторов, в число которых входит применение достижений научно-технического прогресса, а также инвестирование финансового и интеллектуального капитала. Возникающие при этом функциональные связи усиливают существующий потенциал устойчивого развития, создавая необходимые условия для удовлетворения динамично растущих рыночных потребностей.

Несмотря на широкое применение, практическая реализация устойчивого развития сталкивается с объективными трудностями. Главная из них – противоречие между краткосрочными финансовыми интересами предприятий, которые часто не поддерживают инвестиции в экологические и социальные аспекты, и долгосрочными интересами. Так как в краткосрочном периоде компании невыгодно увеличивать свои затраты на решение этих проблем, вследствие этого многие вопросы устойчивого развития имеют неэффективное решение.

Анализ трудов отечественных авторов позволяет сформировать целостное представление о концепции устойчивого развития как о комплексной, многоуровневой и методологически богатой модели развития. Несмотря на многообразие мнений исследователей, в работах прослеживается концептуальное единство (таблица 1).

Таблица 1.

Сравнительный анализ источников по теме устойчивого развития

Автор	Название	Ключевые положения
Л. Аткинсон [2]	Как устойчивое развитие может изменить мир	Исследование посвящено анализу потенциального устойчивого развития как инструмента глобальных преобразований. Автор рассматривает механизмы влияния концепции на социально-экономические процессы и предлагает практические рекомендации по её внедрению.
С.Н. Бобылев [18]	Экономика устойчивого развития	Работа дает системное представление об устойчивом развитии как парадигме развития человечества в XXI веке, основой которого является формирование «зеленой» экономики.
Ю.В. Вертакова [4]	Устойчивое развитие промышленных комплексов на основе модернизации механизма пространственного распределения экономических ресурсов	Исследование фокусируется на проблемах развития промышленных комплексов. Автор анализирует механизмы распределения ресурсов и предлагает инновационные подходы к их оптимизации в контексте устойчивого развития.
Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова [16]	Устойчивое развитие: вводный курс: Учебное пособие	Учебное пособие раскрывает фундаментальные основы концепции устойчивого развития. Авторы рассматривают теоретические аспекты и практические механизмы реализации.
Е.Н. Абанина,, Д.А. Агапов [1]	Российское правотворчество в целях перехода к устойчивому развитию	Исследование посвящено анализу правовых механизмов внедрения концепции устойчивого развития в российскую правовую систему.
М.М. Бринчук [3]	Концепция устойчивого развития как методологическая основа цивилизационного развития	Работа исследует методологические основы устойчивого развития как фундамента цивилизационного прогресса.
Н.Д. Вершило [5]	Правовые основы устойчивого развития	Автор исследует правовые аспекты реализации концепции устойчивого развития, включая анализ законодательной базы.

Г.В. Выпханова [6]	Понятие и правовое обеспечение концепции устойчивого развития	Работа автора посвящена теоретическому осмыслению концепции и её правовому закреплению.
Ю.А. Кузнецова [8]	Этапы формирования и развития концепции устойчивого развития	Работа направлена на историко-аналитическое исследование эволюции концепции устойчивого развития.
В.Н. Курдюков [9]	Противоречия реализации концепции устойчивого развития	Автор проводит анализ противоречий и проблем, возникающих при внедрении концепции устойчивого развития.
Д.Ж. Маркович [11]	Глобализация и противоречия концепции устойчивого развития	В работе представлено исследование влияния глобализационных процессов на реализацию концепции устойчивого развития.
Ф.М. Раянов [12]	Концепция устойчивого развития и российская государственно-правовая действительность	Автор проводит анализ взаимодействия концепции устойчивого развития с российской правовой системой.
С.Г. Сериков [13]	Концепция устойчивого развития: теоретический аспект	В работе представлено теоретическое осмысление концепции устойчивого развития и её основных положений.
Е.В. Скоморохина [14]	Стратегия (концепция) устойчивого развития: перспективы реализации в мире и России	Исследование перспектив внедрения концепции устойчивого развития на глобальном и национальном уровнях.
А.Д. Урсул [15]	Концептуальные проблемы устойчивого развития	Работа посвящена фундаментальным проблемам реализации концепции устойчивого развития.
Н.А. Шайденко [17]	Устойчивое развитие как глобальная проблема современного общества	Работа представляет собой фундаментальное исследование, в котором рассматриваются ключевые аспекты устойчивого развития в контексте современных глобальных вызовов.

По мнению Миркина Б.М. [16], Л.Г. Наумовой [16], С.Г. Серикова [13] устойчивое развитие представляет собой не просто набор экологических мер, а новую методологическую парадигм цивилизационного прогресса [3], требующую переосмысления традиционных моделей роста. Эта парадигма, по мнению Л. Аткинсона [2] и Н.А. Шайденко [17], обладает потенциалом для глобальных преобразований, выступая ответом на ключевые современные вызовы.

На глобальном и национальном уровнях концепция устойчивого развития сталкивается с объективными противоречиями и вызовами [9], которые усугубляются в условиях глобализации [11]. Для России, как показывает анализ

Ф.М. Раянова [12], эти вызовы связаны с геополитической ситуацией, структурой экономики страны и национальной правовой деятельностью.

Российские ученые [1, 5, 6] сходят во мнении, что успех концепции устойчивого развития зависит от ее последовательной и грамотной интеграции в правовое поле, создавая эффективный законодательный механизм. С.Н. Бобылев [18] придерживается мнения, что устойчивое развитие связано с модернизацией экономики и промышленности, доказывая, что экономические преобразования должны быть связаны с экологическими показателями. На отраслевом уровне этот подход конкретизируется в исследованиях Ю.В. Вертаковой [4], которая акцентирует внимание на необходимости оптимизации пространственного распределения ресурсов для устойчивого развития промышленных комплексов.

Также в трудах российских авторов устойчивое развитие предстает как стратегическая концепция [14], требующая системного подхода – от теоретического изучения ее основ [15] и изучения ее исторической эволюции [8] до практического внедрения.

Таким образом, концепция устойчивого развития возникла как прямой ответ на системный дисбаланс между ростом глобального производства и стагнацией качества жизни. Проведенный теоретико-методологический анализ подтверждает, что, несмотря на достигнутое концептуальное единство в понимании ее значимости, ключевой проблемой остается фундаментальное противоречие между краткосрочной экономической эффективностью и долгосрочными социо-экологическими целями. Несмотря на комплексную теоретическую проработку данной проблемы на макроуровне, ее отраслевой аспект, в особенности применительно к машиностроению, изучен фрагментарно и требует глубокой детализации.

Библиографический список

1. Абанина Е. Н. Российское правотворчество в целях перехода к устойчивому развитию / Е. Н. Абанина, Д. А. Агапов. – Текст: непосредственный // Вестник университета имени О.Е. Кутафина. – 2020. – № 5. – С. 50–57.

2. Аткиссон А. Как устойчивое развитие может изменить мир / А. Аткиссон ; пер. с англ. В. Н. Егорова ; под. Ред. Н. П. Тарасовой. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012, – 455 с.
3. Бринчук М. М. Концепция устойчивого развития как методологическая основа цивилизационного развития / М. М. Бринчук. – Текст: непосредственный // Экологическое право. – 2019. – № 4. – С. 6–12.
4. Вертакова Ю. В. Устойчивое развитие промышленных комплексов на основе модернизации механизма пространственного распределения экономических ресурсов // Вестник Тамбовского университета. Серия: Общественные науки. 2014. № 1. С. 127-133.
5. Вершило Н. Д. Правовые основы устойчивого развития: монография / Н. Д. Вершило. – Москва: Юрлитинформ, 2021. – 208 с.
6. Выпханова Г. В. Понятие и правовое обеспечение концепции устойчивого развития / Г. В. Выпханова. – Текст: непосредственный // Актуальные проблемы российского права. – 2022. – № 3. – С. 34–42.
7. Доклад Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды и развития. Организация Объединенных Наций. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.un.org/ru/ga/pdf/brundtland.pdf> (дата обращения: 13.10.2025).
8. Кузнецова Ю. А. Этапы формирования и развития концепции устойчивого развития / Ю. А. Кузнецова. – Текст: непосредственный // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2021. – № 5-2. – С. 120–124.
9. Курдюков В. Н. Противоречия реализации концепции устойчивого развития / В. Н. Курдюков. – Текст: непосредственный // Научный результат. Экономические исследования. – 2020. – Т. 6, № 1. – С. 15–25.
10. Левина Е. И. Понятие «устойчивое развитие». Основные положения концепции / Е. И. Левина // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2009. – № 11(79). – С. 113-119.
11. Маркович Д. Ж. Глобализация и противоречия концепции устойчивого развития / Д. Ж. Маркович. – Текст: непосредственный // Социологические исследования. – 2019. – № 8. – С. 47–56.

12. Раянов Ф. М. Концепция устойчивого развития и российская государственно-правовая действительность / Ф. М. Раянов. – Текст: непосредственный // Право и политика. – 2022. – № 4. – С. 18–30.
13. Сериков С. Г. Концепция устойчивого развития: теоретический аспект / С. Г. Сериков. – Текст: непосредственный // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 12 (113). – С. 45–49.
14. Скоморохина Е. В. Стратегия (концепция) устойчивого развития: перспективы реализации в мире и России / Е. В. Скоморохина. – Текст: непосредственный // Вопросы инновационной экономики. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 157–170.
15. Урсул А. Д. Концептуальные проблемы устойчивого развития / А. Д. Урсул. – Текст: непосредственный // Философские науки. – 2019. – № 8. – С. 7–22.
16. Устойчивое развитие: вводный курс: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова. – М. Логос, 2006. – 311 с.
17. Шайденко Н. А. Устойчивое развитие как глобальная проблема современного общества / Н. А. Шайденко. – Текст: непосредственный // Социология власти. – 2020. – Т. 32, № 1. – С. 88–107.
18. Экономика устойчивого развития: учебник / С.Н. Бобылев. – Москва: КНОРУС, 2021. – 672 с. – (Бакалавриат и магистратура).

Тиханова Юлия Владимировна – аспирант ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»,
tikhanovajulia@mail.ru

Tikhanova Yulia Vladimirovna – first-year postgraduate student, MSUT
«STANKIN», tikhanovajulia@mail.ru

УДК 66.012-52, 004-021, 697.922

Тихонова Ю.В., Шварцбург Л.Э.

Tikhonova Y.V., Shvartsburg L.E.

Автоматизация управления очистной производительностью систем очистки воздуха рабочей зоны в зависимости от реальных загрязнений
Automated Control of Air Purification System Performance Based on Real-Time Contaminant Levels

В работе рассматриваются вопросы управления очистной производительностью локальных воздуховодов систем очистки воздуха рабочей зоны с единым вытяжным устройством. Показано, что управление очистной производительностью можно осуществлять, изменяя в автоматическом и/или в неавтоматическом режиме площадь сечения воздуховодов. На примере двухканальной системы очистки воздуха рабочей зоны с единым вытяжным устройством представлен алгоритм реализации системы, очистная производительность которой зависит от реальных загрязнений воздуха рабочей зоны и структурная схема реализации этого алгоритма.

The paper discusses the issues of controlling the cleaning performance of local ducts in work area air purification systems with a single exhaust device. It is shown that the cleaning performance can be controlled by changing the cross-sectional area of the ducts in an automatic and/or non-automatic mode. Using the example of a two-channel work area air purification system with a single exhaust device, the paper presents an algorithm for implementing a system whose cleaning performance depends on the actual air pollution in the work area and a structural diagram for implementing this algorithm.

Ключевые слова: Технологический процесс. Механообработка. Воздух рабочей зоны. Локальный воздуховод. Реальные загрязнения. Очистная производительность. Управление.

Keywords: The technological process. Mechanical processing. The air of the working area. Local air duct. Real pollution Cleaning performance. Management.

Введение

В процессе осуществления технологических процессов механообработки воздух рабочей зоны загрязняется взвешивыми-примесями и продуктами термодеструкции СОЖ, что ведет к снижению экологической и производственной безопасности этих процессов. Поэтому крайне важно предусмотреть эффективную систему очистки воздуха рабочей зоны.

В настоящее время в основном используют системы очистки воздуха рабочей зоны с единым вытяжным устройством, которое создает воздушные потоки в локальных воздуховодах.

Особенностью этих систем является то, что очистная производительность этих систем не зависит от реальных загрязнений, что снижает их эффективность [1].

Основная часть

Суммарный воздушный поток основного воздуховода Φ_{Σ} определяется только техническими характеристиками вытяжного устройства и является постоянной величиной. Он формируется как сумма воздушных потоков локальных воздуховодов Φ_i , установленных над каждым рабочим местом i , т.е.

$$\Phi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Phi_i - \text{const}$$

Экспериментально было доказано, что в системах очистки воздуха рабочей зоны с единым вытяжным устройством, уменьшение сечения одного локального воздуховода уменьшает его очистную производительность и одновременно увеличивает очистную производительность другого локального воздуховода (на примере 2-хканальных систем очистки воздуха). Это означает, что происходит перераспределение очистной производительности в локальных воздуховодах при управлении этой производительностью в одном воздуховоде, т.е.

$$\Delta\Phi_1 = \Phi_{\Sigma} - \Phi_{10} - \Phi_{20} + \Delta\Phi_2 = 2\Phi_0 - \Phi_0 - \Phi_0 + \Delta\Phi_2 = +\Delta\Phi_2.$$

где Φ_{10} , Φ_{20} – воздушные потоки в локальных воздуховодах в начальный момент времени,

Δ – приращения воздушных потоков,

Таким образом, при уменьшении очистной производительности в одном воздуховоде в другом воздуховоде очистная производительность увеличивается на такую же величину [2].

Все вышеизложенное поясняет рис.1

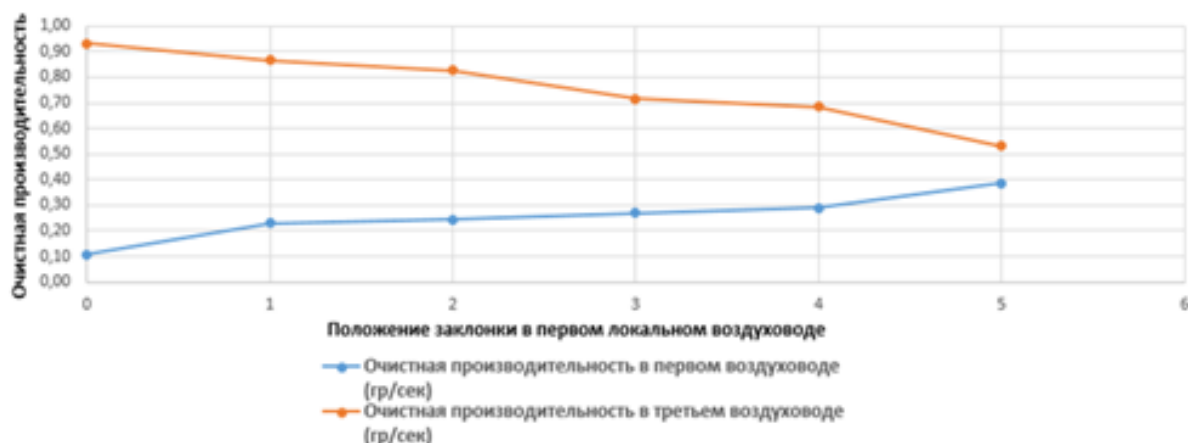


Рис. 1. Перераспределение очистной производительности при изменении воздушного потока в одном из воздуховодов

Таким образом, управление площадью сечения воздуховодов, осуществляемое посредством встроенных в них клапанов-регуляторов, позволяет управлять очистной производительностью систем очистки воздуха рабочей зоны в зависимости от реальных загрязнений [2-4].

Структурная схема управления очистной производительностью, зависящей от реальных загрязнений на примере 2-х канальной системы, представлена на рисунке 2.

В такой системе на локальных воздуховодах 1 и 2 устанавливаются датчики концентрации загрязнения С1 и С2, которые фиксируют величину реальных загрязнений. Информация с датчиков подается на сравнивающее устройство и анализатор (контроллер).

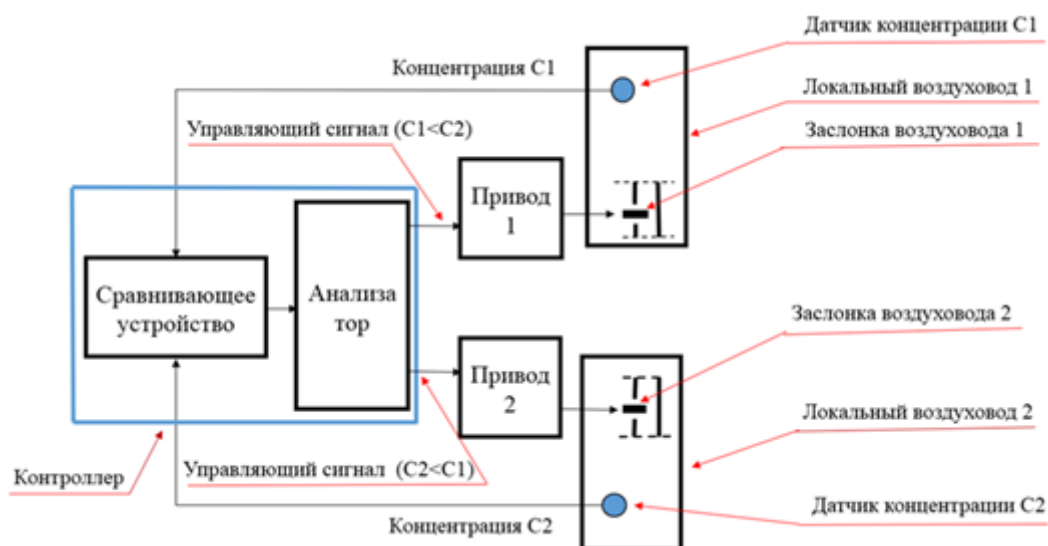


Рис. 2. Структурная схема управления очистной производительностью

В зависимости от того, на каком из локальных воздуховодов зафиксирована большая концентрация загрязнений, подается сигнал на приводы 1 или 2, подключенные к заслонкам воздуховодов. В зависимости от переданного сигнала площадь воздуховода меняется в соответствии с концентрацией загрязнения воздуха рабочей зоны и, как следствие этого, изменяется очистная производительность.

Если система полностью автоматическая, то положение заслонки регулируется автоматически, если нет, то управление заслонкой осуществляется оператором. В этом случае оператор выполняет функции контроллера [2, 4].

Следует отметить, что информация о реальных загрязнениях воздуха рабочей зоны для системы управления очистной производительностью локальных систем очистки может быть получена как на основе непосредственных измерений, так и на основе прогнозирования загрязнений воздуха рабочей зоны. Алгоритм работы такой системы представлен ниже (рис.3).

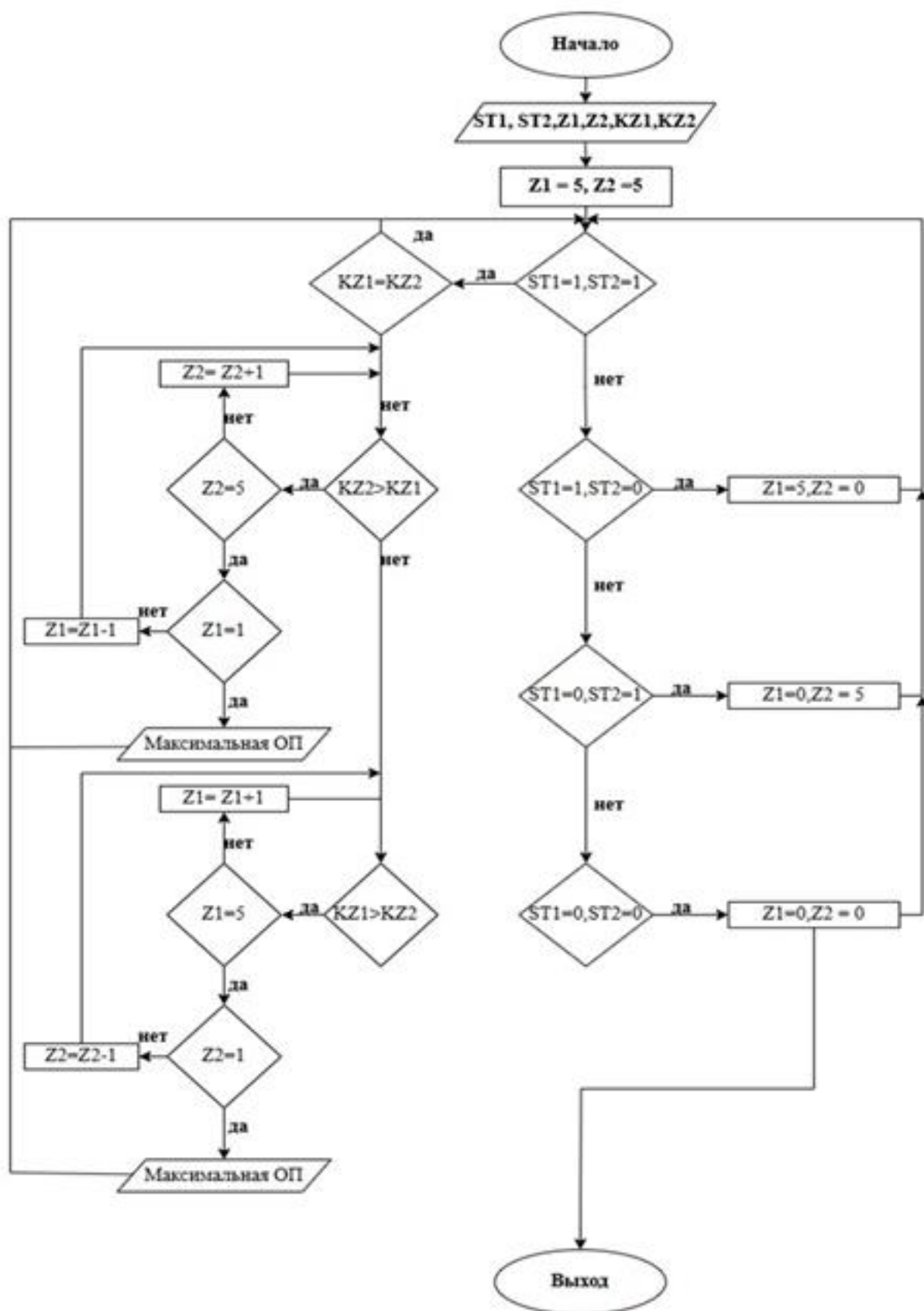


Рис. 3. Алгоритм управления очистной производительностью

Алгоритм описывает управление очистной производительностью посредством изменения сечения площади воздуховодов на примере двухканальной системы очистки воздуха рабочей зоны.

ST1 и ST2 – обозначающие соответственно 2 станка, к которым подведены воздуховоды.

Z1 и Z2 – переменные, обозначающие заслонки в воздуховодах, подведенных к первому и второму станку соответственно.

KZ1 и KZ2 – переменные, обозначающие концентрацию загрязнений, которую фиксируют датчики в первом и втором воздуховодах.

Переменным Z1 и Z2 присваивается значение 5, что показывает, что задвижки на обоих воздуховодах полностью открыты.

Следуя алгоритму, необходимо проверить находятся ли станки ST1 и ST2 в активном (рабочем, включенном) состоянии.

При условии, что оба станка включены, переменным ST1 и ST2 присваивается значение 1, и требуется проверить концентрацию загрязнения воздуха рабочей зоны KZ1 и KZ2 на обоих станках и сравнить величины. Если концентрации загрязнения KZ1 и KZ2 равны, то проверка начинается заново, с момента определения активности станков, до тех пор, пока соотношение показателей концентрации загрязнения KZ1 и KZ2 не изменятся. Если датчики концентрации загрязнения передают данные где концентрация загрязнения на втором станке больше концентрации загрязнения на первом станке, т.е., $KZ2 > KZ1$, то необходимо проверить открыта ли заслонка во втором воздуховоде полностью, т.е. присвоено ли Z2 значение 5. Если заслонка не открыта на максимум, а, следовательно, значение параметра Z2 меньше 5, то, следуя алгоритму параметр Z2 должен увеличиться на единицу $Z2 = Z2 + 1$.

Это действие повторяется до тех пор, пока соотношение концентрации загрязнения не изменится, либо пока параметр Z2 не станет равен пяти, что будет означать, что дальше увеличить очистную производительность путем воздействия исключительно на заслонку Z2 во втором воздуховоде невозможно. При условии, что концентрация загрязнения у второго станка все

еще превышает концентрацию загрязнения у первого станка и заслонка во втором воздуховоде открыта на полную в соответствии с блок-схемой необходимо проверить положение заслонки $Z1$ на первом станке, чтобы скорректировать очистную производительность. При условии, что заслонка в первом воздуховоде не закрыта полностью и значение $Z1$ соответственно больше единицы (минимально открытое положение) необходимо уменьшить значение переменной $Z1$ на 1, тем самым уменьшая сечение площади воздуховода посредством изменения положения задвижки. Таким образом путем перераспределения воздушных потоков уменьшится очистная производительность в первом воздуховоде, но увеличится во втором. В случае если одновременно $Z2 = 5$ и $Z1 = 1$, что означает, что задвижка на втором воздуховоде полностью открыта, а на первом закрыта до минимального значения и концентрация загрязнения $Z2$ все еще больше, то увеличить очистную производительность возможно повышением мощности вытяжного устройства, а путем перераспределения воздушных потоков достигнута максимальная очистная производительность. После завершения каждого действия проверка начинается заново. В случае, если концентрация загрязнений $KZ1$ на первом станке превосходит концентрацию загрязнений $KZ2$ на втором станке, то повторяются предыдущие действия, то есть очистная производительность в первом воздуховоде увеличивается за счет увеличения площади сечения в первом воздуховоде, т.е., $Z1 = 5$ и, при необходимости, уменьшении площади сечения во втором воздуховоде, до минимального, т.е., $Z2 = 1$. Значения $Z1$ и $Z2$ отражают положения заслонки – от 1, т.е. минимально открытой, до 5, т.е. максимально открытой. В случае если $Z1 = 5$ и $Z2 = 1$, то увеличить очистную производительность возможно повышением мощности вытяжного устройства, а путем перераспределения воздушных потоков достигнута максимальная очистная производительность.

В случае если один из станков не активен, то переменной $ST1$ или $ST2$, в зависимости от того, какой станок не активен присваивается значение 0. Таким образом $ST1=1$ и $ST2=0$ или $ST1=0$ и $ST2=1$, где значение 1

присваивается активному станку, а значение 0 неактивному станку. В таких случаях целесообразно для экономии энергии и ресурсов закрывать полностью задвижку на неактивном станке и открывать на активном, что приведет к максимальной очистной производительности на активном станке, обеспечивая наилучшие условия для работника.

В случае, когда оба станка неактивны – задвижки соответственно находятся в закрытом положении.

На представленной блок-схемы и алгоритма наглядно показано как можно реализовать автоматическое управление системой очистки воздуха путем перераспределения воздушных потоков на примере двухканальной системы воздуховодов.

Заключение

Таким образом, в системах очистки воздуха с единым вытяжным устройством для обеспечения эффективности работы необходимо менять очистную производительность каждого локального очистного устройства в зависимости от реальных загрязнений воздуха этой рабочей зоны. Для регулирования очистной производительности следует менять площадь сечения воздуховода посредством управления положением заслонок, которое может осуществляться в автоматическом так и неавтоматическом режиме.

Библиографический список

1. Шварцбург Л.Э., Вихарев А.С. Управление производительностью локальных систем очистки воздуха. Экология и промышленность России. 2017;21(1):4-7.
2. Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической и экологической безопасности на транспорте: сборник трудов молодых ученых и специалистов транспортной отрасли с международным участием, VII выпуск. – М.: ВНИИЖГ – 2025. – 290 с.
3. Стефанов Е. В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2005. 399 с.

4. Новиков В. Т. Оборудование и основы проектирования систем охраны окружающей среды. Ч 2. Состав, монтаж и проектирование очистных установок и вентиляции: учебное пособие. Томск.: Издательство Томского политехнического университета, 2010. 302 с.

Тихонова Юлия Вячеславовна – аспирант ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», esha_92@mail.ru.

Tikhonova Yulia Vyacheslavovna – postgraduate student at MSTU STANKIN, esha_92@mail.ru.

Шварцбург Леонид Эфраимович – д.т.н; профессор; заведующий кафедрой ИНЭБ, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», lesh@stankin.ru.

Shvartsburg Leonid Efraimovich – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Electronics and Biology, MSTU STANKIN, lesh@stankin.ru.

УДК 621.825.6:697.9

Топчиев Я.П., Соболев А.Н.

Topchiev Ya.P., Sobolev A.N.

Разработка и моделирование системы автоматического подъема окон на основе шарико-винтовой передачи

Development and modeling of an automated window lift system based on a ball screw drive

В статье представлены результаты разработки и компьютерного моделирования системы автоматического подъема окон на основе шарико-винтовой передачи, предназначенной для интеграции в современные архитектурные решения и системы «умного дома»; проведенное проектирование в CAD-системе T-FLEX, кинематический и прочностной анализ, включая расчет жесткости вала и подбор серводвигателя, подтвердили высокую плавность хода, надежность и компактность конструкции, что создает готовую основу для изготовления физического прототипа.

The article presents the results of the development and computer modeling of an automated window lift system based on a ball screw drive, designed for integration into modern architectural solutions and smart home systems; the design carried out in the T-FLEX CAD system, kinematic and strength analysis, including shaft stiffness calculation and servomotor selection, confirmed the smooth movement, reliability, and compactness of the design, providing a ready basis for the creation of a physical prototype.

Ключевые слова: шарико-винтовая передача, автоматическое окно, система подъема, T-FLEX CAD, моделирование, прочностной расчет, умный дом.

Keywords: ball screw drive, automated window, lift system, t-flex cad, modeling, strength calculation, smart home.

Введение

Современная архитектура и концепция «умного дома» предъявляют повышенные требования к системам остекления. Все более востребованными становятся автоматизированные окна, которые могут интегрироваться в системы климат-контроля, дымоудаления или просто обеспечивать дистанционное управление. Традиционные системы на основе цепных или реечных передач часто обладают рядом недостатков, таких как люфт, шумность и относительно низкая надежность.

Альтернативой им является применение шарико-винтовой передачи (ШВП), которая широко применяется в машиностроении. ШВП преобразует вращательное движение в линейное с высоким КПД, минимальным трением и обратным люфтом. Это делает ее идеальным решением для задач, требующих точного позиционирования, плавности хода и способности выдерживать значительные осевые нагрузки [1-3].

Целью данной работы являлась разработка и расчет системы подъема окон с приводом от ШВП для проверки ее работоспособности, определения нагрузок и оптимизации конструкции до этапа физического прототипирования.

Методология и проектирование системы

Конструктивная схема

Разработанная система включает в себя следующие ключевые компоненты:

1. Серводвигатель, обеспечивающий управляемое вращение с заданным моментом и скоростью.
2. Шарико-винтовая передача (ШВП). Винт, соединенный с серводвигателем и работающий внутри канала (направляющей) в оконного профиля. Гайка, непосредственно соединена с кареткой, несущей оконную створку. ШВП собственной конструкции, выполненная на основе реверс-инжиниринга ШВП ТНК BNF 4010-5. Может использоваться и оригинальный узел ТНК.

3. Система направляющих. Для обеспечения строго вертикального и движения без заклинений створки при движении применена двухконтурная система направляющих:

- Основной силовой контур: в конструкции механизма используется направляющая скольжения типа «ласточкин хвост». Она воспринимает основную нагрузку от веса створки и обеспечивает высокую жесткость системы против опрокидывающих моментов.

- Второй стабилизирующий контур: непосредственно в алюминиевом оконном профиле смонтированы стандартные роликовые направляющие (валы). Данный контур выполняет роль стабилизатора, фиксируя верхнюю часть створки, предотвращая ее колебания относительно рамы и разгружая основной контур от второстепенных нагрузок.

- Такое комбинированное решение позволяет объединить достоинства двух систем: прочность и жесткость «ласточкина хвоста» и легкость хода, обеспечиваемую роликовыми направляющими в профиле.

4. Рама (каркас системы). Видоизмененный оконный профиль, на котором находятся направляющая «ласточкин хвост», а внутри располагается роликовая направляющая для валов.

5. Система управления. Контроллер, получающий сигналы от датчиков или с пульта управления и подающий команды на серводвигатель.

Процесс моделирования

Проектирование было выполнено в отечественной CAD системе T-FLEX. Данный программный комплекс был выбран благодаря своей полнофункциональности, включающей параметрическое твердотельное моделирование, сборки.

Использованные материалы в модели:

- Рама и силовые кронштейны. Алюминиевый сплав АД31Т.
- Винт ШВП. Сталь 9ХС.
- Гайка ШВП. Сталь ШХ15Г.

- Направляющие: Сталь 40Х.
- Электродвигатель (в модели). Моделировался как привод с заданным номинальным моментом 20 Н·м и моментом при перегрузке до 25 Н·м.

Процесс моделирования состоял из следующих этапов:

1. Создание 3D-моделей компонентов. Смоделированы все детали системы с учетом реальных геометрических параметров и посадочных мест.

2. Сборка виртуального прототипа (рис. 1, 2). Компоненты были собраны в единую модель с наложением соответствующих сопряжений (совпадение, соосность, параллельность и др.). Так же был сформирован сборочный чертеж с размерами и спецификацией.

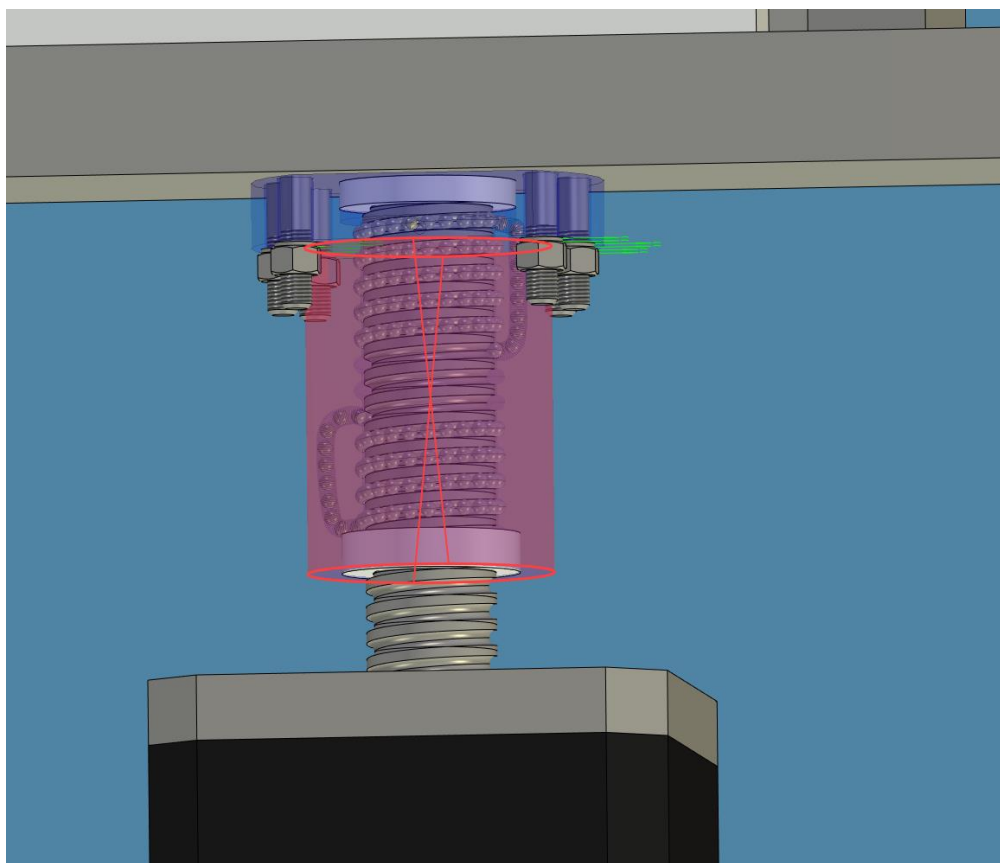


Рис. 1. Шарико-винтовая передача, разработанная в T-FLEX CAD

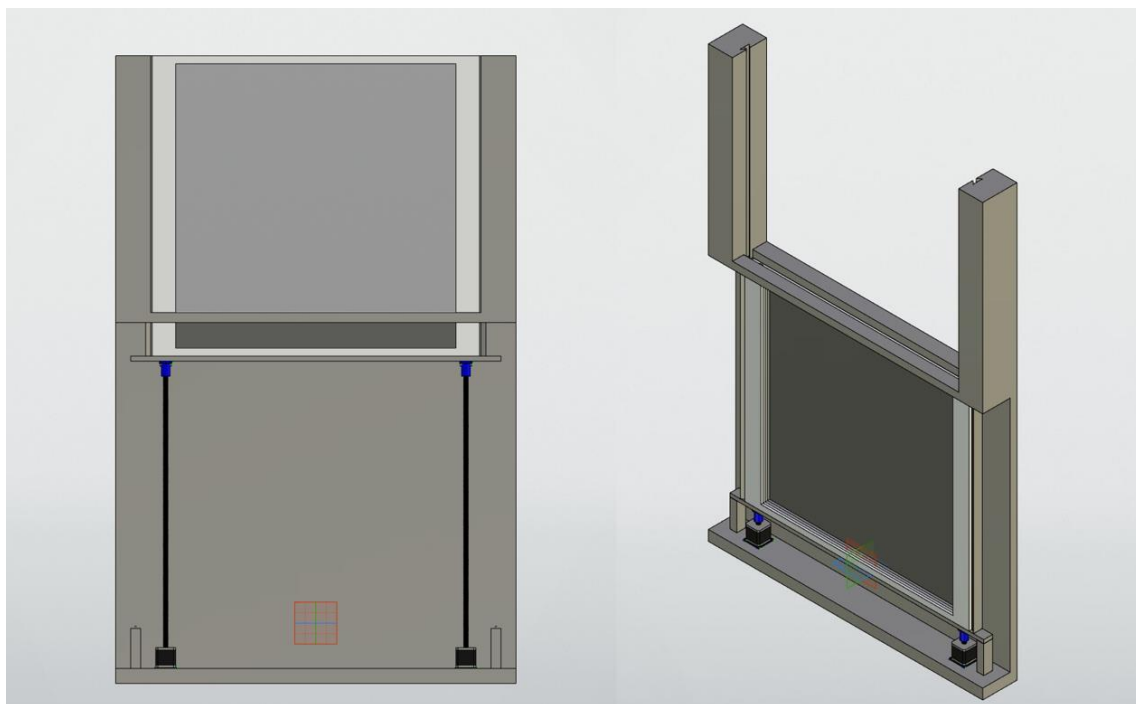


Рис. 2. 3D-модель системы в T-FLEX CAD

3. Кинематическое моделирование. Для собранной модели была проведена анимация, имитирующая рабочий цикл подъема и опускания окна. Это позволило проверить отсутствие кинематических коллизий (пересечений деталей) и корректность работы всех соединений на всей траектории движения.

4. Размеры деталей и выбор узлов в процессе проектирования уточнялись. Были проведены следующие расчеты:

- Анализ вала ШВП (по осевой силе и крутящему моменту).
- Подбор серводвигателя. На основе расчетов был определен требуемый момент на валу серводвигателя (с учетом КПД ШВП, сил трения в направляющих и инерционных составляющих). Условный аналог серводвигателя с постоянным моментом 20 Н·м и моментом при перегрузке до 30 Н·м. Это обеспечивает надежный старт и работу в штатном режиме, а также запас для преодоления возможных пиковых сопротивлений.
- Анализ прогиба вала ШВП и выбор оптимального диаметра. Учитывая значительную осевую нагрузку (~1000 кг) и большую длину вала (3 метра), определяющим критерием при выборе вала ШВП стал не только запас

прочности, но и жесткость, характеризуемая величиной прогиба в самом нагруженном состоянии. Были рассмотрены три варианта диаметров винта ШВП: 30 мм, 40 мм и 50 мм. Для каждого варианта был проведен статический расчет на прогиб при максимальной эксплуатационной нагрузке. Вал моделировался как балка на опоре с приложенной сосредоточенной силой сверху. На основании анализа жесткости для дальнейшего проектирования и моделирования динамики был выбран вал ШВП диаметром 40 мм.

Заключение

В рамках проведенной работы была успешно спроектирована и полностью смоделирована система автоматического подъема окон на основе ШВП, применяемой в станкостроении. Компьютерное моделирование и расчет системы, включающий кинематический, динамический и прочностной анализ, доказали следующие преимущества разработанного решения:

1. Высокая плавность и точность хода благодаря свойствам ШВП.
2. Надежность и долговечность, подтвержденная результатами анализа.
3. Компактность и технологичность конструкции.

Результаты работы являются готовой основой для создания физического прототипа и проведения натурных испытаний. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию массы конструкции, подбор серийных компонентов и разработку системы управления с обратной связью по положению. Готовый опытный образец проходит испытания на предприятии ООО «СимТехПласт».

Библиографический список

1. Соболев А.Н., Косов М.Г. Автоматизация кинематического и динамического анализа технологических машин. Вестник МГТУ «Станкин». №2 (10). 2010. С. 32-36.
2. Топчий, Б.Е. Шарико-винтовые передачи: методические указания по дисциплине «Механика» (раздел «Детали машин») для курсантов и студентов

инженерных специальностей всех форм обучения / Б.Е. Топчий. – Калининград: Издательство БГАРФ, 2019. – 61 с.

3. ТНК. Общий каталог. Шарико-винтовые передачи (по данным Общего каталога компании ТНК) // Шарико-винтовые передачи: методические указания / сост. Б.Е. Топчий. – Калининград: Издательство БГАРФ, 2019. – С. 16-61.

Топчиев Ярослав Павлович – студент 2 курса, кафедра КСУ, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Topchiev Yaroslav Pavlovich – 2th year student, Department of Computer Control Systems, Moscow State University of Technology «STANKIN»

Соболев Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры станков, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

t-64@mail.ru

Sobolev Alexander Nikolaevich – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Machine Tools, Moscow State University of Technology «STANKIN» t-64@mail.ru

УДК 331.5

Ушмодина Л.И.

Ushmodina L.I.

Особенности применения компетентностного подхода в управлении развитием человеческого капитала на предприятиях машиностроения

Features of application of the competence-based approach in management of human capital development at mechanical engineering enterprises

В статье выявляются преимущества и ограничения применения зарубежных моделей в контексте российской машиностроительной отрасли. Обосновывается необходимость разработки унифицированной модели оценки компетенций, адаптированной к задачам импортозамещения и подготовки высококвалифицированных специалистов.

This article identifies the advantages and limitations of applying foreign models in the context of the Russian mechanical engineering industry. It also substantiates the need to develop a unified competency assessment model adapted to the challenges of import substitution and the training of highly qualified specialists.

Ключевые слова: человеческий капитал, компетентностный подход, машиностроительные предприятия.

Key words: human capital, competency-based approach, mechanical engineering enterprises.

Компетентностный подход в управлении человеческим капиталом определяет совокупность знаний, навыков, умений и способностей, позволяющих специалисту выполнить свои должностные обязанности в рамках конкретной профессиональной позиции в соответствии с ожидаемыми стандартами (либо превышая их). Внедренная система компетенций способствует повышению эффективности организации различных отраслей промышленности посредством стандартизации рабочих функций коллектива, формирования ожидаемых результатов работы, а также разработки и

последующей корректировки программы обучения и профессиональной подготовки с учетом потребностей как сотрудников организации, так и самой организации в целом.[4]

Выделяют следующие процессы в сфере компетентностного подхода в управлении человеческим капиталом [7]:

- Составление карты компетенций организации:

Представляет собой процесс определения ключевых компетенций для организации и/или должности и включения этих компетенций в различные процессы организации, такие, как набор специалистов, профессиональная подготовка, управление вознаграждением и т.д. Анализ работы играет важную роль в определении желаемых профессиональных качеств, необходимых специалистам для выполнения тех или иных функциональных обязанностей.

- Составление модели компетенций:

Подразумевает повествовательное описание компетенций для целевой категории должностей, профессиональных групп, отделов, департаментов или других подразделений. В модели описывается комплекс знаний, навыков и атрибутов, необходимых для эффективного и успешного выполнения работы. Наиболее важной особенностью модели компетенции является наличие четкой связи с целями и стратегией организации.

- Оценка компетенций:

Данный процесс представляет собой сопоставление компетенций сотрудников с моделью компетенций организации.

- Стандарт компетенций:

Подразумевает составление специального документа, определяющего основные навыки и знания, которыми должны обладать специалисты, а также уровни работы, которых они должны достичь, чтобы продемонстрировать высокий уровень профессионализма и квалификации в конкретном сегменте работы или функции.

- Профиль компетенций:

Представляет собой документ, в котором описывается набор компетенций, характерных для конкретной работы / должности / профессиональной группы / функционального сообщества.

Чаще всего системы компетенций организаций визуально представлены в специально разрабатываемых моделях компетенций. Данные модели способствуют развитию как общих, так и узкоспециализированных навыков коллектива с ориентацией на четкий набор желаемых результатов, что в свою очередь требует внедрения удобных в применении и надежных методов и инструментов оценки. Модели компетенций могут быть использованы для конкретной профессии или функциональной зоны, включая и такие этапы управления человеческим капиталом, как проведение аккредитации, наращивание потенциала, а также разработка программ обучения и повышения квалификации.[1]

С операционной точки зрения модель компетенций четко определяет каждую характеристику, поддающиеся количественной оценке показатели рабочей деятельности, а также стандарты, которым она будет соответствовать. Поэтому визуализация каждой компетенции является одним из основных элементов эффективной модели компетенций. Модели компетенций в первую очередь применяются на индивидуальном уровне, поскольку они описывают необходимые составляющие эффективного поведения конкретной профессиональной позиции в организации (а не просто ее содержания), а также формируют область для получения узких и смежных знаний, навыков и способностей для дальнейшего роста и развития специалиста.[2]

В концептуальном контексте модель компетенций организации разрабатывается следующим образом: первоначально проводится систематический масштабный анализ документации, на основе которого осуществляется сбор ключевых показателей и параметров производительности в конкретной профессиональной области. Далее осуществляется сбор материалов и информации со стороны заинтересованных лиц в организации (к ним относятся руководители организаций определенной отрасли, а также профессорско-

преподавательский состав по соответствующим наукам и дисциплинам высших учебных заведений). На последнем этапе посредством интервью и наблюдений реализуется оценка работы высококвалифицированных специалистов, лучших в своей области в определенной отрасли, с целью определения тех факторов, показателей и условий, которые делают данных специалистов особенно эффективными.[3]

В современных условиях развития отрасли машиностроения, в контексте управления человеческим капиталом на основе компетентностного подхода, необходимо выделить активное применение трех основополагающих моделей – компетентностной модели промышленной организации в сфере передового производства, модели «Четыре столпа знаний в области промышленного производства» и системы сертификации производственных навыков.

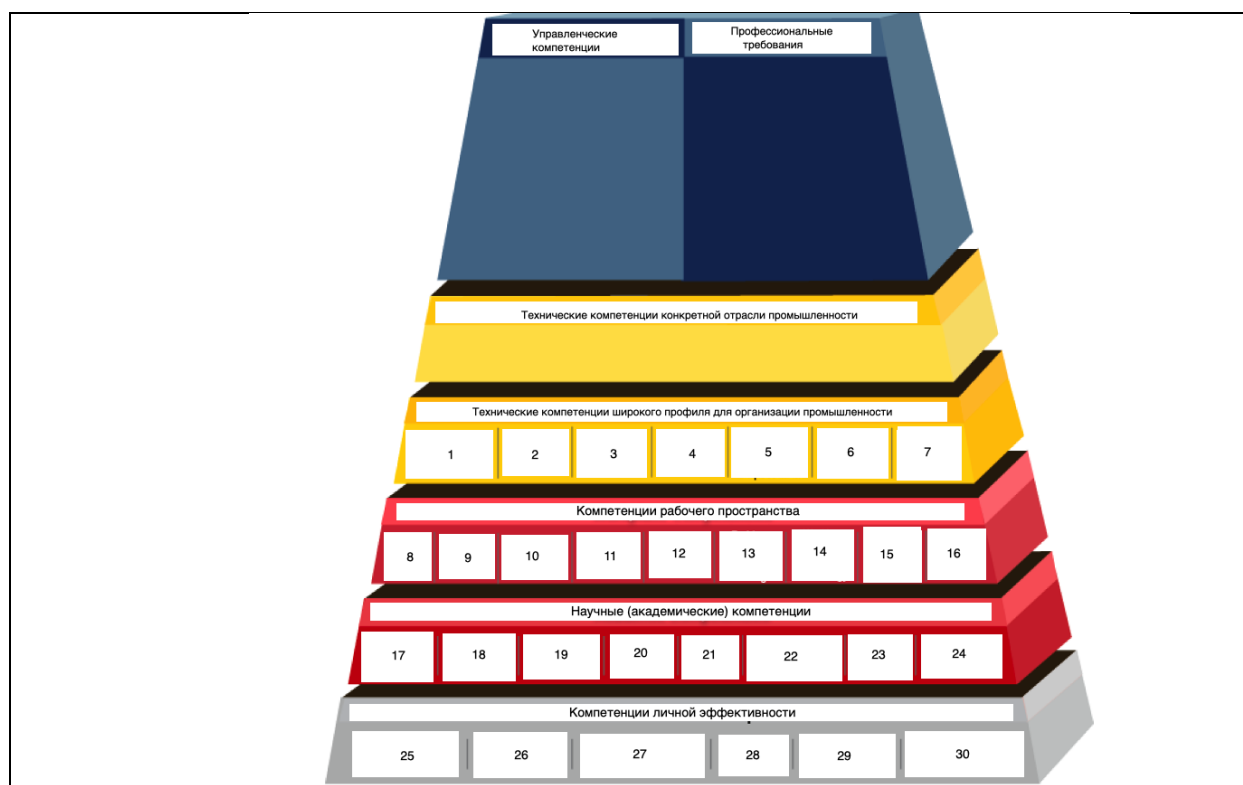
Компетентностная модель промышленной организации в сфере передового производства была первоначально предложена в 2006 г. Министерством труда США на основе совместного сотрудничества с психологическими службами и ведущими отраслевыми организациями (Рис. 1) [6].

Согласно данной модели, были обобщены, распределены по уровням и конкретизированы наиболее значимые компетенции специалистов, занятых в промышленном производстве.

В качестве существенных недостатков данной модели, по мнению автора, необходимо отметить преимущественную ориентацию на все отрасли промышленности, а также сложность количественной и качественной оценки компетенций коллектива организации (для последующего проведения анализа эффективности работы специалистов).

Модель «Четыре столпа знаний в области промышленного производства» была разработана на основе результатов исследования Общества инженеров и разработчиков обрабатывающей промышленности (Society of Manufacturing Engineers). Главной отличительной особенностью данной модели является применение критериев проверки Аккредитационный совета по технике и

технологии США (Accreditation Board for Engineering and Technology, ABET) для программ производства в машиностроительном комплексе (Рис. 2) [9].



(1) Технические компетенции широкого профиля для организации промышленности:

1. Проектирование и развитие производственного процесса
2. Производство
3. Техническое обслуживание, установка и монтаж, ремонтные работы
4. Логистика цепочки поставок
5. Обеспечение качества / постоянное улучшение
6. Устойчивое и «зеленое» (экологически безопасное) производство
7. Здоровая, безопасная и высокоохранная среда

(2) Компетенции рабочего пространства:

8. Основы бизнеса и предпринимательства
9. Работа в команде
10. Адаптивность, гибкость
11. Маркетинг и ориентация на потребителя
12. Планирование и организация рабочего времени и задач

13. Регулирование проблем и процесс принятия решений
14. Работа с инструментами, технологиями и оборудованием
15. Проверка, изучение и фиксирование полученных результатов
16. Устойчивость в практической деятельности

<p>(3) Научные (академические) компетенции</p> <p>17. Наука</p> <p>18. Базовые компьютерные навыки</p> <p>19. Математика</p> <p>20. Чтение</p> <p>21. Письмо</p> <p>22. Коммуникативные навыки – слушание и беседа</p> <p>23. Критическое мышление, аналитические способности</p> <p>24. Информационная грамотность</p>	<p>(4) Компетенции личной эффективности</p> <p>25. Навыки межличностного общения</p> <p>26. Порядочность и добросовестность</p> <p>27. Профессионализм</p> <p>28. Инициативность</p> <p>29. Надежность и безопасность</p> <p>30. Непрерывное обучение</p>
--	--

Рис. 1. Компетентностная модель промышленной организации в сфере передового производства [6]

В рамках данной модели четыре столпа наиболее значимых знаний и компетенций для промышленной организации машиностроительной отрасли – материалы и производственные процессы; проектирование и моделирование продукта; производственные системы и операционные процессы; производственная конкурентоспособность – в свою очередь, опираются на 10 основных предметных областей, которыми должен обладать кандидат при приеме на работу (предполагается, что знания в данных областях специалист получал в рамках профильного образования): математика и естественные науки; инженерные науки; разработка продукта; материалы и материаловедение; производственные процессы; проектирование и разработка оборудования и инструментария; личная эффективность; разработка производственной системы; качество и непрерывные улучшения; автоматизированные системы и контроль; управление производством.

4 столпа знаний в области промышленного производства



- Материалы и производственные процессы: технические науки, материалы, производственные процессы

- Проектирование и моделирование продукта: дизайн продукта; проектирование процессов; проектирование оборудования и инструментария

- Производственные системы и операционные процессы: проектирование системы продукта; автоматизированные системы и управление

- Производственная конкурентоспособность: качество; непрерывные улучшения; управление производством

- Математика и естественные науки: физика, химия, биология; алгебра, тригонометрия, аналитическая геометрия; вычислительные навыки, теория вероятности, математическая статистика

- Личная эффективность: Навыки межличностного общения, ведение переговоров, урегулирование конфликтов; Инновации, творчество, письменное и устное общение; Навыки презентации, Непрерывное обучение

- Инженерные науки: Статика и динамика; Механика материалов; Жидкостная механика; Термодинамика/передача тепла; Электрические цепи/электроника

- Разработка продукта: Рынок/продажи/Анализ жизненного цикла; Защита интеллектуальной собственности; Управление проектированием;

Термодинамика/передача тепла; Имитационное моделирование/инженерное проектирование; Графические навыки; Ответственность за качество продукта;

- Проектирование процессов: Технологические исследования и разработки; Моделирование/анализ процессов; Создание и испытание прототипа продукта; Разработка процесса и тестирование чтения печати; Быстрое прототипирование

- Производственные процессы: Удаление материала; Фабрикация; Горячая и холодная формовка; Литье и формование; Производство электротоваров/ электроники; Термическая обработка; Соединение, сварка и монтажная отделка; Объемный и непрерывный поток; Транспортировка и упаковка материалов; Использование ручного инструмента и работа машины

- Проектирование и разработка оборудования и инструментария: Дизайн режущего инструмента; Дизайн инструмента для проведения работ; Дизайн формы/ пресс-формы; Дизайн багажа; Конструкция машины

- Разработка производственной системы: Инфраструктура/ Расположение завода; Планировка объекта/ планировка завода; Планирование/разработка процессов; Планирование мощности; Документация по процессам; Инструкции по работе; Выбор инструментов и оборудования; Сборка и испытание производственной системы; Факторы жизнедеятельности человека; Эргономика, безопасность; Системы обслуживания; Охрана окружающей среды; Управление отходами

- Качество и непрерывные улучшения: Клиентоориентированность; Системы и стандарты качества; Статистические методы контроля; Анализ и решение проблем; Факторный анализ; Анализ возможностей; Осмотр/испытание/проверка достоверности; Метрология; Анализ надежности; Непрерывное улучшение; Обслуживание клиентов

- Автоматизированные системы и контроль: Системы питания (механические, электрические); Системы управления; Упаковочные системы; Автоматизированные системы (твердые/гибкие); Компьютерные системы и сети; Информационные технологии; Системы баз данных; Общесистемная интеграция

- Управление производством: Стратегическое планирование; Глобальная конкуренция; Организационная структура и управление; Управление проектами; Управление персоналом; Человеческое поведение/ лидерство; Трудовые отношения; Образование и профессиональная подготовка; Исследования операций/прогнозирование; Цепочка поставок и логистика; Бухгалтерский учет/ Финансы/ Экономика; Деловая/инженерная этика; Социальная ответственность; Стандарты, законы, нормативные акты

Рис. 2. Модель «Четыре столпа знаний в области промышленного производства» [9]

Модель «Четырех столпов» применима преимущественно для корректировки образовательных программ в области среднего

профессионального и высшего образования для нужд машиностроительного комплекса. Однако в ней не раскрывается то, какими именно компетенциями должен обладать высококвалифицированный специалист с наличием опыта работы, стремящийся в дальнейшем развивать карьеру в отрасли.

Система сертификации производственных навыков была разработана на основе предложенной ранее компетентностной модели промышленной организации в сфере передового производства [8] (Рис. 3):



Рис. 3. Система сертификации производственных навыков [10]

Первоначальной целью внедрения данной системы было достижение единых международных стандартов при найме высококвалифицированных узких специалистов промышленных организаций для повышения инновационного потенциала последних в долгосрочной перспективе. По результатам проведенной сертификации определяется общий уровень компетенций специалиста в области понимания современного производства и обладания определенными навыками, такими, как математика и вычислительные

способности; пространственное мышление и знание технологий производства; деловая хватка и качество.

Однако, как и в случае с компетентностной моделью промышленной организации в сфере передового производства, данная система ориентирована на унификацию компетенций разработчиков и специалистов различных отраслей промышленности, а результатом сертификации являются данные качественного, а не количественного характера.

Для организаций машиностроительного комплекса Российской Федерации в настоящее время применяются преимущественно модели компетенций оценки специалиста на начальном этапе его карьеры – например, модель компетенций выпускника по специальности 15.02.16 «Технология машиностроения» [5], разработанная в соответствии с системой федеральных государственных образовательных стандартов в сфере среднего профессионального и высшего образования.

Заключение

Таким образом, модели компетенций задают вектор для технического обучения в области машиностроения, поскольку четко определяют ключевые практические навыки, требуемые от современного специалиста.

Тем не менее стратегическую важностью в национальном масштабе имеет ориентация на импортозамещение и возвращение высококвалифицированных узких специалистов в российских отраслях машиностроительного комплекса (с последующим их удержанием). Поэтому особую значимость приобретает необходимость разработки унифицированной модели определения и оценки компетенций, адаптированной именно к условиям российской действительности.

Библиографический список

1. Зобов, Ю. А. Вопросы формирования целевой модели технических компетенций и развития отраслевой системы подготовки инженерных кадров / Ю. А. Зобов, Б. И. Омигов // Вестник НПО Техномаш. – 2021. – № 1(14). – С. 68-78.

2. Коковихин, А. Ю. Модель оценки процесса развития компетенций персонала на предприятиях традиционно-промышленного региона / А. Ю. Коковихин, М. В. Ефимов // Экономика XXI века: инновации, инвестиции, образование. – 2022. – Т. 10, № 11. – С. 16-21.
3. Коковихин, А. Ю. Планирование, организация и контроль процесса развития компетенций персонала на предприятиях традиционно-промышленного региона / А. Ю. Коковихин, М. В. Ефимов // Актуальные вопросы современной экономики. – 2022. – № 12. – С. 407-412. – DOI 10.34755/IROK.2022.91.36.024.
4. Ноздрачева, Т. М. Формирование инновационных компетенций - одна из ключевых задач процесса подготовки современного специалиста / Т. М. Ноздрачева // Российские регионы как центры развития в современном социокультурном пространстве : сборник научных статей 8-й Всероссийской научно-практической конференции, Курск, 21 октября 2022 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 81-83.
5. Модель компетенций выпускника 15.02.16 – Технологии машиностроения. URL: https://www.chelmtt.ru/download/doc/TM_model.pdf
6. Doggett, Mark & Muhammad Jahan. Perceptions of the Advanced Manufacturing Competency Model (ACMC) for Curriculum Development, International Association of Journals & Conferences, 2016. URL: https://digitalcommons.wku.edu/seas_faculty_pubs/19/
7. Draganidis, F., & Mentzas, G. (2006). Competency based management: a review of systems and approaches. Information management & computer security, 14(1), 51-64.
8. Focused on Skills Standards for Modern Manufacturing Careers. URL: <https://manufacturingskillsinstitute.org/manufacturing-technician-level-1-certification-added-to-nam-endorsed-manufacturing-skills-certification-system/>
9. Four Pillars of Manufacturing Knowledge. URL: <https://www.mtu.edu/mmet/graduate/manufacturing-engineering/four-pillars/>

10. Oh S. Analyzing Three Competency Models of Advanced Manufacturing. 2019. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Analyzing-Three-Competency-Models-of-Advanced-Oh/c5ed6b01a5229e531ec095c890a97cb848d855f6>

Ушмодина Людмила Игоревна – старший преподаватель кафедры финансового менеджмента ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», livoliya@xmail.ru.
Ushmodina Lyudmila Igorevna – Senior Lecturer, Department of Financial Management, Moscow State Technical University “STANKIN”, livoliya@xmail.ru.

УДК 004.94:621.9

Феофанов А.Н., Веселов Э. Э.

Feofanov A. N., Veselov E. E.

Аксиоматическая и грамматическая модель преобразования STEP/B-Rep-моделей в машиночитаемое графовое представление изделия

Axiomatic and Grammar-Based Model for Converting STEP/B-Rep Models into a Machine-Readable Graph Representation of a Product

Представлена аксиоматическая и грамматическая модель преобразования топологического представления изделия (STEP/B-Rep) в машиночитаемое графовое описание. Модель основана на введении формальных словарей типов вершин и связей, системе аксиом корректности и грамматике порождения, обеспечивающей конечное и детерминированное построение графа. Сформулированы свойства терминции, звуковости и каноничности, гарантирующие корректность и воспроизводимость результатов. Разработанный подход формирует математическую основу для создания формализованных цифровых представлений изделий, применяемых в системах цифровых двойников и интеллектуального проектирования.

An axiomatic and grammar-based model for transforming the topological representation of a product (STEP/B-Rep) into a machine-readable graph description is presented. The model is based on formal dictionaries of vertex and edge types, a system of correctness axioms, and a generation grammar that ensures finite and deterministic graph construction. The properties of termination, soundness, and canonicity are formulated, guaranteeing the correctness and reproducibility of the results. The proposed approach provides a mathematical foundation for creating formalized digital representations of products used in digital twin and intelligent design systems.

Ключевые слова: STEP, B-Rep, графовая модель, аксиомы корректности, грамматика порождения, машиночитаемое представление, цифровой двойник, интеллектуальные системы проектирования.

Keywords: STEP, B-Rep, graph model, correctness axioms, generation grammar, machine-readable representation, digital twin, intelligent design systems.

Активное развитие концепции цифровых двойников (Digital Twin) является ключевым направлением цифровизации машиностроительных систем. Цифровой двойник рассматривается как виртуальное представление реального объекта, обеспечивающее двусторонний обмен данными и моделями в реальном времени [1].

Одной из основных трудностей при создании цифровых двойников для высокоточного производства является неинтерпретируемость CAD-моделей (STEP/B-Rep) для систем автоматического анализа, оптимизации, а также интеграции с алгоритмами искусственного интеллекта. CAD-форматы удобны для проектирования, но их сложная структура затрудняет автоматическую обработку.

Существующие подходы к интеграции CAD и систем высокого уровня часто используют прямую трансляцию в графы знаний или семантические сети, однако такие преобразования остаются эвристическими, неформальными и плохо верифицируемыми. Например, в работе [2] авторами подчеркивается, что графовые представления являются естественным инструментом для работы с взаимосвязями в цифровых двойниках, но не предлагается строгого способа перевода STEP/B-Rep в граф.

В более прикладной области, подходы к построению цифровых двойников машиностроительных систем с графовыми представлениями уже применяются для объединения данных из различных источников, распознавания шаблонов, интеграции сенсорики и управления [3]. Тем не менее, в этих работах часто опускается формальная математическая модель преобразования CAD-модели в граф с гарантией корректности, терминирования и однозначности.

В работе предложена аксиоматическая и грамматическая модель преобразования STEP/B-Rep в машиночитаемый граф, объединяющий геометрию, топологию, признаки формы, PMI и материал. Модель формализует

процесс порождения графа и обеспечивает его корректность, детерминированность и воспроизводимость.

Таким образом, данная работа формирует **теоретическую основу** для перехода от традиционных CAD-моделей к формализованным графовым представлениям, пригодным для использования в интеллектуальных системах проектирования, анализа и управления технологическими процессами.

Формализация входных данных

Исходным объектом преобразования является топологическая модель B-Rep (Boundary Representation), описывающая твёрдое тело через его граничные элементы. Такая структура задаёт изделие в виде множества тел, оболочек, граней, рёбер и вершин, связанных отношениями инцидентности и включения.

Для практической реализации используется стандартный парсер STEP-файла, обеспечивающий извлечение топологических сущностей и их связей. Парсер выполняет синтаксическую интерпретацию данных и не оказывает влияния на последующую формализацию. В дальнейшем B-Rep рассматривается как абстрактное множество объектов и отношений, служащее входом для математического описания преобразования.

Введём множество топологических сущностей:

$$M = \{S, Sh, F, W, E, V\} \quad (1)$$

где S – тела, Sh – оболочка, F – грани, W – контуры, E – рёбра, V – вершины.

Элементы множества M связаны бинарными отношениями. Каждое отношение имеет семантику топологической зависимости и задаёт структуру связности изделия.

Для дальнейшего преобразования вводится типизированный атрибутный граф

$$G = \{V, E, \tau_V, \tau_E, \alpha_V, \alpha_E\} \quad (2)$$

где V и E – множества вершин и рёбер графа; τ_V и τ_E – типовые функции, определяющие классы вершин и связей; α_V и α_E – атрибутные функции,

содержащие геометрические и семантические параметры, такие как координаты, материал, допуск, шероховатость, технологические признаки.

Такое представление отделяет геометрическую природу объекта от его информационного содержания. Каждому элементу топологической структуры соответствует вершина определённого типа, а отношения инцидентности преобразуются в ориентированные рёбра. Полученная формализация задаёт основу для дальнейшего построения математической модели и позволяет описывать изделие в машиночитаемом виде, пригодном для последующего анализа и применения в интеллектуальных системах.

Словари типов и отношений

Для дальнейшего построения формальной модели необходимо определить множество типов вершин и множество типов связей между ними. Эти словари задают допустимые категории элементов и отношений в структуре графа изделия, обеспечивая единообразие описания на всех уровнях — от геометрического до технологического.

Множество типов вершин имеет вид:

$$\Sigma_V = \{\text{Тело, Оболочка, Грань, Контур, Ребро, Вершина, Отверстие, Карман, Паз, Фаска, Скругление, Размер, Допуск, Геометрический допуск, Шероховатость поверхности, Материал, Ось, Плоскость, Точка, Система координат}\}$$

Каждый тип вершины относится к определённому уровню представления изделия: **геометрический уровень (B-Rep слой), конструктивный уровень, информационный уровень (PMI слой), материальный уровень, справочный уровень.**

Такое структурирование обеспечивает полноту описания изделия: граф объединяет геометрию, конструктивные признаки, аннотированные параметры и справочные элементы, формируя целостное машиночитаемое представление модели.

Множество типов рёбер, описывающее допустимые отношения между вершинами, задаётся выражением:

$\Sigma_E = \{\text{содержит, ограничивается, использует, соединяет, смежна,}$
 $\text{соосна, копланарна, касательна,}$
 $\text{имеет PMI, имеет материал, содержится в ссылке}\}$

Каждое отношение отражает либо топологическую зависимость элементов, либо их семантическую связь. Для обеспечения корректности модели вводится правило типовой совместимости:

$$(\tau_V(v_i), \tau_V(v_j), \tau_E(e_{ij})) \in \Gamma \quad (3)$$

где Γ — множество разрешённых троек «тип–тип–связь». Это ограничение исключает образование несогласованных соединений между элементами разных уровней модели и гарантирует структурную целостность графа.

Аксиомы корректности графа изделия

Для проверки корректности построенной структуры вводится система аксиом

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_{22}\} \quad C_i(G) \in \{1, 0\} \quad (4)$$

определяющая требования к геометрической, топологической и семантической целостности графа изделия. Система аксиом охватывает пять логических групп:

А. Геометрическая целостность. Каждая оболочка замкнута и полностью ограничивает тело. Все контуры граней образуют циклы, рёбра и вершины имеют конечные координаты, а их метрики положительны.

В. Топологическая связность. Каждое тело представляет связную компоненту; нет висячих рёбер или вершин. Смежные грани соединяются через общие рёбра, оболочки не пересекаются.

С. Типовая согласованность. Вложенность строго упорядочена (*тело* \rightarrow *оболочка* \rightarrow *грань* \rightarrow *контур* \rightarrow *ребро* \rightarrow *вершина*), а типы элементов совместимы: например, грань может иметь контуры, но не оболочки.

Д. Семантическая корректность. Каждый PMI привязан к цели (*грань, ребро, признак*), значения допусков и размеров корректны, а материал изделия задан для каждого тела.

Е. Каноничность. Все идентификаторы уникальны, а структура графа инвариантна к переименованию элементов STEP.

Формально граф изделия считается корректным, если выполняется условие:

$$|G| = \bigwedge_{i=1}^{22} C_i \quad (5)$$

Это означает, что модель является геометрически замкнутой, топологически связной, типологически согласованной и семантически валидной.

Таким образом, аксиомы корректности задают строгие критерии соответствия построенного графа исходной STEP-модели и служат математической основой для последующих доказательств терминации и звуковости грамматики порождения.

Грамматика порождения графа изделия

Построение графа изделия выполняется по формальной грамматике

$$G = (\Sigma_V, \Sigma_E, R, C) \quad (6)$$

где Σ_V и Σ_E – множества типов вершин и рёбер, C – система аксиом корректности, набор правил порождения:

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_{12}\} \quad (7)$$

Процесс начинается с элементов верхнего уровня STEP-модели и последовательно раскрывает их структуру до атомарных элементов графа. Каждое правило определяет отображение между объектами B-Rep и вершинами/рёбрами графа, сохраняя корректность структуры.

Базовые правила (R_1 – R_5) задают иерархическое раскрытие геометрии: тело раскрывается в оболочки, оболочка – в грани, грань – в контуры, контур – в рёбра и вершины.

Правила (R_6 – R_7) задают топологические и геометрические связи: смежна, соосна, копланарна, касательна.

Правила (R_8 – R_{10}) формируют семантический слой: *признаки формы, PMI, материал*.

Правила (R_{11} – R_{12}) создают опорные элементы (*ось, плоскость, система координат*) и выполняют финальную проверку аксиом.

Каждое правило имеет пред- и постусловия (PAC/NAC), исключающие неоднозначности.

Результирующий граф G_T получается после конечной последовательности применений:

$$G_0 \Rightarrow G_1 \Rightarrow \dots \Rightarrow G_T \quad (8)$$

где G_T удовлетворяет всем аксиомам C и является каноническим представлением изделия.

Свойства модели

Формально разработанная модель обладает рядом доказуемых свойств, обеспечивающих её корректность и воспроизводимость. На основе системы аксиом и грамматики сформулированы следующие утверждения.

Теорема 1 (терминация). Построение графа завершается за конечное число шагов. Существует мера $\mu(G)$, убывающая при каждом применении правила R_i что гарантирует конечность вывода:

$$\mu(G_{k+1}) < \mu(G_k) \quad (9)$$

Теорема 2 (звуковость). Если исходная модель M удовлетворяет аксиомам C , то граф G , полученный по грамматике, также им удовлетворяет:

$$M \models C \Rightarrow G \models C \quad (10)$$

Теорема 3 (однозначность / каноничность). Результат преобразования $\kappa(G)$ единственен и не зависит от порядка применения правил:

$$M \xRightarrow{g} G_A, M \xRightarrow{g} G_B \Rightarrow \kappa(G_A) = \kappa(G_B) \quad (11)$$

Эти положения в совокупности показывают, что построенная модель обладает формальными свойствами завершённости, согласованности и устойчивости.

Заключение

В работе разработана аксиоматическая и грамматическая модель преобразования STEP/B-Rep-моделей в машиночитаемое графовое представление изделия. Модель основана на системе аксиом корректности и

формальной грамматике порождения, обеспечивающей конечное и детерминированное построение структуры.

Предложенная формальная модель является первым этапом построения унифицированных представлений STEP-моделей, пригодных для автоматического анализа и применения в интеллектуальных CAD/CAM системах.

Библиографический список:

1. Segovia M., Brilakis I., Agapaki E. Design, Modeling and Implementation of Digital Twins. – Applied System Innovation, 2022. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9318241/> (дата обращения: 10.10.2025).
2. Huang L., Kapteyn M., Willcox K. E. Digital Twin: Graph Formulations for Managing Complexity and Uncertainty. – Oden Institute for Computational Engineering and Sciences, The University of Texas at Austin, 2022. URL: <https://kiwi.oden.utexas.edu/papers/graph-digital-twin-uncertainty-Huang-Kapteyn-Willcox.pdf> (дата обращения: 10.10.2025).
3. Braun D., Wermann J., Büttner S., Ten Hompe M. A Graph-Based Knowledge Representation and Pattern Mining Supporting the Digital Twin Creation of Existing Manufacturing Systems. – arXiv preprint, 2022. URL: <https://arxiv.org/abs/2209.10258> (дата обращения: 10.10.2025).

Феофанов Александр Николаевич - доктор технических наук, профессор ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», feofanov.fan1@yandex.ru

Feofanov Alexander Nikolaevich - Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Moscow State Technical University «STANKIN» feofanov.fan1@yandex.ru

Веселов Эдуард Эдуардович – аспирант кафедры «Автоматизированных систем обработки информации и управления» ФГАОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», Eduuaarrdd@yandex.ru

Veslov Eduard Eduardovich - postgraduate Student, Department of Automated Information Feedback and Control Systems, Moscow State Technical University «STANKIN» Eduuaarrdd@yandex.ru

УДК 334.7

Фэн Тяньюй

Fen Tianyu

Разработка концептуальной модели системы интегрированного управления совместными производственными предприятиями**Development of a conceptual model of an integrated management system for joint production enterprises**

В данной статье представлена концептуальная модель системы интегрированного управления российско-китайскими производственными предприятиями, основанная на учете множества взаимосвязанных факторов и условий. Модель направлена на создание интегрированной управленческой системы, способной эффективно функционировать в контексте межкультурного взаимодействия и адаптироваться к динамично изменяющимся внешним условиям. Предложены ключевые компоненты и характеристики, формирующие целостную структуру модели. Рассмотрены блоки комплексного анализа подходов к управлению, формирования теоретических основ управления на базе концепции динамического институционального соответствия, разработки интегрированной модели управления и механизма адаптации. Представлены механизмы принятия решений, контроля и оценки эффективности деятельности, направленные на повышение конкурентоспособности и устойчивое развитие совместных предприятий в долгосрочной перспективе.

This article presents a conceptual model of an integrated management system for Russian-Chinese manufacturing enterprises, based on the consideration of a variety of interrelated factors and conditions. The model aims to create an integrated management system that can effectively function in the context of intercultural interaction and adapt to dynamically changing external conditions. The article proposes key components and characteristics that form the holistic structure of the

model. It also discusses the blocks of a comprehensive analysis of management approaches, the formation of theoretical foundations for management based on the concept of dynamic institutional fit, the development of an integrated management model, and the adaptation mechanism. The article presents decision-making, control, and performance evaluation mechanisms aimed at increasing the competitiveness and sustainable development of joint ventures in the long term.

Ключевые слова: Концептуальная модель, интегрированная система управления, совместные производственные предприятия, межкультурное взаимодействие, управленческая культура, инновационный потенциал, механизмы принятия решений, система контроля, адаптация, устойчивое развитие

Keywords: Conceptual model, integrated management system, joint production enterprises, intercultural interaction, management culture, innovative potential, decision-making mechanisms, control system, adaptation, sustainable development.

Разработка концептуальной модели системы интегрированного управления совместными российско-китайскими производственными предприятиями представляет собой комплексный процесс, требующий учета множества взаимосвязанных факторов и условий. В основу модели заложена идея создания интегрированной управленческой системы, способной эффективно функционировать в контексте межкультурного взаимодействия и адаптироваться к динамически меняющейся среде. Основываясь на анализе существующих подходов к управлению совместными производственными предприятиями, можно выделить ключевые компоненты и характеристики, формирующие целостную структуру модели.

Рассмотрим подробнее каждый из блоков разрабатываемой концептуальной модели интегрированного управления предприятиями.

1. Комплексный анализ подходов к управлению совместными производственными предприятиями и выявление ключевых факторов эффективности.

Этот блок представляет собой фундаментальный элемент концептуальной модели управления совместными предприятиями. В контексте международного сотрудничества культурные различия и управленческие традиции играют определяющую роль в формировании эффективной системы управления. Важно не только выявить существующие различия, но и определить возможности для их конструктивного использования в целях повышения эффективности организации [5].

Комплексный анализ подходов к управлению должен также учитывать динамический характер современной бизнес-среды. В условиях постоянных изменений особое значение приобретает способность организации адаптировать управленческие практики к новым условиям при сохранении эффективности основных бизнес-процессов. Это требует создания гибких организационных структур и развития механизмов организационного обучения [9]. Таким образом, первый блок модели создает фундамент для разработки эффективной системы управления российско-китайскими предприятиями, учитывающей институциональные особенности, культурные различия и управленческие традиции обеих стран.

2. Формирование теоретических основ управления российско-китайскими предприятиями на базе концепции динамического институционального соответствия.

Этот блок представляет собой комплексную задачу, требующую системного подхода к анализу институциональных условий и механизмов организационной адаптации. В.Р. Скотт в своих исследованиях подчеркивает фундаментальную роль институциональной адаптации в обеспечении эффективности организационных форм [1]. Это положение приобретает особую значимость в контексте международного сотрудничества.

Теоретические основы управления российско-китайскими совместными предприятиями должны также учитывать динамический характер современной бизнес-среды. Эффективное функционирование совместных предприятий в условиях высокой неопределенности требует формирования адаптивных

механизмов управления. Данные механизмы должны обеспечивать оптимальный баланс между организационной стабильностью и гибкостью, что является ключевым фактором конкурентоспособности в динамичной международной среде.

В контексте российско-китайского сотрудничества особое значение приобретает проблема согласования различных подходов к принятию решений и организации бизнес-процессов. Необходимо разработать механизмы, обеспечивающие эффективное взаимодействие представителей разных управленческих традиций при сохранении преимуществ каждой из систем. Это требует создания гибких организационных структур и развития механизмов горизонтальной координации [10].

Таким образом, второй блок модели создает теоретический фундамент для разработки эффективных механизмов управления российско-китайскими предприятиями, учитывающих институциональные особенности и культурные различия обеих стран [7].

3. Разработка интегрированной модели управления.

Этот блок представляет собой комплексный процесс, направленный на создание эффективной системы управления совместными предприятиями. Определение критериев выбора организационной структуры является ключевым элементом формирования интегрированной модели управления [11]. При этом необходимо учитывать несколько существенных факторов. Во-первых, организационная структура должна обеспечивать эффективную координацию деятельности всех подразделений совместного предприятия. Во-вторых, она должна создавать условия для развития инновационного потенциала организации. В-третьих, структура должна быть достаточно гибкой для адаптации к изменениям внешней среды.

Механизмы принятия управленческих решений в рамках интегрированной модели должны учитывать специфику международного сотрудничества.

Инновационный аспект управления приобретает особое значение в контексте развития совместных предприятий. Необходимо создать условия для эффективного обмена технологиями и знаниями между партнерами, что требует разработки специальных механизмов трансфера инноваций. При этом важно обеспечить защиту интеллектуальной собственности и соблюдение интересов всех участников сотрудничества.

Система контроля в рамках интегрированной модели должна обеспечивать эффективный мониторинг всех аспектов деятельности совместного предприятия [3]. Это требует разработки соответствующих показателей эффективности и механизмов их оценки. При этом важно учитывать различия в подходах к контролю и оценке результатов, существующие в российской и китайской управленческих традициях.

Таким образом, третий блок концептуальной модели направлен на создание комплексной системы управления, способной эффективно функционировать в условиях международного сотрудничества. При этом особое внимание уделяется обеспечению баланса между различными аспектами управленческой деятельности и созданию условий для устойчивого развития совместного предприятия.

4. Апробация интегрированной модели управления совместными производственными предприятиями и разработка механизмов адаптации.

Методологический подход к оценке уровня управленческой культуры совместных предприятий должен основываться на комплексном анализе различных аспектов организационного взаимодействия. Формирование совокупности управляемых параметров представляет собой важный элемент процесса апробации. Необходимо определить ключевые показатели эффективности, позволяющие оценивать результативность интегрированной модели управления на различных уровнях организационной иерархии. При этом особое внимание следует уделять разработке сбалансированной системы показателей, учитывающей как финансовые, так и нефинансовые аспекты деятельности [6].

Необходимо разработать детальные планы внедрения, определить ответственных лиц и создать эффективные механизмы координации действий всех участников процесса. При этом важно обеспечить необходимую гибкость планов, позволяющую адаптироваться к возникающим изменениям.

Создание динамических механизмов адаптации является критически важным элементом обеспечения устойчивости интегрированной модели управления. Необходимо разработать механизмы, позволяющие своевременно выявлять необходимость изменений и эффективно реализовывать соответствующие корректировки. При этом особое внимание следует уделять обеспечению баланса между стабильностью и гибкостью организационной системы.

Интеграция управленческих культур требует особого внимания к процессам межкультурного взаимодействия. Необходимо создать условия для эффективного обмена опытом и знаниями между представителями различных управленческих традиций. При этом важно обеспечить формирование общих ценностей и норм поведения, способствующих эффективному сотрудничеству.

Повышение эффективности российско-китайских предприятий является конечной целью внедрения интегрированной модели управления. Это требует постоянного анализа достигаемых результатов и своевременной корректировки применяемых управленческих механизмов. При этом важно обеспечить сбалансированное развитие всех аспектов деятельности организации и создание условий для долгосрочного устойчивого роста [8]. Таким образом, четвертый блок модели обеспечивает практическую реализацию теоретических разработок и создает основу для эффективного функционирования российско-китайских совместных предприятий в современных условиях.

Особое внимание в рамках представленной модели уделяется механизмам принятия решений, которые играют ключевую роль в обеспечении эффективного функционирования совместных предприятий.

Механизмы принятия решений в интегрированной модели управления совместными производственными предприятиями представляют собой

многоуровневую систему, учитывающую различные факторы влияния и обеспечивающую эффективную координацию деятельности.

Таким образом, разработанная концептуальная модель системы интегрированного управления совместными производственными предприятиями представляет собой комплексный инструмент, обеспечивающий эффективное взаимодействие российских и китайских партнеров. Модель учитывает институциональные особенности, культурные различия и управленческие традиции обеих стран, создавая основу для устойчивого развития совместных предприятий в долгосрочной перспективе.

Библиографический список

1. Scott W. R. Institutions and Organizations. Vol. 2. Thousand Oaks, CA: Sage, 1995.
2. Scott W. R. Institutions and Organizations: Ideas, Interests, and Identities. Thousand Oaks, CA, Sage Publications, 2013.
3. Волков Б.Н. Современные тенденции управления международными корпорациями // Менеджмент сегодня. 2020. № 4. С. 56–68.
4. Глобальный мониторинг предпринимательства. Россия 2013. URL: http://www.gsom.spbu.ru/images/cms/data/faculty/gem_2013_final20_all.pdf (дата обращения: 29.10.2025).
5. Дятлов С.А., Черняховская Н.В. Международное сотрудничество и интеграция производственных предприятий // Вестник СПбГУ. Сер.: Менеджмент. 2018. № 1. С. 125–140.
6. Иванов Д.Г. Оценка эффективности внедрений инновационных технологий в международные проекты // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2020. № 8. С. 121–135.
7. Клейнер Г.Б. Институциональные изменения и корпоративное управление // Вопросы экономики. 2018. № 5. С. 65–76.

8. Матвеев С.П. Совершенствование методов управления адаптационными механизмами в многонациональных компаниях // Российское предпринимательство. 2021. № 1. С. 34–45.
9. Миронов Ю.И. Организационные формы управления международными проектами // Проблемы теории и практики управления. 2017. № 10. С. 123–132.
10. Скворцова Е.С. Теория институциональных преобразований в экономике Китая // Экономическое обозрение. 2019. № 3. С. 15–25.
11. Чугунов Р.Ю. Управление конкурентоспособностью организаций в условиях глобализации // Российский журнал менеджмента. 2019. № 2. С. 101–118.

Фэн Тяньюй - аспирант, ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»,
fengtianyu1203@gmail.com

Feng Tianyu - postgraduate student, MSUT «STANKIN»,
fengtianyu1203@gmail.com

УДК 621.7.01

Хангильдин Б.О.

Khangildin B.O.

Утонение заготовок при изотермической вытяжке: влияние на характеристики и механические свойства детали

Thinning of workpieces during isothermal drawing: influence on the characteristics and mechanical properties of the part

В статье рассмотрено явление утонения материала заготовки в процессе изотермической вытяжки шестиугольных профилей. Проанализировано влияние степени утонения на распределение деформаций, механические свойства готовой детали и силовые параметры процесса. Приведены расчетные соотношения для оценки утонения и выбора оптимальных технологических режимов.

This article examines the phenomenon of workpiece material thinning during isothermal drawing of hexagonal profiles. The effect of the degree of thinning on deformation distribution, the mechanical properties of the finished part, and the force parameters of the process are analyzed. Calculation relationships for assessing thinning and selecting optimal process conditions are provided.

Ключевые слова: изотермическая вытяжка, утонение, коэффициент утонения, механические свойства, деформация, анизотропия, шестиугольная заготовка.

Keywords: isothermal drawing, thinning, thinning coefficient, mechanical properties, deformation, anisotropy, hexagonal workpiece.

Изотермическая вытяжка – это процесс обработки металлов давлением, проводимый при повышенной и стабильной температуре, что способствует повышению пластичности материала и снижению усилий деформирования. Особую актуальность этот процесс приобретает при изготовлении деталей сложной формы, таких как шестиугольные профили. Одной из ключевых

характеристик процесса является утонение стенки заготовки, которое напрямую влияет на качество, точность и механические свойства конечного изделия.

Исследование процессов утонения при изотермической вытяжке гексагональных заготовок обладает высокой актуальностью в современном машиностроении и авиакосмической промышленности в связи с растущими требованиями к точности и качеству деталей сложной геометрической формы при одновременном снижении материалоемкости производства. Широкое применение гексагональных профилей в критически важных узлах и конструкциях, где равномерность толщины стенки определяет надежность и долговечность изделия, обуславливает необходимость внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий, позволяющих сократить количество технологических переходов и уменьшить процент брака. Особую значимость данное исследование приобретает в контексте работы с анизотропными материалами, демонстрирующими сложное поведение при деформировании, а также в свете активного развития методов компьютерного моделирования, позволяющих точно прогнозировать утонение и оптимизировать технологические процессы без дорогостоящих натурных экспериментов.

Целью данной работы является комплексное исследование явления утонения при изотермической вытяжке шестиугольных заготовок, установление количественных закономерностей влияния технологических параметров на распределение утонения по сечению детали и разработка практических рекомендаций по оптимизации процесса для улучшения механических характеристик и геометрической точности готовых изделий:

1. Исследование влияния геометрических параметров инструмента (радиуса закругления матрицы, коэффициентов вытяжки и утонения) на характер утонения материала.

2. Определение оптимальных технологических параметров процесса, обеспечивающих равномерное распределение утонения по сечению детали.

3. Разработка практических рекомендаций по снижению дефектов обработки и улучшению механических свойств готовых изделий.

Сущность явления утонения и его расчет

Утонение – это уменьшение толщины стенки заготовки в результате пластической деформации при вытяжке. Контроль над утонением критически важен для предотвращения таких дефектов, как разрывы или складкообразование.

Основным параметром для количественной оценки этого процесса является коэффициент утонения k , который рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{s_1}{s_0}$$

где:

s_0 – начальная толщина заготовки, мм;

s_1 – конечная толщина стенки детали после вытяжки, мм.

Для процессов глубокой вытяжки также используется понятие среднего коэффициента утонения μ_s :

$$\mu_s = \sum s_{1i} / s_0 / n$$

где:

s_{1i} – толщина на i -м участке детали после вытяжки;

n – количество контролируемых участков.

На основе этого коэффициента можно определить относительное утонение ε_s :

$$\varepsilon_s = \frac{\frac{s_0 - s_1}{s_0}}{s_0} * 100\%$$

При изотермической вытяжке шестиугольной заготовки изначальной толщины $s_0 = 5$ мм, $R=4$ мм, были получены следующие $s_{11} = 3,98$ мм, $s_{12} = 4,14$ мм, $s_{13} = 3,96$ мм, что говорит о неравномерной толщине заготовки

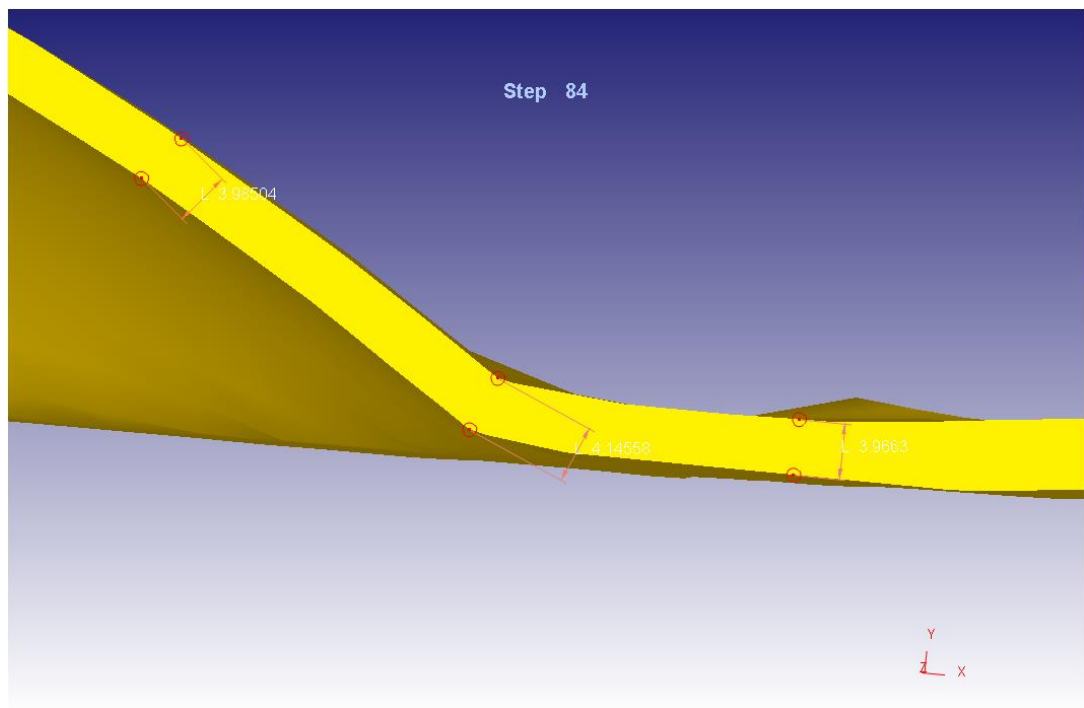


Рис 1. Толщины на 3-х участках заготовки

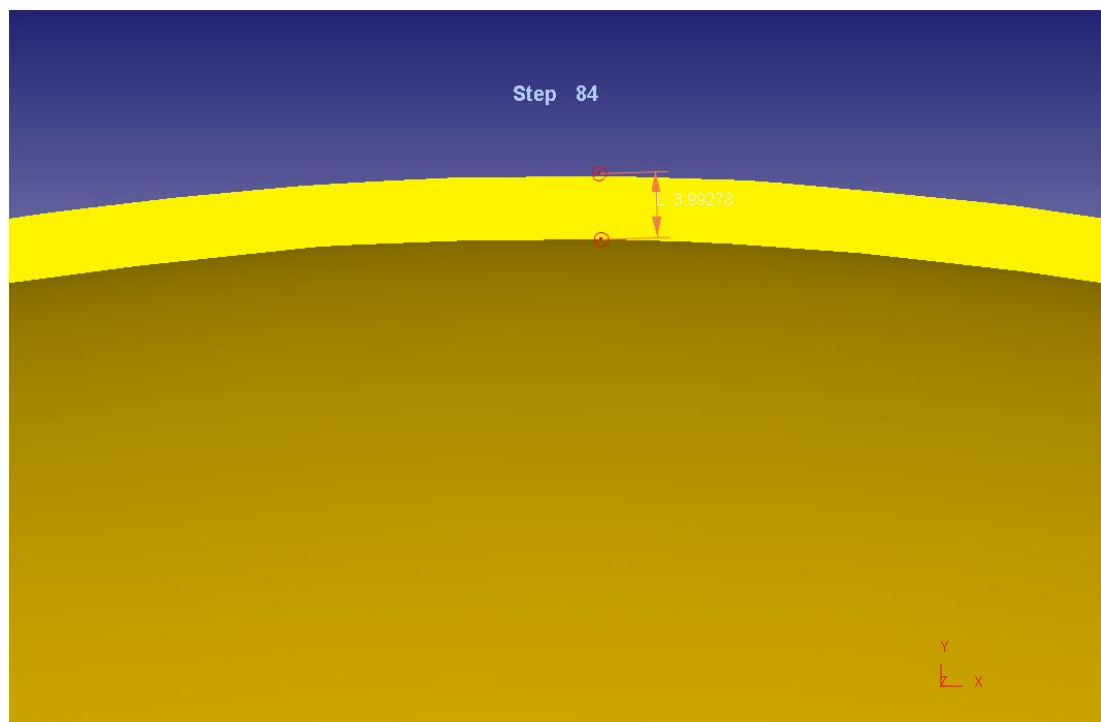


Рис 2. Толщина $s_{14} = 3,99$ мм в центре заготовки

Влияние утонения на характеристики детали

Утонение оказывает комплексное влияние на деталь:

1. Распределение механических свойств: В зонах наибольшего утонения происходит значительное упрочнение материала (наклеп). Это приводит к анизотропии свойств: прочность в этих зонах выше, но пластичность снижается.

2. Напряженное состояние: Максимальные главные напряжения концентрируются в зонах с наибольшим градиентом утонения. При неправильном подборе параметров утонение становится неравномерным, и локальные напряжения могут превысить предел прочности материала, приводя к образованию трещин.

3. Влияние геометрии инструмента: Радиус закругления матрицы R_m является ключевым фактором. Увеличение R_m способствует более плавному течению металла и снижает градиент утонения, делая его распределение более равномерным.

4. Связь с силовыми режимами: Коэффициент утонения k напрямую влияет на усилие вытяжки. Чем меньше коэффициент k (больше утонение), тем выше максимальное усилие, необходимое для осуществления операции.

Оптимизация процесса для контроля утонения

Для получения качественной детали с требуемыми механическими свойствами необходимо управлять утонением. Оптимальные параметры:

- Коэффициент утонения $k = 0.7$. При этом значении достигается наиболее равномерное распределение деформации.

- Радиус закругления матрицы $R_m = 4$ мм. Данный радиус обеспечивает плавный переход и снижает пиковые напряжения.

- Температурный режим 400–450 °С. Изотермические условия обеспечивают повышенную пластичность алюминиевых сплавов.

Заключение

Утонение заготовки является фундаментальным процессом при изотермической вытяжке, определяющим геометрическую точность, распределение механических свойств и отсутствие дефектов в готовой детали. Использование расчетных формул для коэффициента утонения в сочетании с современными методами компьютерного моделирования позволяет заранее

прогнозировать характер утонения и оптимизировать технологические параметры.

Библиографический список

1. Яковлев С.С. Теория обработки металлов давлением. — М.: Машиностроение, 2020. — 532 с.
2. Малинин Н.Н. Ползучесть в обработке металлов. — М.: Машиностроение, 1986. — 216 с.
3. DEFORM-3D User Manual. — SFTC, 2022. — 480 с.
4. Попов Е.А. Технология листовой штамповки. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. — 320 с.
5. Валиев С.А. Комбинированная глубокая вытяжка. — М.: Машиностроение, 1973. — 176 с.

Хангильдин Богдан Олегович - аспирант кафедры систем пластического деформирования МГТУ «СТАНКИН», АО «ММЗ АВАНГАРД» 100bogi@mail.ru

Khangildin Bogdan Olegovich - postgraduate student of the Department of Plastic Deformation Systems of MSTU «STANKIN», «MMZ AVANGARD» 100bogi@mail.ru

УДК 32.019.5

Хань Ифэн

Han Yifeng

Идеологические предпосылки китайской мечты: буддизм и коммунизм**Ideological underpinnings of the Chinese Dream: Buddhism and Communism**

Статья посвящена исследованию идеологических основ китайской мечты. В ней выявляется, как современные цели и задачи китайского общества соотносятся с традиционными китайскими ценностями, буддизмом и марксизмом. Анализируются ключевые элементы буддийской философии, такие как достижение нирваны и гуманистический буддизм, которые согласуются с идеей великой миссии китайской нации. Подчеркивается важность идеологического фундамента марксизма, выступающего теоретическим основанием для политических преобразований и экономических реформ в КНР. Обосновывается утверждение, что китайская мечта представляет собой синтез исторического опыта, культурных традиций и современных социально-экономических реалий и усилий, направленных на достижение процветания страны, национального обновления и народного благополучия.

This article explores the ideological foundations of the Chinese Dream. It examines how the modern goals and objectives of Chinese society align with traditional Chinese values, Buddhism, and Marxism. The article analyzes key elements of Buddhist philosophy, such as the pursuit of nirvana and humanistic Buddhism, which align with the idea of a great mission for the Chinese nation. It also highlights the importance of the ideological foundation of Marxism as a theoretical basis for political transformations and economic reforms in China. The article argues that the Chinese Dream is a synthesis of historical experience, cultural traditions, and modern socio-economic realities and efforts aimed at achieving national prosperity, renewal, and people's well-being.

Ключевые слова: Китайская мечта, буддизм, марксизм, национальное обновление, модернизация, культурные традиции, социополитическое развитие, национальные интересы, исторический опыт, идеологический фундамент.

Keywords: The Chinese Dream, Buddhism, Marxism, national renewal, modernization, cultural traditions, socio-political development, national interests, historical experience, and ideological foundation.

Китайская мечта – это социальный идеал всего китайского народа. 17 марта 2013 года Си Цзиньпин, только что избранный президентом страны, выступил с системным изложением «Китайской мечты» на заключительном заседании первой сессии Всекитайского собрания народных представителей двенадцатого созыва. Идея состоит в том, чтобы осуществить процветание страны, омоложение нации и счастье народа. Китайская мечта имеет глубокую основу и богатое содержание, а ее сущность и ценность можно наблюдать и понимать с разных сторон.

История Китая – это история страданий и унижений китайской нации. Слабое положение, бедность и отсталость вдохновили передовые элементы Китая на выдвижение цели осуществления великого омоложения китайской нации [2]. Реализация китайской мечты о великом возрождении китайской нации является основной тенденцией современного общества Китая.

Ценности китайской мечты совпадают с буддийскими идеалами. Буддизм имеет свою уникальную идеологическую систему верований. Мечта китайского буддизма состоит из трех уровней: первый - стремление к царству нирваны, слиянию с Буддой, второй - помощь миру через сострадание и третий - спасение всех живых существ [5]. Буддийские идеалы и китайская мечта гармонируют и дополняют друг друга, образуя идеологическую основу для объединения сил буддийского сообщества и всего китайского народа во имя совместной работы над воплощением мечты о великом возрождении китайской нации [1].

Идеальное состояние, к которому стремится буддизм, называется «нирвана». Хотя буддийский идеал нирваны и китайская мечта имеют разные

специфические коннотации, между ними наблюдаются параллели. Например, буддизм Махаяны отстаивает идеальное состояние четырех добродетелей: «настойчивости, счастья, самости и чистоты» - вечного, счастливого, выражающего истинное «я» и чистого. Между теорией четырех добродетелей Нирваны и стремлением к счастью людей в китайской мечте прослеживается связь. Не случайно некоторые люди в Новое время использовали четыре добродетели Нирваны для описания будущего мира Датун.

Осуществлению китайской мечты способствует «гуманистический буддизм». Мастер Тайсуй, лидер современного буддизма, выступал за движение буддийского возрождения, отстаивал теорию «чистой земли на земле» и, соответственно, выдвигал «буддизм жизни», «гуманистический буддизм». Он считал, что буддизм в современном мире не должен учить людей покидать человеческие тела, чтобы стать богами и призраками, или стать монахами в монастырях и лесах. Предложение Тайсуй, разъясненное и продвигаемое Иньшунем, Чжао Пучу, Синъюнем и другими, стало новым путем модернизации китайского буддизма.

Будучи одним из компонентов традиционной китайской культуры, китайский буддизм может сыграть важную роль в реализации китайской мечты, особенно в ее духовном аспекте.

Наконец, буддийское мировоззрение обеспечивает философскую поддержку идеи «общности судьбы» в китайской мечте [6]. Китайская мечта — это мечта китайского народа, воплощающая общие интересы китайского народа.

Еще одна идеологическая предпосылка китайской мечты – это марксизм. Эта философия служит теоретическим фундаментом для реализации концепции Китайской мечты, обеспечивая идеологическое обоснование и направляя политические и экономические реформы в Китае.

Во-первых, концепция Китайской мечты подчеркивает необходимость восстановления национальной гордости и уверенности в себе, что соответствует идеям марксизма о классовом сознании и национальном самосознании. Во-вторых, идеал равенства и социальной справедливости, заложенный в

философии марксизма, находит отражение в стремлении обеспечить равные возможности для всех граждан Китая. В-третьих, марксизм предполагает активное участие государства в экономике и модернизации промышленности, что также отражено в стратегии развития Китая. Наконец, акцент на патриотизме и коллективистских ценностях, характерный для марксистской и коммунистической идеологии, способствует укреплению национального единства и сплоченности.

Ранний марксизм распространялся в основном через Ли Дачжао, Чэнь Дусю, Ли Да, Ян Паоаня и других интеллектуалов в форме внедрения марксистских идей, создания различных марксистских учебных и исследовательских групп, а также перевода и публикации марксистской классики.

Распространение марксизма в раннем Китае в основном было сосредоточено на основных работах в духе марксизма, таких как «Мой взгляд на марксизм» Ли Дачжао и «Марксизм» Ян Паоань [5].

Позднее китайские коммунисты постепенно сформировали информационное содержание китаизации марксизма исходя из реальности Китая. Они двигались от пропаганды идей Маркса и Энгельса к пропаганде политических взглядов Коммунистической партии Китая, от ознакомления с опытом русской революции к обсуждению направления и пути китайской революции, от извлечения уроков из советской социалистической модели к изучению формы и содержания социалистического строительства в Китае [11]. Формируется китайский дискурс и китайское выражение марксизма. Постепенно оформились идеи Мао Цзэдуна, теория Дэн Сяопина, важная мысль о «трех представительствах», научный взгляд на развитие.

Марксизм — это исторически неизбежный выбор китайского народа, много страдавшего в поисках пути спасения страны [4].

В период социалистического строительства распространение марксизма в основном сочеталось с актуальными потребностями социалистического строительства, укрепляло дух коллективизма и традиционное воспитание

патриотизма, ориентировало людей на заинтересованные отношения между государством, коллективом и личностью. Оно призывало, соединив волю народа всей страны с волей отдельного человека, сосредоточить силы на социалистическом строительстве и способствовать бурному развитию социалистического строительства. В то же время распространение марксизма также было сосредоточено на создании моральных моделей, руководящих кадров и других методов построения социальной морали для усиления распространения марксизма.

Коммунистическая партия Китая укрепила веру народа в то, что марксизм поможет навести порядок и вывести страну из хаоса [13].

По мере своего развития марксизм ставил новые задачи перед социалистическим строительством, что побуждало коммунистов сознательно следовать принципу приспособления в соответствии с реальными условиями, что способствовало развитию негосударственной собственности. В начале реформ и открытости, чтобы помочь людям изменить свое мнение и освободить свое сознание, теоретическая пропаганда партии была сосредоточена на разъяснении людям теории социалистической рыночной экономики с китайской спецификой в сочетании с практическими проблемами, распространении современных идей. Китайская марксистская теория, своевременно и точно объясняя социалистический характер реформ и открытости, обеспечивала плавный ход реформ и открытости. Например, «Южные беседы» Дэн Сяопина 1992 года сыграли важную направляющую роль в завершении споров о том, быть ли обществу социалистическим или капиталистическим, следует ли придерживаться плановой экономики или рыночной экономики и так далее. Национальные лидеры также взяли на себя инициативу по изменению способов распространения марксизма, например, Дэн Сяопин подчеркивал, что «уроки марксизма-ленинизма должны быть усовершенствованными и эффективными» [5].

Распространение марксизма в этот период имеет очевидную особенность - оно обращает внимание на принцип ориентации интересов, а интересы народа

становятся опорой и исходным пунктом теоретической просветительской деятельности. Цель «общего процветания», идея «трех представлений» и научный взгляд на развитие — все это теоретические выражения, ориентированные на коренные интересы людей.

Благодаря быстрому развитию хозяйственного строительства Китая были достигнуты замечательные успехи, созданы благоприятные условия для распространения марксизма в целом. Как руководящая идеология Коммунистической партии Китая, марксизм привел китайский народ к победе новой демократии, установлению социалистической системы и достижению больших успехов в области реформ и открытости. Он обладает достаточным теоретическим авторитетом, моральным превосходством и исторической рациональностью. Акцентирование внимания на великих достижениях Нового Китая в распространении марксизма и подчеркивание фактической легитимности правящей партии теоретическими объяснениями в соответствии с национальными условиями очень убедительны как в пределах страны, так и за рубежом [12].

Конечно, под влиянием течения рыночной экономики, такого как гедонизм, поклонение деньгам и крайний индивидуализм на Западе, после реформ и открытости возникла путаница в отношении того, какой путь выбрать. Ситуация, противоположная идеалу, оказала негативное влияние на распространение марксизма. Идеология была сфокусирована в это время на том, как достичь баланса между теорией и практикой.

После 18-го Всекитайского съезда Коммунистической партии Китая Центральный Комитет партии во главе с товарищем Си Цзиньпином стоял на вершине развития партии и на пороге в новую эпоху. Он глубоко осмыслил и обобщил исторические достижения партии в деле распространения коммунизма, особенно с момента основания Нового Китая. Это благоприятная ситуация, в которой первоначальные устремления, социализм и китайская мечта глубоко укоренились в сердцах народа, широко пропагандируются основные социалистические ценности, значительно возросло влияние китайской культуры.

Таким образом, китайская мечта состоит в том, чтобы добиться национального процветания, возрождения нации и счастья людей. При этом национальное процветание должно проявиться в построении умеренно зажиточного общества и создании сильной социалистической модернизированной страны. Национальное процветание является основой национального омоложения и счастья людей. Это основная концепция трех уровней китайской мечты.

Китайская мечта – это в конечном счете мечта народа, и она должна быть реализована народом. Как основная составляющая общества, народ существует в виде индивидуумов, семей и наций, которые все являются частью национального сообщества. Личность и семья являются ячейками страны и общества. Ценности личности, семьи, нации составляют ценность национальной общности, а ценность национальной общности воплощает в себе ценностные ориентиры личности, семьи, нации и общества. Интересы и ценности индивидуального, семейного и национального уровней могут быть реализованы только через ценность национального сообщества. Поэтому китайская мечта – это объединение личной мечты, семейной мечты и национальной мечты. Реализация китайской мечты требует единства 1,3 миллиарда китайцев всех этнических групп.

Библиографический список

1. Адамчик В.В. История Китая. М.: АСТ, 2017. 121 с.
2. Беликов И.В. Китай известный и незнакомый. М.: Алетейя, 2019. 710 с.
3. Васильев Л.С. Культы, религии, традиции в Китае. М.: Ломоносовъ, 2017. 114 с.
4. Владимиров О.Е., Рязанцев В.И. Страницы политической биографии Мао Цзэдуна. М.: Издательство политической литературы, 2021. 100 с.
5. Духовная культура Китая: энциклопедия в 5 томах. Т. 4. Историческая мысль. Политическая и правовая культура. М.: Восточная литература РАН, 2023. 964 с.

6. Духовная культура Китая: энциклопедия в 5 томах. Т. 1 Философия. М.: Восточная литература РАН, 2021. 728 с.
7. Духовная культура Китая: энциклопедия в 5 томах. Т. 2 Мифология. Религия. М.: Восточная литература РАН, 2020. 869 с.
8. Дюмулен Г. История Дзэн-буддизма. Индия и Китай. М., 2023. 336 с.
9. Караев Г.Н. Военное искусство древнего Китая. М.: Воениздат, 2023. 216 с.
10. Иванов И.И. Историография истории Древнего Востока. Иран, Средняя Азия, Индия, Китай. М.: Алетейя, 2022. 38 с.
11. Мэн Юйфэн. «Третий скачок китаизации марксизма»: проблемный опыт концептуализации // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2021. № 3. С. 276–283.
12. Новикова Е.Ю. Философия Мао Цзэдуна и современность. Вестник Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова. 2013. 4 с.
13. Смирнов Д.А. К вопросу об идейных истоках теории «Новой демократии» Мао Цзэдуна // Общество и государство в Китае. Ежегодник. Том 42. 2012. С. 380-386.

Хань Ифэн - аспирант, Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, ifenhan@yandex.com

Han Yifeng - postgraduate student, P. Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, ifenhan@yandex.com

УДК 681.51

Шарипов О.А., Бутримова Е.В.

Sharipov O.A., Butrimova E.V.

Полная функция управления физическими системами

Full control function of physical systems

В статье рассмотрены элементы полной функции управления и два варианта реализации управления физическими системами в зависимости от соотношения скорости преобразования информации и скорости протекания процесса. Представлено описание и схемы информационных потоков для двух вариантов системы управления.

The article discusses the elements of the full control function and two options for implementing control of physical systems, depending on the ratio of the rates of receiving and converting information and the course of the process. The description and schemes of information flows for two options of the control system are presented.

Ключевые слова: *физическая система, скорость процесса, алгоритм управления.*

Keywords: *physical system, process speed, control algorithm.*

Автоматизация управления производственными процессами является одним из ключевых направлений интенсификации производства, повышения его эффективности и качества продукции. Так, в современном машиностроительном комплексе одними из наиболее распространенных и значимых являются физические процессы обработки материалов, к которым относятся механическая обработка, электрическая, термическая, лучевая, акустическая и т.д.

Управление представляет собой процесс взаимодействия двух систем – управляемой и управляющей. В управляемой системе осуществляется управляемый физический процесс преобразования материи и энергии. В управляющей системе происходит процесс преобразования информации, необходимой для осуществления управления.

Взаимодействие между управляющей и управляемой системами проявляется через воздействия и состояния, которые находятся между собой в причинно-следственной связи. Воздействие управляющей системы на управляемую осуществляется посредством изменения независимых переменных физических величин (факторов) и является причиной изменения состояния управляемой системы. Состояние управляемой системы характеризуется зависимыми физическими величинами (параметрами), которые являются следствием изменения воздействия (рис. 1). При этом состояние управляемой системы является воздействием на управляющую, а воздействие управляющей системы на управляемую – состоянием управляющей системы.

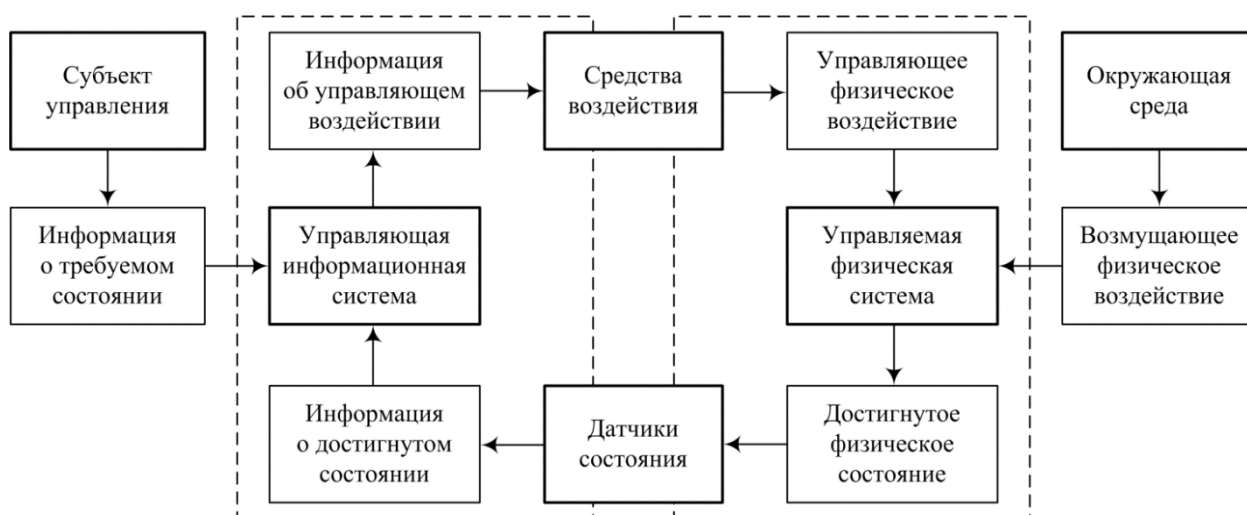


Рис. 1. Взаимодействие управляющей и управляемой систем

Субъект управления оказывает информационное воздействие на управляющую систему и определяет цель и качество управления. Таким образом, он задает требуемое состояние управляемой системы. На управляемую систему влияет возмущающее физическое воздействие окружающей среды, которое создаёт условия, препятствующие достижению цели управления [2].

Между управляемой и управляющей системами находятся измерительные преобразователи и исполнительные устройства. Измерительные преобразователи (датчики состояния) преобразуют текущее физическое состояние управляемой системы в информацию о достигнутом состоянии.

Исполнительные устройства (средства воздействия) преобразуют информацию об управляющем воздействии в управляющее физическое воздействие на управляемую систему.

Движение информации в управляемой системе описывает полная функция управления, которая представляет собой алгоритм управления и включает в себя четыре этапа: постановку задачи управления, создание математической модели управляемой системы, оптимальное планирование и определение способа восстановления работоспособного состояния управляемой системы [1].

1. Информацию о задаче управления получают из информации об области управления, информации о цели и качестве управления и информации о способе управления.

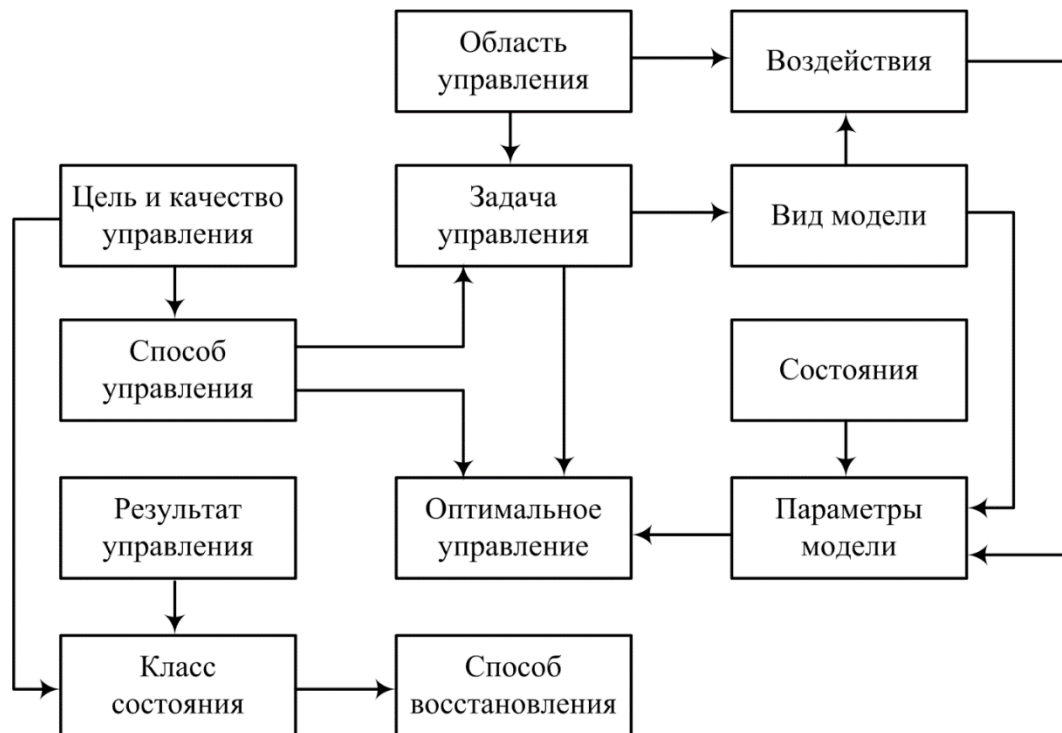
2. Информацию о параметрах математической модели получают из информации о виде модели, информации о воздействиях и информации о состояниях управляемой системы. Информацию о воздействиях получают из информации об области управления и информации о виде математической модели. Информацию о виде математической модели получают из информации о задаче управления.

3. Информацию об оптимальном управлении получают из информации о задаче управления, информации о способе управления и информации о параметрах математической модели.

4. Информацию о способе восстановления получают из информации о классе состояния (диагнозе). На этом этапе определяющими являются время протекания управляемого физического процесса и скорость реагирования системы управления.

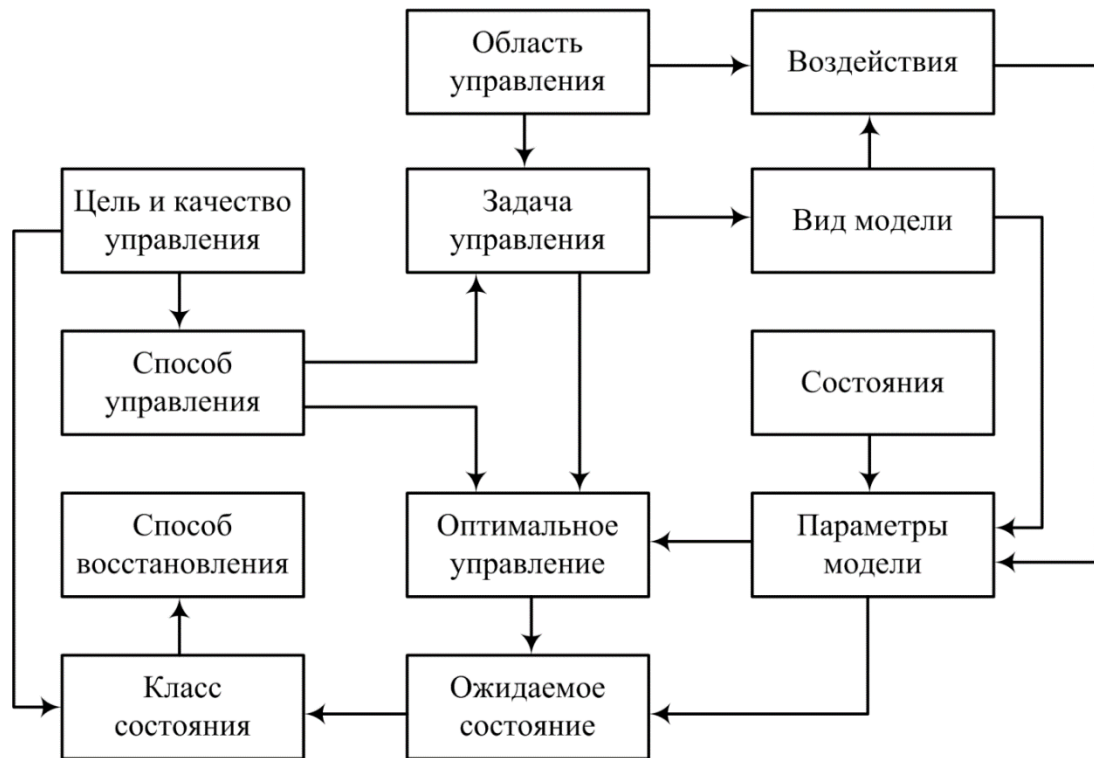
В зависимости от соотношения скоростей преобразования информации в системе управления и протекания управляемого физического процесса системы управления можно разделить на два вида: быстро реагирующие и медленно реагирующие.

Если скорость преобразования информации в системе управления больше скорости протекания управляемого физического процесса, система является быстро реагирующей. В этом случае информация о классе состояния получается из информации о цели и качестве управления и информации о результате управления (рис. 2).



**Рис. 2. Схема информационных потоков
быстро реагирующей системы**

Если скорость преобразования информации в системе управления меньше скорости протекания управляемого физического процесса, система является медленно реагирующей. Для таких систем информация о классе состояния получается из информации о цели и качестве управления и информации о прогнозе. Информацию об ожидаемом состоянии (прогнозе) получают из информации об оптимальном управлении и информации о параметрах математической модели (рис. 3).



**Рис. 3. Схема информационных потоков
медленно реагирующей системы**

Как видно из отличительных особенностей двух видов систем, информация о классе состояния для быстро реагирующей системы управления в большей степени определяется точностью результатов, полученных от датчиков состояния управляемой системы, а для медленно реагирующей системы ключевым является получение информации об оптимальном управлении, которое определяется качеством используемой для управления математической модели.

Исследование полной функции управления показывает, что в зависимости от того, насколько скорость получения и преобразования информации о состоянии управляемого физического процесса больше скорости протекания процесса, может быть использован один из двух вариантов управления физическим процессом: управление быстро реагирующей системой управления или управление медленно реагирующей системой управления [3].

Таким образом, использование необходимого варианта управления позволяет обеспечить высокую точность и качество системы управления заданным физическим процессом.

Библиографический список

1. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Высшая школа, 2007. – 208 с.
2. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
3. Шарипов О.А., Бутримова Е.В. Моделирование и планирование физических процессов обработки: учеб. пособие. – М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2019. – 88 с.

Шарипов Олег Анатольевич – кандидат технических наук, старший инженер-технолог, ООО «ЛАС», sharoleg@mail.ru

Sharipov Oleg Anatolievich – cand. Sc. of Engineering, senior Process Engineer, LLC «LAS», sharoleg@mail.ru

Бутримова Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», ferrari-love@mail.ru

Butrimova Elena Vladimirovna – cand. Sc. of Engineering, associate professor at the department of Environmental Engineering and Life Safety, MSUT «STANKIN», ferrari-love@mail.ru

УДК 531.715.2

Шулепов А.В., Соколов С. П.

Shulepov A. V., Sokolov S. P.

Микроскопическая оптоэлектронная система с цифровой обработкой изображения для контроля геометрической точности малых отверстий

Microscopic optoelectronic system with digital image processing for geometric accuracy inspection of small holes

В статье рассматривается система контроля параметров геометрической точности отверстий, изготавливаемых путем лазерной пробивки в корпусах химических источников напряжения при автоматизированном производстве. Контролируемыми параметрами отверстий являются размеры, отклонение формы, виды искажений формы, отклонения расположения отверстий, площадь проходного сечения, дефекты на корпусах. Система построена на базе бесконтактной оптоэлектронной микроскопической установки с цифровой обработкой изображения контролируемых отверстий.

This article discusses a system for monitoring the geometric accuracy of holes produced by laser punching in chemical power supply housings during automated production. The monitored hole parameters include size, shape deviation, types of shape distortion, hole position deviations, cross-sectional area, and housing defects. The system is based on a contactless optoelectronic microscopic system with digital image processing of the inspected holes.

Ключевые слова: контроль отверстий малых размеров, лазерная обработка, цифровая обработка изображения

Keywords: small hole inspection, laser punching, digital image processing

Современное приборостроение предъявляет высокие требования в отношении точности изготовления деталей, узлов и отдельных агрегатов. Точность изготовления может быть достигнута при обеспечении процесса контроля этих изделий необходимыми методами, средствами и приемами

измерения. Одной из наиболее трудных областей контроля является измерение параметров геометрической точности отверстий малых диаметров до 1 мм.

Контактные методы, основанные на механическом взаимодействии измерительного системы с поверхностью отверстия, обеспечивают высокую точность простоту калибровки. Однако их применение для контроля отверстий диаметром до 1мм является уникальной измерительной задачей и практически не реализуемо в автоматизированном производстве. Бесконтактные методы, такие как пневматические, оптические, лазерные и ультразвуковые, исключают жесткий механический контакт, минимизируют воздействие на объект, что приводит к уменьшению погрешности измерения [2].

При построении системы контроля малых отверстий в условиях массового производства дополнительные преимущества достигаются при применении оптических методов. Измерительные системы на их основе обеспечивают субмикронную точность, высокую скорость измерений, дистанционный бесконтактный режим и возможность интеграции в автоматизированные поточные линии, сочетают возможности оптических и современных цифровых методов получения и обработки измерительной информации.

В данном исследовании контролируемым объектом является сквозное отверстие в корпусе химического источника питания.

К объекту предъявляются следующие требования:

- Размер отверстий: действительный диаметр и площадь отверстия должны находиться в пределах установленных допусков, чтобы гарантировать достаточную пропускную способность этого канала при активации источника.
- Номинальная форма отверстий должна быть круглой. Отклонения от круглой формы при пробивке отверстий лазером могут служить диагностическим признаком аварийных режимов работы оборудования и нарушением режимов и применяться для управления процессом.
- Положение отверстий: координаты центров отверстий относительно установленных баз сторон корпуса должны точно соответствовать проектной

документации, чтобы обеспечить правильное расположение всех компонентов при сборке.

Схема участка линии автоматизированного изготовления и контроля отверстий в корпусах показана на рис.1 После пробивки отверстия корпус перемещается в измерительный модуль. Измерительное устройство системы представляет собой оптоэлектронную измерительную систему, построенную как измерительный микроскоп с высоким разрешением, оснащенный цифровой видеосистемой на основе матричной ПЗС камеры. Контролируемый корпус помещается на предметном столе и освещается светодиодной осветительной системой. Изображения просвечиваемых отверстий формируются телецентрическим объективом устройства и направляется на матричный фотоприемник. При разработке измерительной системы принимались меры для обеспечения равномерное освещение объекта для получения четкого изображения. Использование компенсационной оптики в измерительном модуле позволяет минимизировать искажения, вызванные аберрациями или неровностями поверхности корпуса [3].

Эти параметры сравниваются с предустановленными допусками и происходит разбраковка деталей, дефектные детали, с недопустимыми отклонениями автоматически отделяются в потоке деталей и направляются в контейнер брака.

По результатам измерения параметров геометрической точности (отклонения размеров, формы и расположения отверстия, изъянов от разбрызгивания металла на поверхности корпуса и др.) вместе с разбраровкой с помощью программно-математического обеспечения (ПМО) формируются управляющие команды для подналадки, изменения режимов или остановки процесса производства.

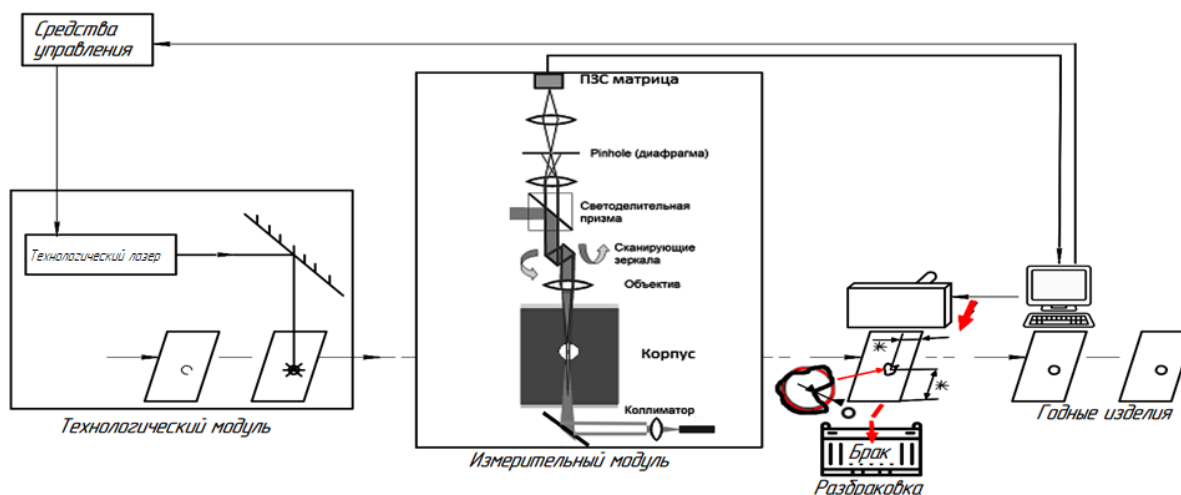


Рис. 1. Схема участка линии автоматизированного изготовления и контроля отверстий в корпусах

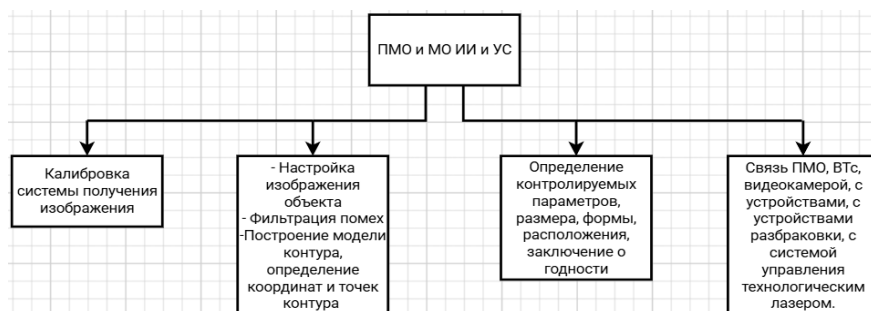


Рис. 2. Структура программно-математического и метрологического обеспечения системы

Структура и функции программно-математического и метрологического обеспечения оптоэлектронной измерительной и управляющей системы представлены на рис.2. Разработанные алгоритмы обработки информации и управления процессами контроля функционируют следующим образом. Во время первого запуска ПМО происходит проверка в памяти значения разрешающей способности системы, если система неоткалибрована, то запускается функция для калибровки и записи в память необходимых значений измерительной оптоэлектронной системы. Далее с камеры поступает изображение, которое фильтруется гауссовским фильтром для устранения шумов и хроматической аберрации [1]. Примеры изображений отверстий с дефектами показаны на рис.3. Затем изображение переводится в ч/б режим,

после чего проводится бинаризация изображения и обнаружение контуров, подсчитывается количество пикселей внутри контура, для подсчета теоретической площади отверстия и теоретического значения диаметра, после чего определяются полярные координаты (1) отверстия, их перевод из пикселей изображения в мм. и перевод в декартовую систему (2). После определения координат подсчитывается положение центра отверстия относительно базовых сторон, значение диаметра и площади просвета отверстия. Для определения отклонения формы отверстия от круглости строятся окружности минимальной зоны, прилегающая окружность, окружность минимальной зоны, средняя МНК окружность и средняя окружность по Чебышёву, по которым определяется доля их соответствия номинальной. Далее, по всем полученным данным делается заключение о годности детали, при отрицательном исходе подаются сигналы управления процессом и оборудованием. Отчет с результатами и отклонениями режимов от установленных норм автоматически формируется системой (рис.4).

$$\rho \text{ (пикс)} = \sqrt{(x - x_{\text{ц}})^2 + (y - y_{\text{ц}})^2}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{y - y_{\text{ц, пикс.}}}{x - x_{\text{ц, пикс.}}} \right) \quad (1)$$

$$\begin{cases} x \text{ (мм)} = \rho \cos \varphi \\ y \text{ (мм)} = \rho \sin \varphi \end{cases} \quad (2)$$

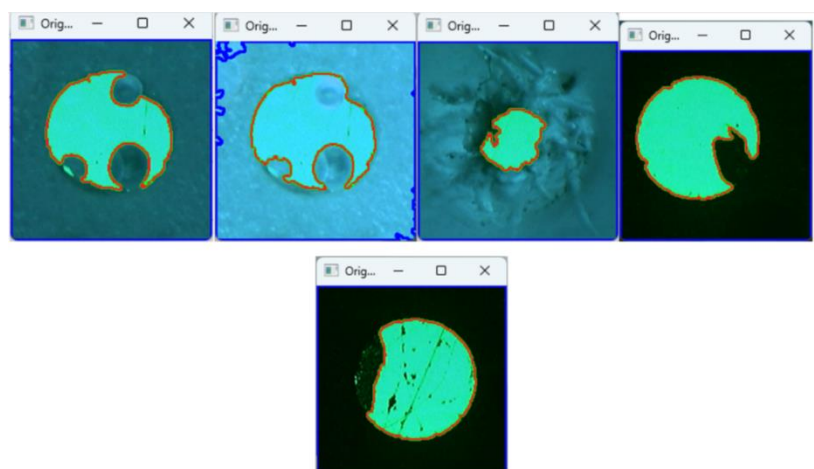


Рис. 3. Результаты распознавания в отраженном и проходящем свете при различных дефектах

При контроле отверстий даже идеальной круглой формы в проходящем свете система может некорректно определять их контур из-за дефектов, загрязнения предметного стола или других элементов оптической системы, которые не пропускают свет сквозь фактический контур отверстия. Для повышения надежности системы в ПМО предусмотрены средства для распознавания таких искажений изображений объектом и формировании информационных и управляющих воздействий для устранения таких несоответствий.

Для оценки возможности оценивания дефектов в виде грата, изъянов на поверхности детали вокруг пробитого отверстия проведено исследование возможности системы при измерении в отраженном свете. Установлено, что средства получения и обработки изображения в ПМО корректно определяют контур отверстия и поверхностные дефекты на корпусе. Однако, наблюдение считывание рельефа требует больших вычислительных мощностей, снижения быстродействия.

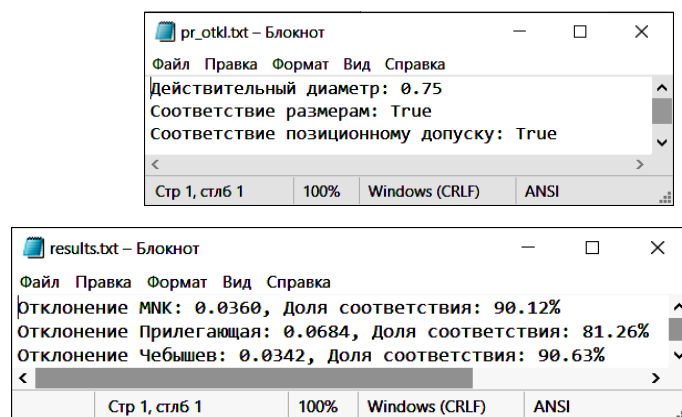


Рис. 4. Автоматически сформулированные отчеты о соответствии пробитого отверстия заданным параметрам размера и формы

В ходе работы были рассмотрены основные средства измерений малых отверстий и разработана экспериментальная оптоэлектронная измерительная система, на базе компьютеризированного универсального измерительного микроскопа цифровой видеосистемой, которая представляет собой эффективное решение средства автоматического измерения и управления и возможность

автоматизации и интеграции в производственную линию. Она сочетает традиционную оптическую систему с цифровыми технологиями обработки изображений, обеспечивая высокую точность и автоматизацию процесса. Экспериментальные измерения показали, что система успешно распознает дефекты, такие как грат и искажения профиля, при контроле пробитых отверстий.

Библиографический список

1. Волкова М.А., Иванова А.А., Луцев В.Р., Недошивина Л.С. Программная компенсация эффектов хроматической аберрации на цветных фотографиях // Оптический журнал. 2019. Т. 86. № 12. С. 21–28. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2019-86-12-21-28>
2. Григорьев И. А. Измерение малых отверстий/ И. А. Григорьев. – М.: ОБОНГИЗ, 1953 – 116 с.
3. Кулаков М. В. Оптико-механические приборы: Учебное пособие / М. В. Кулаков. — М.: Логос, 2007. — 320 с.

Шулепов Алексей Виленинович - доцент кафедры «ИИСиТ» МГТУ «СТАНКИН», кандидат технических наук, доцент; avshul@yandex.ru, a.shulepov@stankin.ru

Shulepov Aleksey Vileninovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate professor of the sub-department «Measurement information systems and technologies» of MSTU « STANKIN ». Tel.: +7(499) 972-94-64. E-mail: avshul@yandex.ru, a.shulepov@stankin.ru

Соколов Сергей Павлович - Студент магистратуры по направлению подготовки 12.04.01 «Приборостроение», ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», langquest64@yandex.ru

Sokolov Sergei Pavlovich - Master's student in the field of training 12.04.01 «Instrument Engineering», STANKIN Moscow State Technical University, langquest64@yandex.ru

УДК 658.512.4

Юдин Д.В., Феофанов А.Н.

Yudin D., Feofanov A.

Алгоритм выбора метода обработки по параметрам припуска обрабатываемого изделия**Algorithm for selecting a processing method based on the allowance parameters of the workpiece**

В статье рассматривается алгоритм выбора метода обработки по параметрам припуска обрабатываемого изделия. Предложенный подход, основанный на применении теории графов, позволяет формализовать процесс принятия решений при разработке технологических процессов. В качестве исходных данных используются параметры припуска, допустимые методы обработки. Целевая функция алгоритма основана на минимизации себестоимости обработки, однако может быть адаптирована под иные критерии оптимальности — время, трудоёмкость или станкоёмкость. Разработанный алгоритм обеспечивает выбор сочетания методов обработки, оборудования и инструмента, что способствует повышению эффективности технологической подготовки производства и снижению производственных затрат.

The article discusses an algorithm for selecting a processing method based on the parameters of the workpiece allowance. The proposed approach, based on the application of graph theory, allows formalizing the decision-making process in the development of technological processes. The initial data used are the allowance parameters and acceptable processing methods. The target function of the algorithm is based on minimizing the cost of processing, but it can be adapted to other optimization criteria, such as time, labor intensity, or machine capacity. The developed algorithm provides a selection of a combination of processing methods, equipment, and

tools, which contributes to improving the efficiency of technological preparation of production and reducing production costs.

Ключевые слова: автоматизация технологической подготовки производства, выбор метода обработки, теория графов, оптимизация себестоимости

Keywords: automation of technological preparation of production, selection of processing methods, graph theory, cost optimization.

Введение. Автоматизация технологической подготовки производства (ТПП) является важной составляющей повышения эффективности производства и сокращения его издержек в условиях общего дефицита кадров. Существующие тенденции в промышленности по уменьшению серийности и увеличению номенклатуры производимой продукции повышают требования к скорости выполнения ТПП. Одним из ключевых направлений ТПП является разработка технологических процессов (ТП). «Ручная» разработка ТП имеет следующие недостатки:

- ошибки из-за человеческого фактора;
- качество разработки зависит от опыта исполнителя;
- увеличение количества применяемых средств технологического оснащения;
- невозможности типизации применяемых приемов обработки;

Одним из вариантов решения данных недостатков является автоматизация процесса разработки ТП. Процесс организации автоматизированного проектирования ТП можно разделить на 3 этапа [1]:

1. Подготовка информации.
2. Обработка информации при проектировании ТП.
3. Формирование выходной информации.

Из данных этапов наиболее разработанным является третий, который включает в себя работу по формированию комплекта технологических документов.

Реализация первого этапа связана с разработкой формализованного описания исходной информации о детали. Ввиду большого разнообразия деталей, целесообразно разработка универсальной классификации отдельных элементов обрабатываемых изделий, которые будут использоваться при построении ТП по принципу: переход \rightarrow операция \rightarrow маршрут. С данной целью была разработана классификация припусков детали, позволяющая декомпозировать общий припуск на отдельные элементы и описать их ограниченным набором параметров, вне зависимости от его изначальной формы [2]. Параметры припуска включают:

- геометрическая форма;
- геометрические размеры;
- характеристики поверхностей припуска;
- характеристики смежных поверхностей;
- физические свойства;
- характеристики относительного расположения.

Для подтверждения возможности использования параметров припуска для разработки ТП была определена взаимосвязь данных параметров с применяемыми методами обработки и режущим инструментом [3].

Разработка алгоритма. Реализация второго этапа автоматизации разработки ТП связана с разработкой алгоритмов выбора типовых решений применительно к условиям производства, где система проектирования будет эксплуатироваться. Разработка алгоритма методов обработки по параметрам припуска обрабатываемого изделия является одной из наиболее важных частей данного этапа, т.к. выбор метода обработки влияет на экономические показатели производства.

Ввиду того, что в мелкосерийном производстве применяется стандартный режущий инструмент и не используется оборудования позволяющее производить многоинструментальную обработку, соответственно удаление каждого из элементов припуска ведется последовательно и процесс обработки детали

представляет собой последовательность технологических переходов. Таким образом процесс обработки можно представить в виде графа, в котором в качестве вершин приняты методы удаления припуска, а ребра соединяют последовательно удаляемые припуска.

Рассмотрим частный случай обработки вала, фрагмент которого представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Фрагмент детали Вал

Для получения Вала из заготовки необходимо удаление припуска состоящего из трех элементов припуска. Ввиду того, что практически для любого припуска могут быть применены различные методы обработки, необходимо рассмотреть все доступные варианты и определить наиболее эффективные методы для обработки детали целиком. Зададим для каждого элемента припуска возможные варианты метода обработки (таблице 1).

Таблица 1.

Доступные варианты методов обработки для детали Вал

Припуск №	Вариант обработки	Метод обработки	Оборудование	Режущий инструмент
1	1	Токарная черновая	Токарный универсальный станок	Резец 1.1
1	2	Токарная черновая	Токарный станок с ЧПУ	Резец 1.2
2	1	Токарная получистовая	Токарный универсальный станок	Резец 2.1
2	2	Токарная получистовая	Токарный станок с ЧПУ	Резец 2.2
3	1	Токарная чистовая	Токарный станок с ЧПУ	Резец 3
3	2	Шлифовальная операция	Шлифовальный станок	Шлифовальный круг

Представим возможные варианты методов обработки в виде графа обработки (рисунок 2):

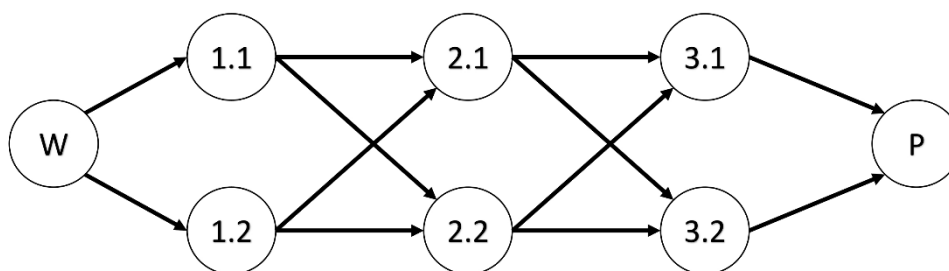


Рис 2. Граф обработки детали Вал

Граф обработки – это ориентированный взвешенный граф, в котором вершинами являются различные варианты удаления припусков и заданы начальная («W») и конечная вершины («P»), обозначающие заготовку и деталь. Ориентация ребер задает последовательность обработки.

Вес ребер рассчитывается исходя из целевой функции (F). В качестве целевой функции использована себестоимость (C) обработки детали (1). Но в зависимости от конкретных задач производства, себестоимость может быть заменена на время обработки, трудоемкость, станкоемкость или другой параметр так как данные изменения не влияют непосредственно алгоритм, а потребуют только изменений в вычислениях.

$$F = C \rightarrow \min \quad (1)$$

Вес ребер рассчитывается как сумма себестоимости удаления припуска и затрат, связанных с изменением метода обработки для различных припусков (2).

$$C_{i,j} = C_{п(i)} + C_{\Delta(i,j)} \quad (2)$$

где $C_{п(i)}$ – себестоимость варианта i обработки припуска, $C_{\Delta(i,j)}$ – затраты, связанные с изменением метода обработки между припусками i и j .

После вычисления веса всех ребер, решение алгоритма по автоматизированному выбору методов обработки заключается в нахождении минимального пути от вершины «W» к вершине «Р».

Блок схеме алгоритма представлена на рисунке 3.

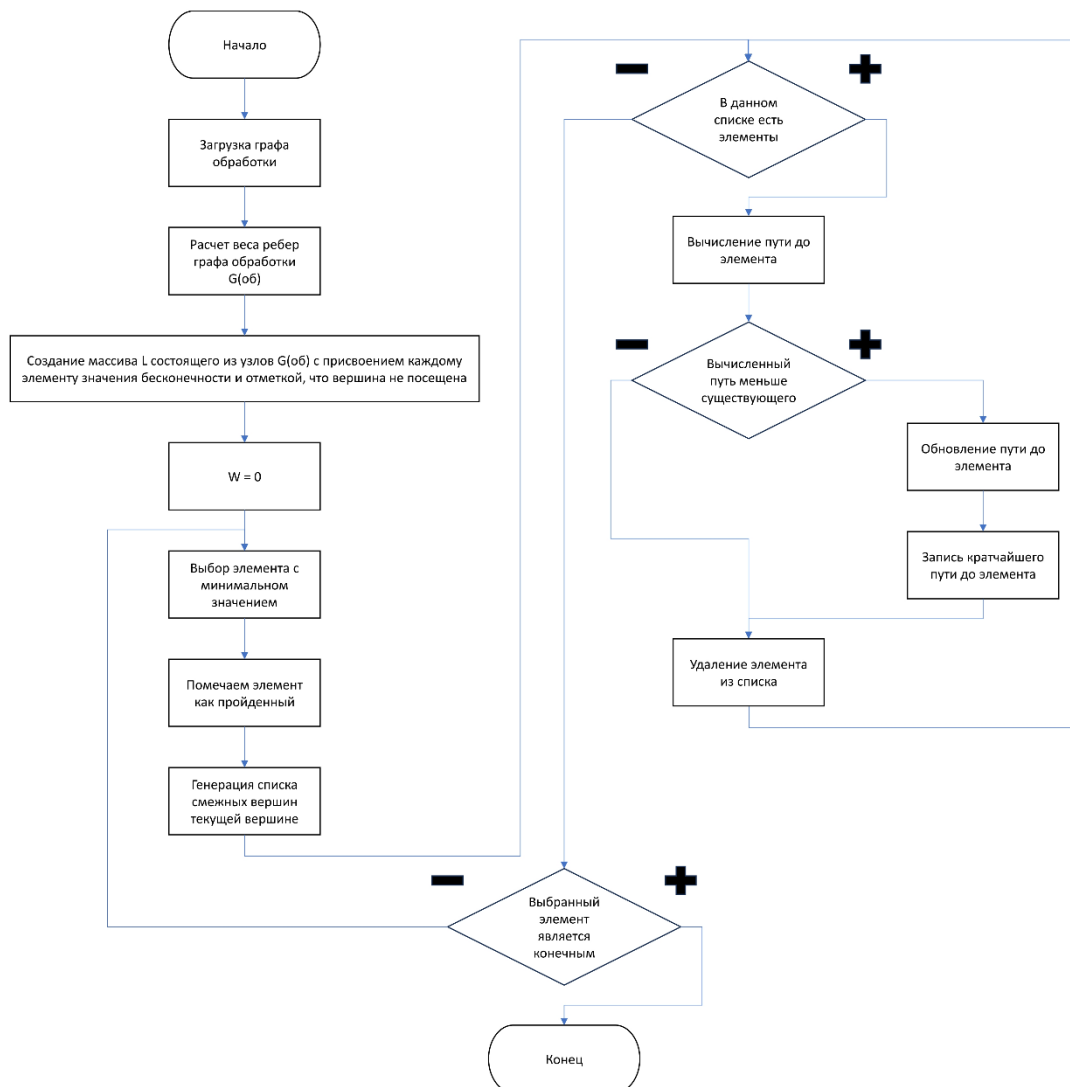


Рис. 3. Алгоритм выбора метода обработки

Исходными данными являются:

- параметры припусков;

- допустимые методы обработки, включающие оборудование и режущий инструмент;
- объем выпуска изделий.

Разработанный алгоритм позволяет выбирать перечень методов обработки для изготовления детали в конкретных производственных условиях. Алгоритм предназначен для нахождения кратчайшего пути от начальной вершины до конечной. Он начинается с присвоения расстояния вершинам, значение исходной принимается равным нулю, а для всех остальных — бесконечность.

На каждом шаге выбирается вершина с минимальным текущим расстоянием, которая ещё не была обработана. Для всех смежных с ней вершин производится пересчёт расстояний: если найден более короткий путь через текущую вершину, значение обновляется.

После обработки вершины она помечается как посещённая и больше не рассматривается. Процесс повторяется до тех пор, пока не будет найден путь до конечной вершины. В результате алгоритм формирует дерево кратчайшего пути, позволяющее определить оптимальный маршрут между начальной и конечной вершиной графа.

Заключение. Разработан алгоритм выбора оптимальных методов обработки, основанный на параметрах припуска детали и использовании теории графов. Предложенный подход позволяет формализовать процесс выбора технологических решений и автоматизировать один из ключевых этапов разработки технологических процессов. Реализация алгоритма обеспечивает возможность минимизации себестоимости и повышения эффективности обработки деталей, что особенно актуально для условий мелкосерийного производства. Полученные результаты могут быть использованы при создании систем автоматизированного проектирования технологических процессов и способствуют повышению конкурентоспособности предприятий машиностроительной отрасли.

Библиографический список

1. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов: учебн. пособие / А.В. Петухов, Д.В. Мельников, В.М. Быстренков; Министерством образования Респ. Беларусь, Гомель гос.техн. ун-т им П.О Сухого, 2011. – 144 с.
2. Юдин Д.В., Феофанов А.Н. Формализация припуска, удаляемого при обработке резанием, для решения задачи автоматизации разработки технологического процесса // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №3 (25).
3. Юдин Д.В., Феофанов А.Н. Классификация припуска для создания автоматизированной системы подбора режущего инструмента // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 1 (72). – С. –.

Юдин Денис Владимирович – аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», udindv@mail.ru

Yudin Denis Vladimirovich – postgraduate student at the sub-department of «Automatic Information Processing and Control Systems», MSUT «STANKIN», udindv@mail.ru

Феофанов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной графики, ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», feofanov.fan1@yandex.ru

Feofanov Alexander Nikolaevich – D.Sc. of Engineering, professor at the sub-department of «Engineering Graphics», MSUT «STANKIN», feofanov.fan1@yandex.ru

Для заметок