



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

МАТЕРИАЛЫ

заключительного этапа студенческой
научно-практической конференции

Автоматизация и информационные технологии
(АИТ-2026)

март – апрель 2026 года

МОСКВА
2026

УДК 002:621

Материалы заключительного этапа студенческой научно-практической конференции «Автоматизация и информационные технологии (АИТ-2026)». Сборник докладов. – М.: ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2026. – 67 с.

В сборник докладов включены материалы заключительного этапа студенческой научно-практической конференции «Автоматизация и информационные технологии (АИТ-2026)». Конференция проводится с целью расширения спектра научных исследований, повышения профессионального уровня подготовки, развития научно-исследовательской работы студентов.

ОРГКОМИТЕТ

Председатель оргкомитета:

Падалкин Б.В. – ректор

Зам. председателя оргкомитета:

Капитанов А.В. – д.т.н., проректор по НР;

Шехтман С.Р. – д.т.н., проректор по УР.

Члены оргкомитета:

Захаров О.В. – д.т.н., директор ИЦИС;

Коришунова Е.Д. – д.э.н., директор ИСТМ;

Сосенушкин С.Е. – к.т.н., директор ИИТ;

Стебулянин М.М. – д.т.н., директор ИПТИ;

Тюрбеева Т.Б. – к.т.н., начальник НИЧ;

Сотова Е.С. – к.т.н., ответственный секретарь конференции, начальник ООИД.

ЖЮРИ

Председатель жюри:

Капитанов А.В. – д.т.н., проректор по НР

Члены жюри:

Андреев В.Н. – д.э.н., профессор кафедры ФМ

Домнин П.В. – д.т.н., профессор кафедры ИТиТФ

Должикова Е.Ю. – зам. начальника НИЧ

Евстафьева С.В. – ст. преподаватель КСУ

Елизеева Н.В. – к.т.н., доцент кафедры УИТС

Ершов А.А. – преподаватель кафедры ИТиТФ

Козлова А.В. – к.т.н., доцент кафедры АСОиУ

Новоселова О.В. – к.т.н., доцент ИТиВС

Пивкин П.М. – к.т.н., доцент ИТиТФ

Пимушкин Я.И. – к.т.н., доцент ИИСиТ

Пушков Р.Л. – к.т.н., доцент кафедры КСУ

Сотова Е.С. – к.т.н., доцент кафедры ВТО

Тюрбеева Т.Б. – к.т.н., доцент кафедры ИТиВС

УДК 002:621

© ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Антамохина М.В.

Анализ цифровых инструментов адаптации вахтового персонала в горнодобывающей отрасли 5

Бойко А.

Разработка методики ввода в эксплуатацию технологических линий в бумажной промышленности 8

Бондарь С. Д.

Обоснование и выбор оптимальных транспортных решений в условиях санкционных ограничений 11

Быковский С. С.

Разработка комплекса мероприятий по снижению травматизма в складской и логистической деятельности 15

Гречишкина П. Д.

Контрфактуальное моделирование редких сценариев для повышения эффективности автономного вождения 19

Добышев П. К.

Повышение эффективности торцевого фрезерования за счет расчета рациональной траектории формообразования 22

Ильяшенко А. А.

Исследование методов очистки выбросов гальванического цеха от паро- и газообразных компонентов 26

Киани Сейед Карен

Реализация и внедрение электронного журнала успеваемости в условиях модульно-рейтинговой системы оценивания 30

Королев К. В.

интеллектуальный анализ данных в кибераналитике 34

Кречун А. В.

Разработка цифровой платформы для потоковой обработки данных 37

Крючкова В. А.

Совершенствование методики разработки технологических процессов сборки на основе применения параметрической модели 40

Молчанов Д. И.

Моделирование асимметричных отношений и метод спектрального вложения в социальных сетях 43

Мухамед Вали

Разработка информационно-измерительной системы роботизированной поворотной платформы 45

Ратчин Г. В.

Разработка http-клиента для тестирования api: архитектурный подход к реализации концепции “тестирование как код” 48

Сизов К. В.

Математическая модель мобильного робота с ультразвуковыми сенсорами для поиска пути в неизвестной среде и исследования артефактов датчиков 52

Страхов А. М.

Проектирование и аддитивное прототипирование многоступенчатого редуктора 55

Тараканов А. А.

Исследование и разработка подсистемы импорта данных чертежа для СЧПУ "АКСИОМА КОНТРОЛ" 58

Федотов Т. Г.

Реверс-инжиниринг и 3D-моделирование конического мультипликатора в среде T-FLEX PLM 60

Язев А. М.

Исследование конструкции конической концевой фрезы: моделирование, проектирование, контроль 63

АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ АДАПТАЦИИ ВАХТОВОГО ПЕРСОНАЛА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Антамохина М.В.

Научный руководитель: Водолажский Е.Ф., к.с.н., доцент.

Кафедра философии и социального управления МГТУ «СТАНКИН»

Горнодобывающая отрасль — один из ключевых элементов экономики, однако ее развитие сдерживается острым кадровым кризисом. Текучесть персонала в данной сфере остается на высоком уровне, особенно среди работников, занятых вахтовым методом. При этом процесс поиска и подбора сотрудников для удаленных объектов отличается повышенной сложностью, что обусловлено специфическими требованиями к кандидатам: необходимостью наличия профессиональных компетенций, физической выносливости и психологической готовности к работе в экстремальных условиях. В таких условиях внедрение цифровых инструментов становится необходимым и экономически обоснованным решением для повышения устойчивости кадрового состава.

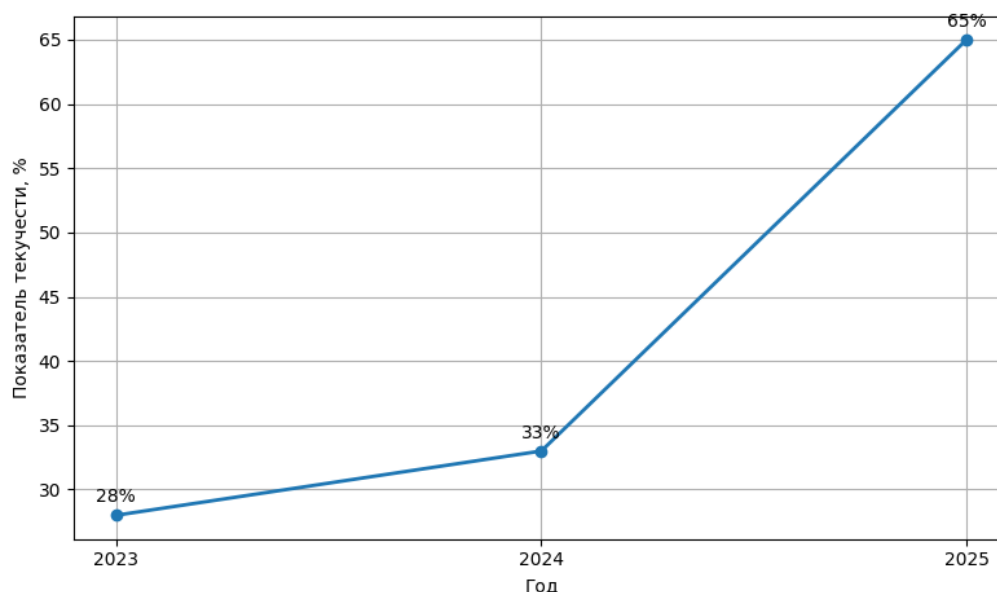


Рис. 1. Динамика текущести кадров горнодобывающей отрасли 2023-2025 гг.

В настоящее время понятие «адаптация» рассматривается более широко: любые изменения в жизни человека связаны с выходом из привычной зоны комфорта. В таких условиях человеку приходится перестраиваться, формировать новые привычки и осваивать новые правила, то есть проходить процесс адаптации. Все эти факторы напрямую влияют на профессиональную деятельность каждого сотрудника, его психологическое состояние и продуктивность.

Адаптация работников, занятых вахтовым методом, имеет выраженную специфику и связана не только с освоением профессиональных обязанностей, но и с приспособлением к новой социальной и природной среде. В отличие от офисного персонала, для которого адаптационный период составляет от двух до трех месяцев, для вахтовиков критическими являются первые 14–30 дней пребывания на объекте. На начальном этапе работы на отток кадров существенно влияют: разрыв между ожиданиями и реальными условиями труда, психологическая изоляция, а также

сложности с освоением технологических процессов и требований безопасности. Эти факторы нередко приводят к быстрому выгоранию и потере мотивации уже в первые недели работы. Рассмотрим основные причины, которые указывают сотрудники вахтового метода при увольнении:

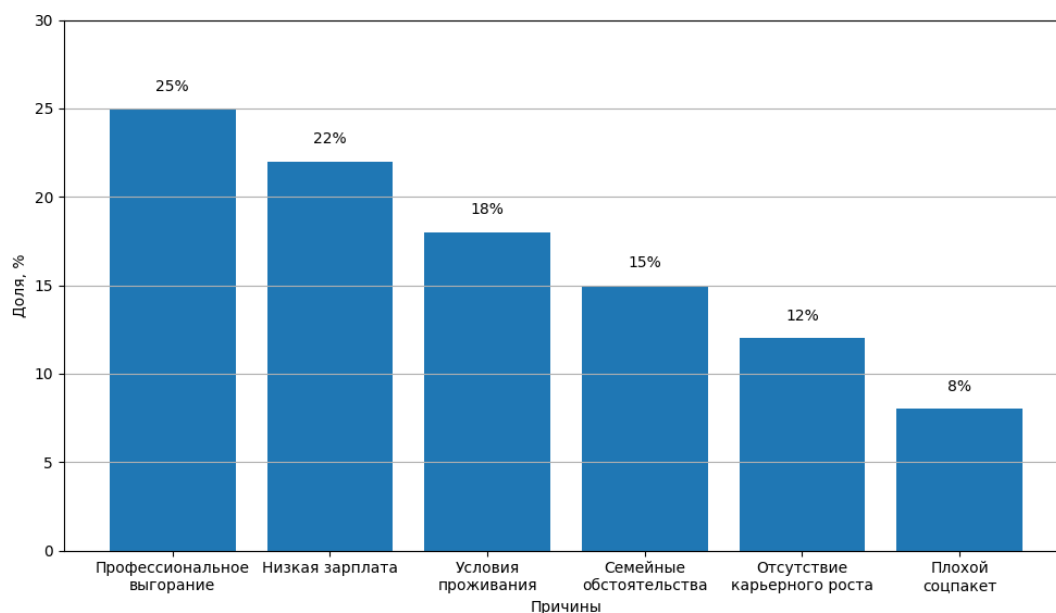


Рис. 2. Причины текучести кадров в горнодобывающей отрасли

Такие причины обосновывают необходимость внедрения цифровых инструментов адаптации как средства снижения раннего оттока персонала за счет повышения информированности, вовлеченности и поддержки сотрудников в первые периоды работы. Традиционные методы адаптации персонала не в полной мере учитывают специфику удаленной занятости, ограниченность коммуникаций и повышенные требования к скорости включения сотрудников в рабочую среду. Цифровые инструменты адаптации выступают эффективным средством оптимизации данного процесса, позволяя систематизировать работу с персоналом на различных этапах его вхождения в организацию. Рассмотрим ключевые этапы цифровой интеграции сотрудников и соответствующие им решения:

Этап	Инструмент	Описание
«До вылета»	Цифровой онбординг	Применение мобильных приложений для первичного дистанционного обучения
	VR-туры	Использование виртуальной реальности для знакомства с условиями рабочего места
«Первая вахта»	Чат-бот	Работа чат-бота для оперативного ответа на типовые вопросы новых сотрудников
	Геймификация	Внедрение элементов геймификации для быстрого интегрирования в коллектив
«Межвахта»	Платформа обратной связи	Организация сбора обратной связи от вернувшихся с вахты сотрудников для оперативного реагирования

Рис. 3. Цифровые инструменты адаптации новых сотрудников

Цифровая адаптация выполняет три ключевые функции: фильтрацию кандидатов, упрощение процесса в первые дни работы и предоставление HR-службе данных для улучшения условий труда. Проводя сравнительный анализ традиционных и цифровых методов адаптации персонала, можно выявить, что внедрение цифровых технологий обладает рядом существенных преимуществ. В первую очередь, цифровые инструменты позволяют обеспечить непрерывность адаптационного процесса, что особенно важно для работников, находящихся на удаленных объектах. Второе, но немало важное – они обеспечивают постоянный доступ сотрудников к необходимой информации, обучающим материалам и корпоративным ресурсам. Кроме того, использование цифровых методов способствует снижению зависимости от человеческого фактора, поскольку стандартизирует процессы адаптации и минимизирует влияние субъективных факторов, связанных с деятельностью наставников или руководителей. Это позволяет обеспечить единый уровень качества адаптационных мероприятий для всех сотрудников независимо от места их работы.

Внедрение цифровых решений также способствует устранению разрыва между высокой интенсивностью труда и недостаточной вовлеченностью вахтового персонала в корпоративную культуру. Это позволяет не только повысить эффективность адаптационного процесса, но и укрепить лояльность сотрудников, что имеет стратегическое значение для организации. При грамотном использовании современных инструментов адаптации персонала можно получить высокие результаты, избежав проблем, которые упомянуты ранее.

Библиографический список:

1. Субботина Т. Н., Петешов М. А. Инструменты адаптации персонала в условиях цифровой трансформации: обзор современных digital-решений // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2025. – №. 6 (124). – С. 217-223;
2. Корнеева Я. А., Симонова Н. Н. Особенности психологической адаптированности вахтового персонала в условиях Крайнего Севера // Национальный психологический журнал. – 2021. – №. 4 (44). – С. 63-74;
3. Деркач Ю. В., Соколова Ж. В. Цифровые решения для адаптации персонала: возможности и ограничения использования. – 2023.

Разработка методики ввода в эксплуатацию технологических линий в бумажной промышленности

Бойко А.

Научный руководитель: Пушков Р.Л. – к.т.н., доцент

Кафедра компьютерных систем управления МГТУ «СТАНКИН»

Разработанную методику предполагается использовать в ситуации, когда поставщик оборудования по различным причинам отказывается от выполнения своих обязанностей по вводу линии в эксплуатацию — в том числе при действии санкционных ограничений, прекращении деятельности производителя или расторжении договоров поставки. В результате предприятия получают линии без управляющего программного обеспечения и проекта интерфейса оператора, без технической документации (электрических схем, карт подключения, описания алгоритма работы), с незавершённым электромонтажом и частично собранной механической частью, при отсутствии технической поддержки со стороны производителя. Аналогичная ситуация может возникнуть также при закупке оборудования, бывшего в эксплуатации.

Целью данной работы является формализация процесса ввода в эксплуатацию технологических линий в бумажной промышленности в условиях некомплектности оборудования, отсутствия технической документации и программного обеспечения.

Объектом исследования выступает технологическая линия непрерывной намотки по производству туалетной бумаги и кухонных полотенец, установленная на фабрике «Спартак» (г. Шклов, Республика Беларусь). Линия включает секции размотки, ламинации, тиснения с револьверной системой смены валов, намотки, заклейки края и резки, объединённые промышленной сетью EtherCAT. В составе оборудования — ПЛК Lenze 3200c, сервоприводы Lenze i700 и Yaskawa SGD7S, инверторы Lenze i510 и Yaskawa A1000, HMI-панель Beijer X2.



Рис. 1. Трёхмерная модель технологической линии

Основным результатом работы является методика из десяти последовательных этапов. Первые три этапа — диагностические: анализ компонентов, диагностика технического состояния и диагностика систем управления. Четвёртый и пятый — ремонтные: механика и электрика. Шестой и седьмой — программные: загрузка ПО, настройка сети, разработка логики ПЛК и HMI. Восьмой и девятый — пусконаладочные: тестовый запуск на холостом ходу и испытания с материалом. Десятый — ввод в штатную эксплуатацию. Каждый этап имеет формализованные критерии завершённости, определённые входные данные — результаты предыдущих этапов, а также реализован принцип итеративности: при обнаружении несоответствий предусмотрен возврат к соответствующему этапу.

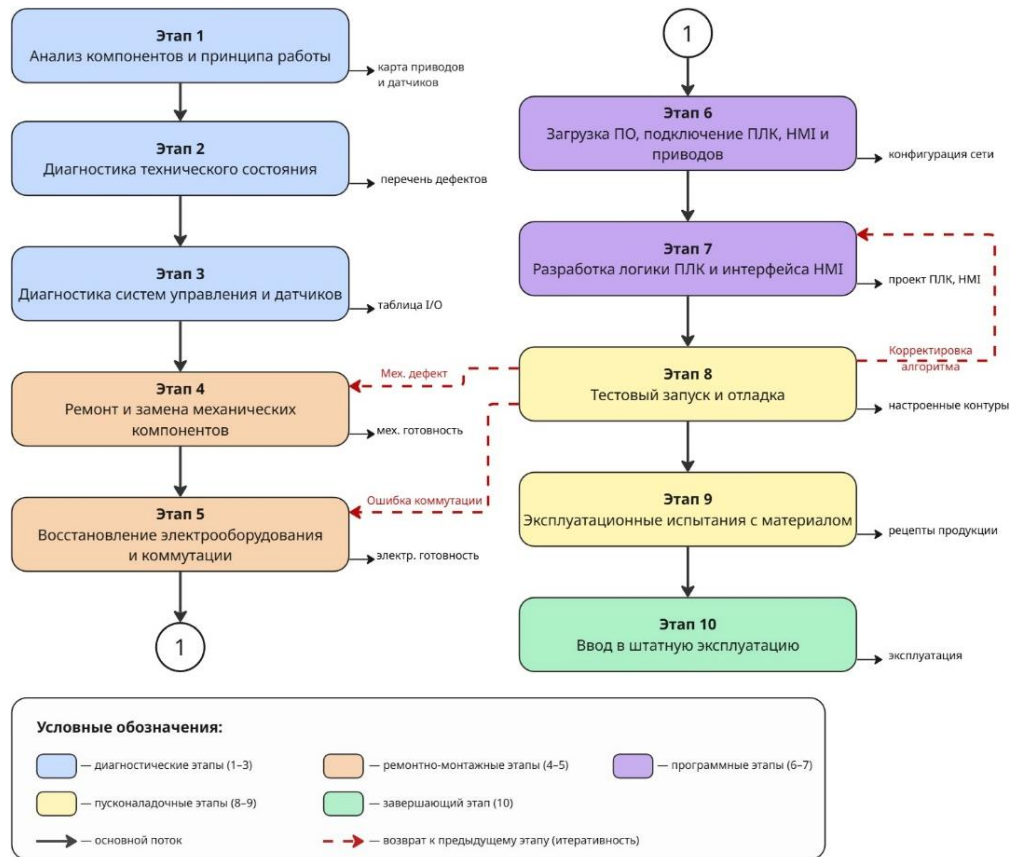


Рис. 2. Методика ввода в эксплуатацию технологических линий в бумажной промышленности в условиях некомплектности оборудования, отсутствия технической документации и программного обеспечения

Таблица 1.

Сводная характеристика этапов методики

№	Название этапа	Ключевой результат	Критерий перехода
1	Анализ компонентов и принципа работы	Карта приводов и датчиков, архитектура	Сформировано представление о составе
2	Диагностика технического состояния	Перечень дефектов	Дефекты задокументированы, план устранения
3	Диагностика систем управления и датчиков	Верифицированная таблица I/O	Установлено соответствие входов/выходов
4	Ремонт механических компонентов	Механическая работоспособность	Повторяемые перемещения механизмов
5	Восстановление электрооборудования	Электрическая готовность	Цепи проверены, нагрузки распределены
6	Загрузка ПО, подключение ПЛК, НМИ и приводов	Конфигурация сети, параметры	Все устройства в сети, приводы работают
7	Разработка логики ПЛК и интерфейса НМИ	Проект ПЛК и НМИ	Проекты загружены, обмен подтверждён
8	Тестовый запуск и отладка	Настроенные контуры, согласованная динамика	Алгоритмы корректны на холостом ходу
9	Эксплуатационные испытания с материалом	Параметры продукции, рецепты	Продукция соответствует требованиям
10	Ввод в штатную эксплуатацию	Документация, обученный персонал	Линия передана в эксплуатацию

Практическое применение методики. Методика применена на реальном объекте – линии непрерывной намотки фабрики «Спартак». На диагностических этапах 1–3 идентифицированы более десяти приводов и тридцати датчиков, с нуля сформирована таблица I/O ПЛК, выявлены механические дефекты (несоосность муфт, протечка ракельной камеры, перекос валов револьверной системы) и электрические проблемы (неправильное распределение нагрузки между блоками питания 24 В, приводившее к срабатываниям Safe Torque Off приводов, ошибки подключения EtherCAT-карт Yaskawa A1000). На этапах 4–5 устранён перекос в револьверной системе, выполнена центровка муфт, перераспределена нагрузка блоков питания.

На этапах 6–7 построена EtherCAT-сеть с интеграцией приводов Lenze и Yaskawa. Проект ПЛК был реализован по модульному принципу: каждая секция линии реализована как независимый программный модуль. Реализованы алгоритмы синхронизации скоростей в единых технологических единицах (м/мин), ПИД-регуляторы стабилизации натяжения по сигналам линейных энкодеров кареток, шаговый алгоритм цикла намотки, интерфейс оператора на HMI Beijer X2.

На этапах 8–9 настроены параметры разгона и торможения приводов Yaskawa в режиме Profile Velocity, подобраны коэффициенты ПИД-регуляторов натяжения, экспериментально определены параметры формирования первого витка, реализован алгоритм динамического отрыва лога, построена таблица кривой подъёма прижимного вала. В ходе эксплуатационных испытаний подтвердился принцип итеративности: выявленная необходимость замедления подматывающего вала потребовала возврата к этапу 7 с добавлением функционального модуля в проект ПЛК и повторной проверкой на холостом ходу.

По итогам применения методики линия введена в штатную эксплуатацию. Практическое применение подтвердило эффективность методики по четырём критериям: управляемость процесса, полнота охвата проблем, применимость в условиях отсутствия документации и воспроизводимость результатов. Полученный опыт вместе с разработанной методикой может быть использован для локализации новых аналогичных технологических линий в бумажной промышленности.

Библиографический список:

1. EtherCAT – The Ethernet Fieldbus. EtherCAT Technology Group, 2020. [электронный ресурс]: офиц. сайт // Официальная документация и спецификации. – Режим доступа: <https://www.ethercat.org/en/technology.html> (дата обращения 22.02.2025).
2. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / Под ред. проф. В. П. Дьяконова. — М.: СОЛОН-Пресс, 2004. — 256 с.
3. IEC 61158-1:2019. Industrial communication networks — Fieldbus specifications — Part 1: Overview and guidance for the IEC 61158 and IEC 61784 series. — Geneva: International Electrotechnical Commission, 2019. — 52 p.
4. IEC 61800-7-201:2015. Adjustable speed electrical power drive systems — Part 7-201: Generic interface and use of profiles for power drive systems — Profile type 1 specification. — Geneva: International Electrotechnical Commission, 2015.

ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ САНКЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Бондарь С.Д.

*Научный руководитель: Червенкова С.Г. – к.э.н., доцент
Кафедра финансового менеджмента МГТУ «СТАНКИН»*

Современная логистическая система Российской Федерации находится в процессе структурной трансформации, движимой не столько рыночными и экономическими, сколько политическими и социальными факторами. В условиях санкционных барьеров со стороны недружественных стран, товарной и партнерской переориентации с Запада на Восток и Юг, а также увеличения сроков и стоимости логистических услуг оперативный выбор наиболее подходящих транспортных решений становится конкурентным преимуществом и источником устойчивости предприятия [1].

В этих условиях одной из ключевых задач является формализованный, регламентированный выбор маршрута из имеющегося банка решений, учитывающий индивидуальные приоритеты грузополучателя по трем параметрам: скорость, стоимость, надежность. В связи с вышеизложенным в рамках данного исследования предлагается разработка методики многокритериальной оценки, позволяющей перевести качественные предпочтения в количественные показатели и провести обоснованный выбор оптимального варианта. Данная методика подходит для оценки однородных грузов, считая транспортную единицу неделимой на всем промежутке маршрута, также для упрощения не учитывается порядок перегрузки сборных грузов в транспортных узлах (терминалах, станциях, складах).

На первом этапе проводится формирование профилей маршрутов и нормирование параметров. Для каждого известного маршрута собираются исторические данные по показателям скорости (Т) и стоимости (С) для их последующей линейной нормализации:

$$T_{\text{норм}} = \frac{T_{\text{max}} - T}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}; C_{\text{норм}} = \frac{C_{\text{max}} - C}{C_{\text{max}} - C_{\text{min}}}, \text{ где}$$

$T_{\text{норм}}$ – нормализованная оценка скорости; T_{max} – максимальная продолжительность маршрута выборки; T – продолжительность маршрута (в днях); T_{min} – минимальная продолжительность маршрута выборки; $C_{\text{норм}}$ – нормализованная оценка стоимости;

C_{max} – максимальная стоимость маршрута выборки; C – стоимость маршрута (в ден.ед.); C_{min} – минимальная стоимость маршрута выборки

Такой подход обеспечивает простоту и прозрачность, что делает процесс легко воспроизводимым и интерпретируемым. Помимо этого, сохраняется нужный нам порядок: чем маршрут быстрее и/или дешевле, тем ниже T и/или C соответственно и выше значение $T_{\text{норм}}$ и $C_{\text{норм}}$.

Показатель надежности (R) является агрегированной оценкой риска и может включать в себя риск утраты (порчи) товара, риски задержки поставки, риски, связанные с курсом валют и прочие:

$$R = \prod_{i=1}^n (1 - R_i), \text{ где}$$

R - оценка риска маршрута; R_i – оценка конкретного риска (от 0 до 1)

Проведение этого этапа позволяет создать динамический банк логистических решений, параметры которых приведены к единой шкале (от 0 до 1) и пересчитываются

при добавлении новых и удалении текущих маршрутов. Такой список чувствителен и к изменениям значений параметров, которые могут быть уточнены и скорректированы на основе исторических данных. Это позволяет сохранить гибкость и точность без дополнительных материальных и временных вложений на поддержание системы.

Вторым этапом является определение профиля заявки. В дополнение к самой заявке грузоотправитель заполняет анкету приоритетов методом попарных сравнений, предложенным Т. Саати [2] – это инструмент для систематического сравнения и оценки альтернативных вариантов по их относительной значимости. Грузоотправитель проводит попарное сравнение трех заранее определенных параметров - скорости, стоимости и надежности. Такой подход к сравнению значительно проще прямого назначения весов, поскольку в каждый момент времени необходимо оценить всего два критерия, что позволяет сфокусироваться на их относительной важности. Для оценок используется специальная шкала:

- 1 – оба фактора одинаково важны,
- 2, 3 – один фактор умеренно важнее другого,
- 4, 5 – один фактор существенно важнее другого,
- 6, 7 – один фактор значительно важнее другого,
- 8, 9 – один фактор абсолютно важнее другого.

Для упрощения этой шкалы можно пропустить промежуточные значения, чтобы она приняла вид 1 – 5, однако точность оценки приоритетов будет снижена.

На основе оценок грузоотправителя строится матрица попарных сравнений A , общий вид которой выглядит так:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & atc & atr \\ 1/atc & 1 & acr \\ 1/atr & 1/acr & 1 \end{pmatrix}, \text{ где}$$

atc – насколько скорость важнее стоимости; atr – насколько скорость важнее надежности; acr – насколько стоимость важнее стоимости

Далее следует расчет промежуточных весов (g_i) методом геометрического среднего: для каждой строки рассчитывается произведение всех ее элементов (в нашем случае 3), после чего извлекается корень третьей степени. После этого промежуточные веса нормализуются, т.е. значение каждого промежуточного веса делится на сумму всех весов. Этим достигается точная оценка приоритетов грузоотправителя, выраженная в весах заявки – W_T (важность скорости доставки), W_C (важность стоимости) и W_R (важность надежности). Формулы расчета выглядят следующим образом:

$$g_i = \sqrt[3]{\prod a_{ij}}, \text{ где}$$

g_i – промежуточный вес i -того критерия; $\prod a_{ij}$ – произведение всех элементов i -той строки

$$w_i = \frac{g_i}{\sum_{k=1}^n g_k}, \text{ где}$$

w_i – вес i -того критерия; g_i – промежуточный вес i -того критерия

В рамках третьего этапа проводится расчет интегральной оценки S для каждого географически подходящего маршрута и выбор оптимального транспортного решения на основе этой оценки. Расчет производится по формуле линейной свертки:

$$S = W_T \cdot T_{\text{норм}} + W_C \cdot C_{\text{норм}} + W_R \cdot R, \text{ где}$$

S – интегральная оценка; W_T, W_C, W_R – веса скорости, стоимости и надежности;

$T_{\text{норм}}, C_{\text{норм}}$ – нормализованные параметры скорости и стоимости маршрута;

R – показатель надежности маршрута

Полученная оценка S лежит в интервале $[0,1]$, соответственно, чем выше S , тем лучше маршрут соответствует приоритетам заказчика. Маршруты ранжируются по убыванию S для выбора лучших, наиболее оптимальных транспортных решений.

Таким образом, предложенная методика позволяет не только подобрать несколько наиболее подходящих транспортных решений из имеющегося банка, но и даёт инструменты для оценки и генерации мультимодальных цепочек. При недостаточной величине интегральной оценки S (например, ниже установленного порога) рекомендуется начать разработку составного маршрута, например, путем построения транспортного графа: его узлы являются географическими точками, а рёбра - имеющимися сегментами перевозок с параметрами T, C и R . Агрегирование времени и стоимости такого маршрута происходит аддитивно, а показателя надёжности - мультипликативно, что позволяет оценить его интегральную эффективность.

Таблица 1

Для количественного определения границы S_{min} предлагается использование интервалов функции желательности Харрингтона, адаптированных под нашу задачу:

Оценка принятия маршрута	Интервалы значений, S
Маршрут отлично подходит, принимается в первую очередь	1,00 – 0,80
Маршрут хорошо подходит, принимается во вторую очередь	0,80 – 0,63
Маршрут приемлемый, принимается при отсутствии альтернатив	0,63 – 0,37
Маршрут не подходит, отклоняется. Необходимо рассмотреть альтернативы или составные варианты	0,37 – 0,20
Маршрут абсолютно не подходит, отклоняется. Необходимо рассмотреть составные маршруты или отклонить заявку	0,20 – 0,00

Такой подход позволит отделить худшие маршруты и инициировать поиск новых решений, в том числе составных, при оценке S в интервале от 0,20 до 0,37 или полностью отказаться от поставки в связи с экономической нецелесообразностью, высокой рискованностью и т.д. при нахождении S в интервале от 0,00 до 0,20. Если после генерации составных маршрутов оценка S остаётся ниже установленного порога, заявка признаётся нецелесообразной для реализации в текущих рыночных условиях и отклоняется. Это позволит оперативно и превентивно принимать решения о заключении или отклонении сделок и их целесообразности, что станет преимуществом в быстро меняющихся условиях современного рынка транспортной логистики.

Обобщая все вышеописанное, можно сделать вывод о том, что данная методика переводит качественную оценку, зависящую от предпочтений и квалификации специалиста, в точную количественную, повышая обоснованность выбора маршрута в условиях санкционной неопределённости. Реализация подобной модели возможна в виде ПО или модульной интеграции в современные информационные экосистемы предприятия: ERP, TMS, базы данных. После настройки такого модуля принятие решений, их последующая оценка и доработка станут быстрее, объективнее и прозрачнее, что положительно отразится на эффективности компании, а доступность исторических данных по фактическим затратам ресурсов повысит точность модели в будущем.

Библиографический список:

1. Каценко, В. В. Ключевые барьеры, проблемы и ограничения в международных логистических коммуникациях для российских компаний в условиях санкций / В. В. Каценко // Экономика, предпринимательство и право. – 2026. – Т. 16, № 3. – С. 1645-1660. – DOI 10.18334/err.16.3.124723. – EDN NQBUDC.
2. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати ; пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. – М. : Радио и связь, 1993. – 320 с. – ISBN 5-256-00443-3

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ТРАВМАТИЗМА В СКЛАДСКОЙ И ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Быковский С.С.

Научный руководитель: Дроздова Н.В. - к.т.н., доцент

Кафедра инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности МГТУ «СТАНКИН»

Актуальность исследования обусловлена сохраняющимся высоким уровнем производственного травматизма в складской и логистической деятельности. По данным мониторинга условий и охраны труда, в 2024 году ухудшились основные показатели травматизма: выросли коэффициент частоты несчастных случаев и общее число зарегистрированных происшествий, увеличилось количество тяжелых несчастных случаев. Наиболее распространенными видами происшествий остаются падения с высоты, воздействие движущихся и вращающихся предметов, а также транспортные инциденты, при этом основной причиной тяжелых несчастных случаев продолжает оставаться неудовлетворительная организация производства работ, что свидетельствует о том, что складская и логистическая деятельность относится к числу отраслей с повышенным уровнем профессиональных рисков, что обуславливает необходимость комплексного нормативно-правового регулирования охраны труда. При этом в 2025–2026 годах негативная динамика сохраняется: наблюдается дальнейший рост как общего травматизма, так и числа тяжелых случаев, что свидетельствует об усугублении проблемы.

Производственный травматизм в складской и логистической деятельности представляет собой совокупность травм и повреждений, возникающих в процессе выполнения логистических операций. Одной из ключевых особенностей травматизма в складской логистике является его многофакторный характер: несчастные случаи, как правило, не связаны с одним изолированным фактором, а возникают в результате сочетания физических и эргономических нагрузок, механизированных и технических факторов, организационных нарушений, неблагоприятных условий рабочей среды и человеческого фактора.

Для исследования профессиональных рисков в складской и логистической деятельности использована экспертно-аналитическая методика, сочетающая качественную идентификацию опасностей и их количественную оценку. Такой подход обусловлен многофакторным характером травматизма и позволяет перейти от описания опасностей к их ранжированию по значимости. Оценка проводится по трём параметрам: вероятность возникновения опасной ситуации (P_i), тяжесть последствий (S_i) и весовой вклад фактора (w_i). При этом складская и логистическая деятельность относится к числу отраслей с повышенным уровнем профессиональных рисков, что подтверждается статистикой травматизма и обуславливает необходимость комплексного подхода к охране труда.

На основе выделенных факторов риска предложена интегральная модель оценки профессионального риска, в которой общий уровень опасности определяется как сумма взвешенных частных рисков. В модель включены пять групп факторов: физические и эргономические, механизированные и технические, организационные, условия рабочей среды и человеческий фактор. Такой подход позволяет учитывать не только наличие опасности, но и ее вклад в общий риск.

Исходные значения параметров выбраны по пятибалльной шкале с учетом частоты проявления факторов, характера возможных последствий и их статистической значимости. Наиболее высокий вес присвоен организационным и механизированным факторам, поскольку именно они в наибольшей степени связаны с тяжелыми несчастными случаями; физические, средовые и человеческие факторы имеют меньший, но устойчивый вклад в общий уровень опасности.

Таблица 1

Группа факторов

Группа факторов	P_i	S_i	$R_i = P_i \times S$	w_i	$Q_i = w_i \times R_i$
Физические и эргономические	5	3	15	0,18	2,70
Механизированные и технические	4	5	20	0,24	4,80
Организационные	5	4	20	0,28	5,60
Условия рабочего пространства и производственной среды	3	3	9	0,12	1,08
Человеческий фактор	4	4	16	0,18	2,88

$$R_{\text{инт.}} = \Sigma Q_i = 2,70 + 4,80 + 5,60 + 1,08 + 2,88 = 17,06$$

Расчёт показал, что исходный интегральный риск составляет 17,06, а наибольший вклад в общий риск вносят организационные, механизированные и человеческие факторы, тогда как физические нагрузки и условия среды занимают промежуточное положение. Полученные результаты согласуются с ранее установленными особенностями травматизма. В частности, статистические данные показывают, что ведущую роль в формировании тяжелых несчастных случаев играет неудовлетворительная организация производства работ, а среди наиболее распространенных видов происшествий значимы падения с высоты, воздействие движущихся и вращающихся предметов, а также транспортные происшествия. Следовательно, высокий вес организационных факторов в модели является обоснованным и соответствует реальной структуре производственного травматизма. В то же время наибольший частный риск среди отдельных групп факторов наблюдается у организационных и механизированных факторов, что объясняется сочетанием высокой вероятности их проявления и значительной тяжести возможных последствий.

Переход от оценки риска к практическому решению требует выбора способов воздействия на выявленные факторы. Поскольку риски в складской логистике имеют многофакторный характер, устранение одного фактора не обеспечивает заметного снижения общей опасности. Анализ показал, что каждый из подходов влияет лишь на

отдельный элемент системы, поэтому их изолированное применение дает только частичный эффект.

Наиболее обоснованным является комплексный подход, обеспечивающий одновременное воздействие на основные звенья формирования риска и позволяющий снизить как вероятность возникновения опасных ситуаций, так и общий уровень травмоопасности. Комплекс мероприятий включает:

- Регламентацию последовательности и темпа выполнения складских операций;
- Перераспределение обязанностей с учетом сложности и опасности работ;
- Усиление контроля за соблюдением маршрутов движения персонала и техники;
- Разделение транспортных и пешеходных потоков;
- Нанесение и поддержание видимой разметки опасных зон;
- Установку ограничителей скорости и средств сигнализации на технику;
- Регулярный технический контроль и обслуживание оборудования;
- Внедрение чек-листов безопасности и кратких предметных инструктажей;
- Обучение работников безопасным методам выполнения операций;
- Разбор нарушений, микротравм и потенциально опасных ситуаций;
- Визуализацию требований безопасности и напоминаний в рабочей зоне;

Для оценки эффекта от внедрения комплекса мероприятий выполнен пересчет исходных параметров модели. Предполагается, что организационные меры, разделение потоков, техническая защита, обучение и контроль снижают вероятность реализации каждого фактора риска на различную величину, в зависимости от того, на какое звено системы они воздействуют.

Таблица 1

Показатели факторов после комплексного подхода

Группа факторов	P_i до	P_i после	S_i	R_i после = $P_i \times S$	w_i	Q_i после = $w_i \times R_i$
Физические и эргономические	5	4	3	12	0,18	2,16
Механизированные и технические	4	3	5	15	0,24	3,60
Организационные	5	3	4	12	0,28	3,36
Условия рабочего пространства и производственной среды	3	2	3	6	0,12	0,72
Человеческий фактор	4	3	4	12	0,18	2,16

$$\text{Ринт. (после)} = \Sigma Q_i = 2,16 + 3,60 + 3,36 + 0,72 + 2,16 = 12,00$$

Сравнительный анализ исходного и улучшенного состояния показал, что после внедрения комплекса мероприятий интегральный риск снизился с 17,06 до 12,00, то есть на 29,7 %. Полученный результат подтверждает, что предложенное решение обеспечивает не только снижение частных рисков, но и заметное уменьшение общего уровня травмоопасности. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения разработанной модели и комплекса мероприятий для обоснования приоритетов по охране труда на складах и в логистических структурах.

Библиографический список:

1. Новые подходы к оценке профессиональных рисков – Текст электронный // cyberleninka.ru: [сайт]. - URL <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-podhody-k-otsenke-professionalnyh-riskov>
2. Управление рисками в логистической деятельности торговой компании – Текст электронный // cyberleninka.ru: [сайт]. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-riskami-v-logisticheskoy-deyatelnosti-torgovoy-kompanii>

КОНТРАКТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕДКИХ СЦЕНАРИЕВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНОГО ВОЖДЕНИЯ

Гречишкина П.Д.

Научный руководитель: Козлова А.В., к.т.н., доцент

Кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления, МГТУ «СТАНКИН»

Развитие автономного транспорта является одним из перспективных направлений цифровизации транспортной отрасли. Современные системы автономного вождения используют алгоритмы восприятия, прогнозирования и планирования движения, которые обучаются и проверяются на больших массивах данных реальных поездок. Однако основная часть таких данных описывает типовые дорожные ситуации: движение в потоке, остановки на светофорах, стандартные перестроения и повороты. При этом безопасность беспилотного автомобиля во многом определяется не обычными, а редкими и потенциально опасными эпизодами: поздними торможениями, конфликтными перестроениями, внезапным появлением препятствий и сложным взаимодействием нескольких участников движения [1].

Недостаточная представленность таких событий образует проблему «длинного хвоста» сценариев. Редкие случаи встречаются в реальных логах нечасто, но именно они наиболее важны для проверки устойчивости алгоритмов автономного управления. Простое накопление большого пробега не всегда является эффективным решением, так как требует значительных временных и финансовых затрат. Кроме того, реальные дорожные ситуации трудно многократно воспроизводить в одинаковых условиях. Поэтому возникает необходимость в методологии, которая позволяет целенаправленно формировать редкие сценарии, сохраняя связь с реальными дорожными условиями.

В работе рассматривается подход, основанный на контрфактуальном моделировании редких сценариев на базе реплея реальных проездов. Под контрфактуальным моделированием понимается построение альтернативного варианта развития уже наблюдавшейся дорожной ситуации. Исходная сцена остается реальной, но в ней изменяются отдельные параметры поведения участников движения: скорость, дистанция, момент начала маневра или положение автомобиля в зоне потенциального конфликта. Такой подход позволяет исследовать, что могло бы произойти при ином поведении акторов, если сама дорожная обстановка остается прежней.

Важным условием предлагаемой методологии является сохранение неизменной статической геометрии сцены. Дорожная инфраструктура, разметка, здания, границы проезжей части и другие неподвижные элементы не изменяются. Изменения допускаются только в поведении динамических объектов, то есть автомобильных акторов. Благодаря этому новые сценарии не превращаются в полностью искусственные ситуации, а остаются связанными с реальным дорожным контекстом. Это особенно важно для последующего тестирования алгоритмов, так как автономная система должна проверяться в условиях, близких к реальным.

Для восстановления статического слоя сцены может применяться метод 3D Gaussian Splatting. Он позволяет формировать фотореалистичную реконструкцию окружения и получать дополнительные ракурсы вблизи исходной траектории движения. В рамках рассматриваемой задачи данный метод полезен тем, что обеспечивает воспроизводимость сцены и возможность многократного запуска различных вариантов одного и того же дорожного эпизода. При этом сохраняется визуальная и пространственная согласованность окружающей среды, необходимая для корректной оценки работы систем восприятия и планирования [2].

Дополнительным элементом методологии выступает сценограф. Под сценографом понимается структурированное описание дорожной сцены, включающее объекты, их атрибуты, взаимное расположение, зоны видимости, ограничения, приоритеты движения и потенциальные зоны конфликта. Сценограф позволяет задавать логически допустимые варианты развития ситуации, а не изменять параметры случайным образом. Например, контрфактуальная развилка не должна нарушать геометрию дороги, базовые правила дорожного движения и физические ограничения движения автомобиля [3].

Алгоритм формирования редкого сценария можно представить как последовательность этапов. Сначала выполняется ввод исходной сцены и выделение объектов и территорий. Затем определяется тип дорожной ситуации и выбирается класс редкого события. После этого рассчитываются показатели критичности, например ТТС (Time To Collision) и D_{min} . ТТС показывает время до возможного столкновения при сохранении текущих скоростей и траекторий, а D_{min} отражает минимальную дистанцию между объектами. Чем меньше эти значения, тем выше потенциальная опасность сценария.

На основе рассчитанных показателей формируется изменение сцены. Если ограничения правил дорожного движения и кинематические ограничения выполняются, сценарий сохраняется в библиотеку редких случаев. Если ограничения нарушаются, параметры корректируются, и проверка выполняется повторно. Такой порядок позволяет отбирать действительно критические, а не формально измененные ситуации. В результате формируется библиотека сценариев, пригодная для стресс-тестирования алгоритмов автономного управления.

Эффективность предложенного подхода целесообразно оценивать по схеме А/В-сравнения. В ветви А используется базовый реплей исходной сцены без вмешательств. В ветви В рассматривается та же сцена, но с добавленными контрфактуальными развилками. Такое сравнение позволяет определить, дает ли расширение сценариев реальный прирост полезной сложности. Для контроля корректности измерительного контура может применяться А/А-тестирование, при котором сравниваются две одинаковые ветви.

Система оценки должна учитывать не только визуальную правдоподобность моделирования, но и практическую полезность сценариев для проверки автономного транспорта. Поэтому используются сенсорные, траекторные, семантические и риск-ориентированные метрики. Сенсорные метрики характеризуют качество реконструкции сцены, траекторные — согласованность движения акторов, семантические — корректность описания объектов и событий. Отдельное значение имеют метрики «длинного хвоста», показывающие покрытие редких сценариев, частоту их появления и риск в наиболее опасных случаях [4].

По результатам сравнительного тестирования можно оценивать, насколько ветвь с контрфактуальными развилками улучшает проверку алгоритмов. Рост разнообразия сценариев показывает, что тестовый набор становится менее однотипным. Увеличение покрытия редких случаев означает, что в библиотеку попадает больше критически важных эпизодов. При этом отсутствие статистически значимого ухудшения показателей визуального и геометрического качества означает, что реалистичность сцены сохраняется. Следовательно, предложенный подход усиливает «длинный хвост» сценариев без существенной потери достоверности моделирования.

Практическая значимость работы заключается в возможности использовать контрфактуальное моделирование для подготовки библиотек стресс-сценариев. Такие библиотеки могут применяться при разработке симуляторов автономного вождения, при

сравнении разных версий алгоритмов планирования, а также при дообучении систем на редких и опасных эпизодах. В отличие от полностью искусственной генерации, предложенный подход опирается на реальные проезды, поэтому полученные сценарии остаются ближе к дорожной практике и позволяют сделать процедуру оценки более воспроизводимой.

Таким образом, контрфактуальное моделирование редких дорожных сценариев является перспективным инструментом повышения эффективности автономного вождения. Предлагаемая методология объединяет реплей реальных проездов, реконструкцию статической сцены, сценограф и А/В-сравнение. Такой подход позволяет целенаправленно расширять «длинный хвост» дорожных ситуаций, выявлять более сложные случаи для проверки и сохранять реалистичность исходной среды.

Библиографический список:

1. Смирнов Ю. А., Детистов В. А. Создание систем автономного вождения транспортных средств: учебное пособие для вузов. СПб.: Лань, 2026.
2. Зеленков Ю. А. Контрфактуальные объяснения на основе генерации синтетических данных // Искусственный интеллект и принятие решений. 2024.
3. Фомин И. Н. Модель процесса формирования каталога сценариев для анализа и оценки функциональной безопасности автоматизированных систем // Надежность. 2024.
4. Мишкина А. А. Процесс выявления и обработки критических сценариев дорожных ситуаций в формате OpenX // Автоматика на транспорте. 2025.
5. О направлении стратегического развития в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации: распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.07.2023 № 2115-р.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СПИРАЛЕВИДНЫХ ТРАЕКТОРИЙ

Добышев П.К.

Научный руководитель: Домнин П.В. – д.э.н., профессор

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

В работе предложен метод определения площади срезаемого слоя при торцевом фрезеровании по криволинейным (спиралевидным) траекториям. Метод основан на моделировании движения зубьев инструмента с учётом вращательного и поступательного движения.

Повышение эффективности обработки торцевыми фрезами за счет рациональных стратегий движения инструмента является актуальной задачей [1, 4]. Эффективность обработки в значительной степени определяется величиной и характером силовых нагрузок, прогнозирование которых невозможно без точного определения величин площади срезаемого слоя.

Известные методы расчета величины площади срезаемого слоя рассматривают расчет площади при прямолинейной траектории движения торцевой фрезы [2].

При прямолинейном движении торцевой фрезы величина срезаемого слоя остается постоянной во время обработки. Это приводит к возникновению периодической нагрузки, что вызывает гармонические колебания и провоцирует вибрации, снижает качество обработанной поверхности и ускоряет износ инструмента [10].

В отличие от прямолинейной траектории, при использовании эвольвентной траектории кинематика процесса резания иная. В ходе движения по эвольвентной траектории величина площади срезаемого слоя постоянно изменяется. В результате периодичность силового воздействия нарушается, а его гармоническая составляющая ослабляется. Непостоянство нагрузки предотвращает возникновение гармонических колебаний. Для оценки эффективности необходимо определить величины площадей срезаемых слоев. Ниже приведена блок-схема (рис. 1) расчета величин площадей срезаемых слоев [2].

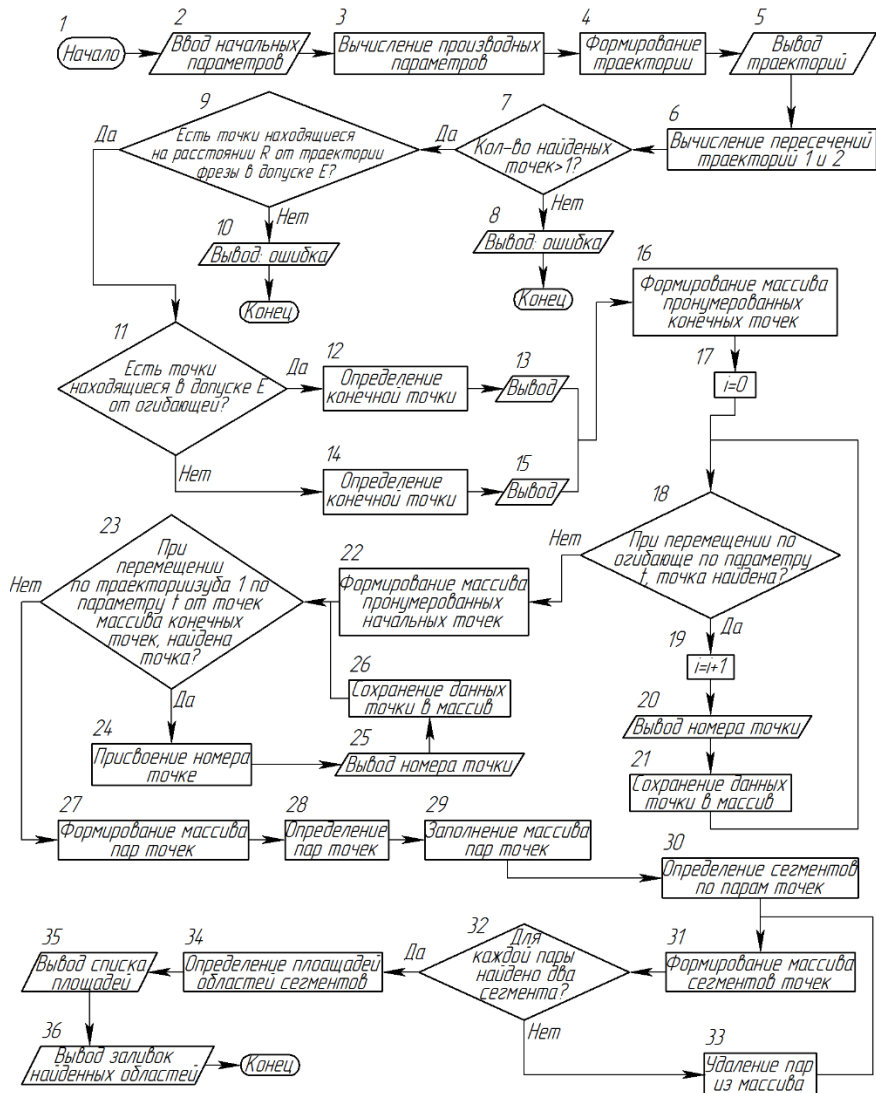


Рис. 1. Укрупненная блок-схема алгоритма численного метода определения площадей срезаемого слоя при фрезеровании торцевыми фрезами по спиральным траекториям

В блоке 2 вводятся параметры: диаметр фрезы, подача на зуб, ширина фрезерования, число зубьев, частота вращения, радиус основной окружности эвольвенты. В блоке 3 вычисляются производные параметры: угловая скорость, линейная подача, угловой шаг зубьев, число одновременно работающих зубьев. В блоке 4 формируются траектории, в блоке 5 выполняется их вывод. Движение каждого зуба моделируется как циклоидальная траектория, образованная наложением вращательного и поступательного движения по эвольвенте центра инструмента; анализируются траектории двух последовательных зубьев. В блоках 6–15 выявляются пересечения траекторий, точки сортируются на начальные и конечные, результаты сохраняются для последующих блоков.

1. Определение начальных и конечных точек резания.

В паре соседних циклоидальных траекторий зубьев определяются две характерные точки:

- а) **Начальная точка резания**– это точка, в которой зубья входят в контакт с обрабатываемым материалом.
- б) **Конечная точка резания** – это точка выхода зубьев из зоны резания. Она определяется пересечением циклоидальных траекторий зубьев. В блоках

16-36 определяются порядковые номера точек резания и формируются пары.

2. Установление порядковых отношений между начальными и конечными точками. Точное определение начальных точек.

Так как в предыдущем шаге алгоритма были определены предполагаемые начальные точки, требуется точно определить их, задав следующее условие.

Каждая циклоидальная траектория задана параметрически. Для каждой конечной точки резания на той же траектории определяется ближайшая начальная точка с меньшим параметром времени. Начальные точки без пары удаляются. В блоках 34–36 формируются области резания, выводятся площади и заливки.

3. Построение области резания.

Область резания формируется как пространство, ограниченное двумя криволинейными участками циклоидальных траекторий двух последовательных зубьев фрезы (рис. 2).

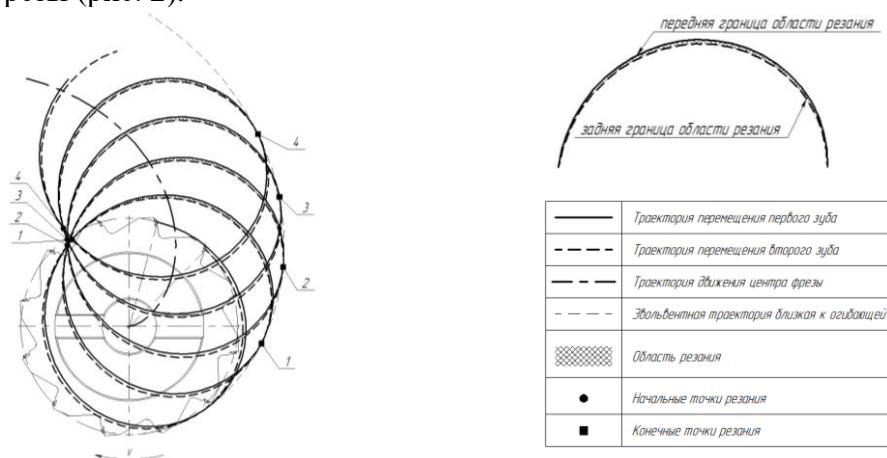


Рис. 2. Схемы определения областей резания

4. Вычисление площади.

Площадь рассчитывается численно как площадь многоугольника, образованного криволинейными отрезками, передней и задней границами. Используется аппроксимация криволинейного интеграла суммой по отрезкам (теорема Грина)

Результаты расчета с использованием предложенного метода

В соответствии со справочными данными из справочника под редакцией В.И. Гузеева [8], для реализации расчета необходимо задать исходные данные:

- Обрабатываемый материал - сталь конструкционная и легированная
- Стадия обработки - получистовая
- Ширина фрезерования - 80 мм
- Диаметр фрезы - 80 мм
- Число зубьев Фрезы - 8
- Подача на зуб - 0,21 мм/зуб
- Частота вращения шпинделя - 939 мин⁻¹
- Радиус основной окружности эвольвенты - 60 мм

Получен график зависимости площади срезаемого слоя от номера сегмента (рис. 3). За 43 сегмента площадь возрастает на 0,177 мм².

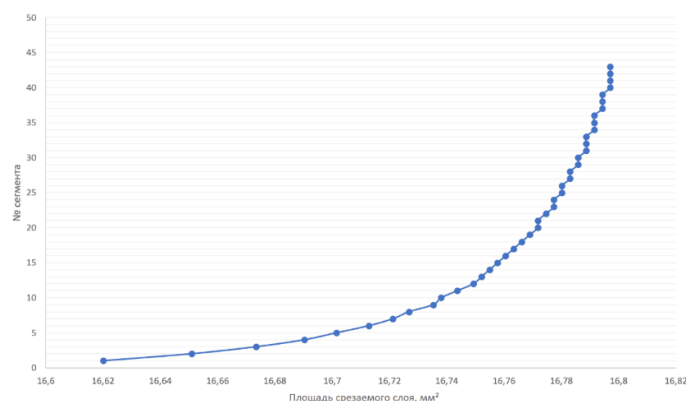


Рис. 3. График зависимости величины площади срезаемого слоя от номера сегмента

Заключение

Представленный численный метод применим к широкому спектру плоских спиральных траекторий (архимедова, логарифмическая и др.). Для адаптации достаточно задать описание траектории центра инструмента и определить вид огибающей кривой. Поскольку вычисление площади основано на дискретном интегрировании по замкнутому контуру (формула (9)), общая структура алгоритма остаётся неизменной.

Метод учитывает сложную кинематику движения инструмента по эвольвентной траектории и позволяет точно определять площади срезаемых слоёв. Показано, что применение эвольвентной траектории снижает регулярность силового воздействия, благодаря чему уменьшаются вибрации, повышается качество обработанной поверхности и увеличивается стойкость инструмента. Полученные результаты могут быть использованы при разработке рациональных стратегий фрезерования и оптимизации режимов резания [4, 9].

Библиографический список:

1. Юликов М.И., Горбунов Б.И., Колесов Н.В. Проектирование и производство режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1987. 297 с.
2. Петухов Ю.Е., Колесов Н.В. Численные модели режущего инструмента для обработки сложных поверхностей // Вестник машиностроения. 2003. № 5. С. 61–63.
3. Гречишников В.А. Системы автоматизированного проектирования режущих инструментов. М.: ВНИИТЭРМ, 1988. 50 с.
4. Ординарцев И.А., Филиппов Г.В., Шевченко А.Н. и др. Справочник инструментальщика. Л.: Машиностроение, 1987. 846 с.
5. Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущих инструментов. М.: Машгиз, 1963. 952 с.
6. Косилова А.Г., Мещерякова Р.К. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2. М.: Машиностроение, 1986. 496 с.
7. Гузеев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ. М.: Машиностроение, 2005. 368 с.
8. Панов А.А., Аникин В.В., Бойм Н.Г. Обработка металлов резанием: справочник технолога. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2004. 784 с.
9. Морозов В.В. Фрезерный инструмент. М., 2014.
10. Кряжев Д.Ю. Фрезерная обработка на станках с ЧПУ. М., 2005.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЦЕХА ОТ ПАРО- И ГАЗООБРАЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Ильяшенко А.А.

Научный руководитель: Гвоздкова С. И. – к.т.н., доцент

Кафедра инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности МГТУ «СТАНКИН»

Высокая токсичность выбросов гальваники (аэрозолей хрома и никеля) требует эффективности очистных систем. В работе предложена двухступенчатая схема очистки. Первая ступень — абсорбер с псевдоожиженной насадкой (АПН) — улавливание основной массы тумана. Вторая ступень — волокнистый гальванический фильтр (ФВГ), — тонкая очистка от мелкодисперсного аэрозоля. Комплексное применение АПН и ФВГ позволяет достичь суммарной эффективности очистки более 99,5%. (Рис. 1.)

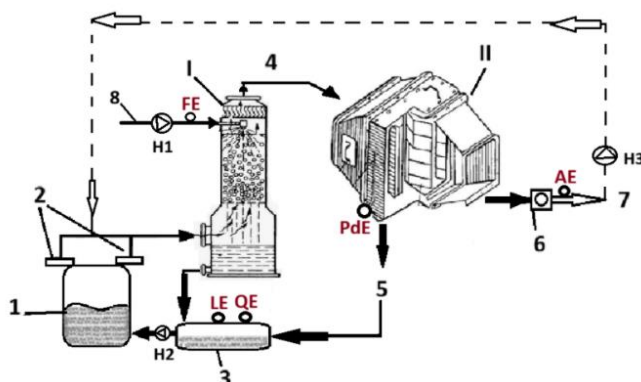


Рис. 1. Двухступенчатая система очистки воздушных гальванических выбросов:

I – ступень с АПН; II – ступень с ФВГ; 1 – источник выбросов; 2 – бортовые отсосы; 3 – рекуперация электролита; 4 – очищенный газ; 5 – шлам; 6 – центробежный вентилятор; 7 – очищенный газ; 8 – линия подачи реагента; Н1, Н2, Н3 – насосы; LE (Level Element) — датчик уровня жидкости; QE (Quality Element) — датчик концентрации; AE (Analysis Element) — газоанализатор; FE (Flow Element) — датчик расхода воды; PdE (Pressure differential Element) — датчик перепада давления

Также приведена сравнительная таблица ступеней комплексной очистки. (Табл.1.)

Таблица 1.

Сравнительные характеристики ступеней очистки

Показатель	I ступень (АПН)	II ступень (ФВГ)	Комплексная система
Эффективность по CrO_3	95–97%	до 90% (остаточных загрязнений)	99,5–99,8%
Тип загрязнения	Газы, туман	Мелкий аэрозоль	Все фракции
Рекуперация	Возможна	Нецелесообразна	Обеспечена

Внедрение комплексной системы очистки на базе АПН и ФВГ обеспечивает соответствие атмосферных выбросов действующим нормативам ПДК. Практическая значимость работы заключается в реализации замкнутого цикла по хромовому ангидриду.

Суть рекуперации в данной работе заключается в организации замкнутого ресурсного цикла: уловленные на ступенях очистки (АПН и ФВГ) пары и туманы электролитов не нейтрализуются щелочью с образованием отходов, а поглощаются

водой или слабокислым раствором. Полученный технологический конденсат, идентичный по составу рабочего раствора, автоматически возвращается в гальванические ванны для компенсации естественных потерь на испарение. Это позволяет одновременно достичь двух целей: минимизировать экологический ущерб и вернуть ценное и дорогостоящее сырье (хром и никель) обратно в производственный процесс, исключая образование вторичных токсичных шламов.

Работа управляющего устройства построена на принципе последовательного получения данных с датчиков. Специфический модуль, отвечающий за сравнение (компаратор), анализирует поступающий с контролируемого объекта набор текущих значений ($C_{\text{текущ.}}$), и сопоставляет его с установленными нормативными показателями ($C_{\text{уст.}}$), являющимися технологическими нормами. (Рис. 2.)

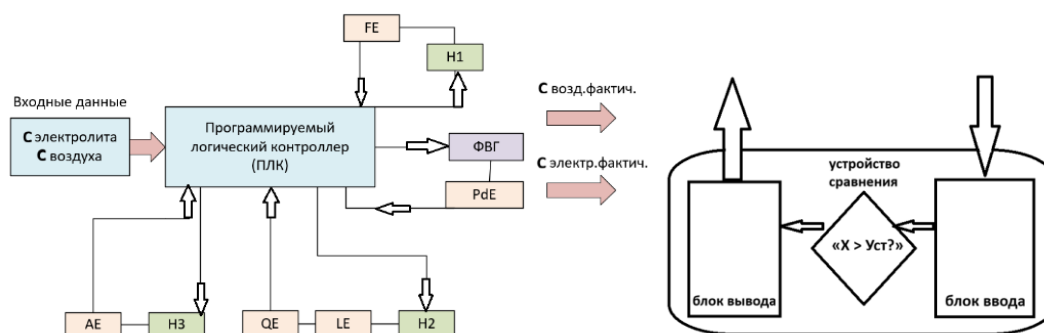


Рис. 2. Схема системы автоматического управления

При выполнении условия $C_{\text{текущ.}} \leq C_{\text{уст.}}$ (соответствие требованиям), система сохраняет текущий режим работы.

При возникновении рассогласования (несоответствие требованиям), ПЛК вычисляет управляющее воздействие и передает его на исполнительные механизмы для возвращения системы в зону допуска.

Была проведена оценка материала загрузки (шариков) для АПН по методу «обобщенной желательности». (Табл.2.)

Таблица 2.

Сравнительные характеристики материала загрузки

Материал	У1 (Хим. стойкость), балл	У2 (Плотность), кг/м ³	У3 (Срок службы), мес.	У4 (Цена), руб/кг	У5 (Адгезия), балл
Полипропилен (PP)	98	910	60	250	2
Полиэтилен (PE)	70	940	24	180	4
Керамика (CE)	99	2400	120	450	8
Требуемые (желательность 0,37)	70	2400	24	450	8
Наилучшие (желательность 0,63)	100	900	120	180	1

С помощью функции Харрингтона и сравниваемым параметрам был установлен наиболее подходящий материал насадки. (Рис. 3.)

Исходя из результатов расчета по критерию «Обобщенная желательность», наиболее предпочтительным материалом насадки является полипропилен, так как он имеет максимальное значение (0,580) по шкале Харрингтона. Керамика, несмотря на высокую долговечность, имеет низкую оценку из-за склонности к образованию твердых отложений на пористой поверхности и высокого удельного веса, препятствующего переходу в режим псевдооживления, а полиэтилен — из-за низкой химической стойкости к хромовому ангидриду.

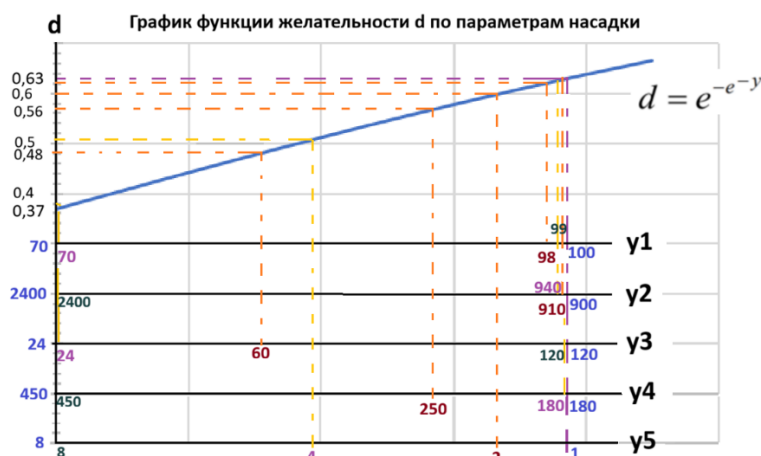


Рис. 3. Значения обобщенной желательности по заданным параметрам

Расчет обобщенной желательности проводится по формуле 1:

$$D = (\prod_{i=1}^n d_i)^{1/n} \quad (1)$$

$$D_{(PP)} = \sqrt[5]{0,623 \cdot 0,637 \cdot 0,477 \cdot 0,575 \cdot 0,604} = 0,580; \text{ («уд.»)}$$

$$D_{(PE)} = \sqrt[5]{0,368 \cdot 0,632 \cdot 0,368 \cdot 0,638 \cdot 0,531} = 0,492;$$

$$D_{(CE)} = \sqrt[5]{0,63 \cdot 0,368 \cdot 0,638 \cdot 0,368 \cdot 0,368} = 0,457;$$

Также был проведен расчет продолжительности эксплуатации ячеякового фильтра (τ) ч, который показал значения фильтроцикла, превышающие фильтроцикла технической замены, а значит, данная система должна эффективно очищать воздух от загрязнений.

Так как иглопробивное полипропиленовое волокно является многоразовым. Его полная замена производится только при механическом разрушении или необратимой засорении солями, которые не вымываются. В среднем срок службы составляет от 1 до 5 лет в зависимости от интенсивности работы ванн с учетом регулярной промывки. О необходимости замены и промывки фильтра сигнализирует датчик.

При хромировании из-за высокой вязкости хромового тумана и его склонности к кристаллизации, кассеты требуют более частой промывки (продолжительность фильтроцикла 15 дней).

При никелировании электролит менее агрессивен, поэтому промывка может проводиться реже (продолжительность фильтроцикла 30 дней), а срок службы материала может достигать максимальных 5 лет.

Библиографический список:

1. ГОСТ Р 51086-97. Датчики и преобразователи физических величин электронные. Термины и определения. — Введ. 1998-07-01. — М.: Госстандарт России, 1997. — 16 с.
2. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство. — М.: Глобус, 2002. — 352 с.
3. Ветошкин, А. Г. Аппаратурное оформление процессов защиты атмосферы от газовых выбросов: учебное пособие / А. Г. Ветошкин. — 2-е изд. — Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. — 248 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ И ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА УСПЕВАЕМОСТИ В УСЛОВИЯХ МОДУЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ

Киани С.К.

Научный руководитель: Новоселова О.В. – к.т.н., доцент

Зав. кафедрой информационных технологий и вычислительных систем, «МГТУ «СТАНКИН»

Цифровизация высшего образования требует инструментов, обеспечивающих фиксацию текущей успеваемости и результатов обучения, а также доступ пользователей к актуальной информации о ходе образовательного процесса.

Во многих высших учебных заведениях, включая Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», до сих пор сохраняется практика ведения бумажных журналов, в которые преподаватели вносят результаты текущего контроля освоения дисциплин студентами в течение семестра. В условиях модульно-рейтинговой системы формирование итоговых данных в системе «Единый деканат» на практике опирается на многоступенчатую процедуру переноса оценок: преподаватель фиксирует баллы в личных записях, затем переносит их в бумажный журнал кафедры; далее учебно-вспомогательный персонал переписывает данные в бумажный журнал «Единого деканата», после чего сотрудники деканата переносят информацию в ведомственную электронную систему. Такая схема увеличивает вероятность ошибок и задержек, усложняет контроль корректности данных и оперативное формирование отчетности. Попытки цифровизации на уровне первого звена, как правило, ограничивались использованием индивидуальных электронных таблиц отдельными преподавателями, что не решало задач унификации, совместной работы и управляемости данных на уровне кафедры и деканата.

В этих условиях актуальной является разработка электронного журнала успеваемости, ориентированного на модульно-рейтинговую систему и централизованный учет данных. Система должна обеспечивать разграничение ролей пользователей, сохранность данных и интеграцию с внешними сервисами.

Обзор существующих систем

На российском рынке представлены коммерческие решения для автоматизации учета успеваемости и работы деканатов, однако они в основном ориентированы на традиционную модель учета, зависят от специализированных платформ и не поддерживают модульно-рейтинговую систему, мобильный доступ и гибкую интеграцию с внешними сервисами.

Альтернативным подходом является использование облачных сервисов для ведения электронных журналов. Так, Чуйко О.И. и Белозерова С.И. рассматривают систему, в которой данные об успеваемости хранятся в онлайн-таблицах и группируются по дисциплинам и учебным группам. В такой системе учет пропусков и выполненных работ реализуется с помощью стандартных функций электронных таблиц. Однако подобный подход фактически воспроизводит бумажную форму журнала и не поддерживает модульно-рейтинговую систему обучения, централизованное управление версиями, резервное копирование и интеграцию с внешними сервисами.

Селиванова Л.С. и Бердюгин А.В. разработали мобильное приложение «Модульный журнал» для кафедры «Информационные технологии и вычислительные системы» МГТУ «СТАНКИН». Приложение обеспечивает просмотр посещаемости и

модулей успеваемости студентов, а также отправку уведомлений и доступ к данным с мобильных устройств на платформах Android и iOS. Тем не менее, разработка носит исследовательский характер и ориентирована на использование в пределах одной кафедры. Кроме того, система не предусматривает механизмов резервного копирования и мониторинга, зависит от используемой технологической платформы и не обладает универсальным API для интеграции с информационными системами деканата.

Требования к разрабатываемому приложению

Обзор существующих решений и особенностей организации учебного процесса в условиях модульно-рейтинговой системы позволил сформулировать основные требования к приложению электронного журнала успеваемости. Система должна обеспечивать поддержку модульной структуры оценивания дисциплин, ведение учета результатов текущего контроля и промежуточной аттестации студентов, а также хранение данных по семестрам и учебным годам.

Приложение должно предоставлять механизмы управления пользователями и разграничения прав доступа в соответствии с ролями участников образовательного процесса (администратор, преподаватель, староста группы). Важным требованием является обеспечение целостности и сохранности данных, включая хранение истории изменений, резервное копирование и восстановление информации.

Кроме того, система должна поддерживать экспорт и импорт данных для формирования отчетности и интеграции с внешними информационными системами образовательной организации. Интерфейс приложения должен быть адаптирован для работы на различных устройствах и обеспечивать удобный доступ к информации о результатах обучения и ходе образовательного процесса.

Архитектура и технологический стек

Разработанный электронный журнал реализован на основе клиент-серверной архитектуры. Клиентская часть взаимодействует с сервером приложений FastAPI через обратный прокси-сервер Nginx, а хранение данных осуществляется в PostgreSQL. На стороне клиента используется Service Worker, обеспечивающий кеширование, оффлайн-режим, push-уведомления и синхронизацию данных. Такая архитектура обеспечивает масштабируемость, асинхронную обработку запросов и интеграцию с внешними сервисами. Логика системы основана на взаимосвязанных сущностях базы данных, описывающих пользователей, учебные группы, студентов, дисциплины, журналы успеваемости, оценки, практики, обращения и уведомления. Такая структура обеспечивает хранение данных по семестрам, поддержку модульно-рейтинговой системы и ведение истории изменений.

Серверная часть реализована на Python-фреймворке FastAPI в асинхронном режиме, взаимодействие с базой данных осуществляется через ORM SQLAlchemy. Для аутентификации используются JWT-токены, передаваемые через HTTP-cookie или заголовок Authorization. Плановые задачи, включая резервное копирование и мониторинг системы, выполняются с использованием APScheduler. Клиентская часть реализована с использованием Jinja2 и JavaScript и обеспечивает работу с журналами, модульными картами, практиками и статистикой.

Безопасность системы обеспечивается хранением паролей в виде хешей, ролевым разграничением доступа, валидацией входных данных, защитой от SQL-инъекций и механизмами защиты пользовательских сессий.

Функциональные возможности системы

Система обеспечивает управление учебной информацией в условиях модульно-рейтинговой системы оценивания.

Обеспечивается ведение журналов по учебным годам и семестрам с управлением версиями и сохранением истории изменений. Поддерживается модульно-рейтинговая модель оценивания с учетом двух модулей, «заморозкой» оценок и возможностью массового обновления данных, а также учет практик с назначением студентов и руководителей.

Предусмотрены средства экспорта отчетов (PDF, Excel) и импорта данных, а также механизм временных публичных ссылок для доступа к журналам.

Поддерживаются Web Push-уведомления и внутренние сообщения. Для обеспечения надежности системы реализованы резервное копирование и мониторинг состояния сервера с уведомлением при превышении пороговых значений.

Для взаимодействия пользователей предусмотрена система обращений, а также реализовано ролевое разграничение доступа.

Перспективы и дальнейшее развитие

Разработанная система электронного журнала успеваемости обладает потенциалом дальнейшего развития. Одним из ключевых направлений является интеграция с системой «Единый деканат», используемой для централизованного учета результатов обучения. Такая интеграция позволит автоматически передавать итоговые оценки и статистические данные, сократив количество этапов ручного переноса информации и повысив согласованность данных между кафедрами и административными подразделениями.

Другим направлением является масштабирование системы на другие кафедры и институты университета. Архитектура приложения предусматривает адаптацию структуры дисциплин, групп и ролей пользователей, что позволяет использовать систему в различных образовательных подразделениях. В дальнейшем решение может быть адаптировано и для внедрения в других вузах, применяющих модульно-рейтинговую систему оценивания.

Таким образом, дальнейшее развитие системы связано с интеграцией в цифровую инфраструктуру вуза, расширением области применения, развитием мобильных и аналитических возможностей.

Библиографический список:

1. Министерство образования и науки Российской Федерации. О методических рекомендациях по внедрению систем ведения журналов успеваемости в электронном виде: Письмо № АП-147/07: [от 15.02.2012].
2. Министерство образования и науки Российской Федерации. Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования — бакалавриат по направлению подготовки 09.03.04 Программная инженерия: Приказ № 920: [от 19.09.2017]
3. Жданов А.И., Каплиева Н.А., Юргелас И.В. и др. Автоматизированная информационная система учета и мониторинга учебного процесса в вузе в условиях балльно-рейтинговой системы // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ

и информационные технологии — 2018. — № 3. — С. 146–154. DOI 10.17308/sait.2018.3/1241.

4. Селиванова Л.С., Бердюгин А.В. Разработка кроссплатформенного приложения «Модульный журнал» для мобильных устройств // Международные научные студенческие чтения 2025. — Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2025. — С. 120–130.

5. Чуйко О.И., Белозерова С.И. Разработка информационной системы учета успеваемости студентов на основе облачных технологий // Науковедение: электронный журнал. — 2015. — Т. 7, № 5. — С. 1–15. DOI 10.15862/97PVN515.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В КИБЕРАНАЛИТИКЕ

Королев К.В.

Научный руководитель: Ибатулин М.Ю. – старший преподаватель

Кафедра управления и информатики в технических системах МГТУ «СТАНКИН»

Современный этап развития информационных технологий характеризуется глубокой интеграцией веб-ориентированных систем во все сферы общественной и экономической жизни, что делает перенос критически важных данных и бизнес-процессов в облачные инфраструктуры неизбежным. Данная тенденция превратила веб-приложения в приоритетную цель для киберпреступников. Согласно актуальным отчетам в области информационной безопасности, количество инцидентов, связанных с эксплуатацией уязвимостей веб-ресурсов, ежегодно растет, при этом сами векторы атак становятся более сложными и деструктивными. К наиболее опасным типам воздействий традиционно относятся SQL-инъекции, межсайтовый скриптинг (XSS) и атаки типа Brute Force, направленные на компрометацию баз данных и учетных записей пользователей.

Традиционным инструментом защиты от подобных угроз являются системы обнаружения вторжений (IDS) и сетевые экраны прикладного уровня (WAF), в основе работы которых чаще всего лежит сигнатурный анализ. Однако данный подход обладает существенными недостатками, ограничивающими его эффективность в современных условиях. Во-первых, он малоэффективен против атак «нулевого дня» и полиморфных угроз, сигнатуры которых еще не внесены в базы данных. Во-вторых, высокая чувствительность к обфускации позволяет злоумышленникам обходить жесткие правила путем незначительного изменения кода атаки. Наконец, ручное обновление и поддержка тысяч правил в высоконагруженных сетях создают избыточную вычислительную нагрузку и увеличивают риск ошибок конфигурации. В связи с этим возникает объективная необходимость перехода от жестко детерминированных алгоритмов к методам интеллектуального поведенческого анализа на основе машинного обучения.

Применение алгоритмов машинного обучения открывает новые возможности для детекции аномальных статистических паттернов в трафике. В научной литературе рассматриваются различные подходы, такие как наивный байесовский классификатор, отличающийся высокой скоростью, но плохо работающий с зависимыми признаками, или метод опорных векторов, требующий значительных вычислительных ресурсов. Также выделяются нейронные сети, которые, несмотря на высокую точность, представляют собой «черный ящик», что затрудняет расследование инцидентов специалистами по безопасности. В данной работе обоснован выбор ансамблевого метода Random Forest. Данный алгоритм обладает устойчивостью к переобучению, эффективно выявляет сложные нелинейные закономерности и обеспечивает высокую скорость работы, представляя собой после обучения набор условий «если-то», что критично для обработки трафика в режиме реального времени. Кроме того, деревья решений обеспечивают необходимую интерпретируемость, позволяя визуализировать логику классификации сессий.

Процесс реализации предложенного решения начался с глубокой предобработки и очистки данных. Исходный сетевой трафик часто содержит избыточную информацию или аномалии, возникшие из-за ошибок логирования сенсоров, поэтому на первом этапе были устранены дубликаты и записи с неопределенными значениями. Ключевой проблемой при создании моделей обнаружения атак является численный дисбаланс, при котором легитимный трафик значительно преобладает над вредоносным. Для решения этой задачи был применен метод undersampling – случайное сокращение доминирующей

выборки, что позволило сформировать сбалансированный датасет, где 70% составляет легитимный трафик и 30% – вредоносный. Такая подготовка обеспечила равную эффективность обучения модели на примерах различных классов.

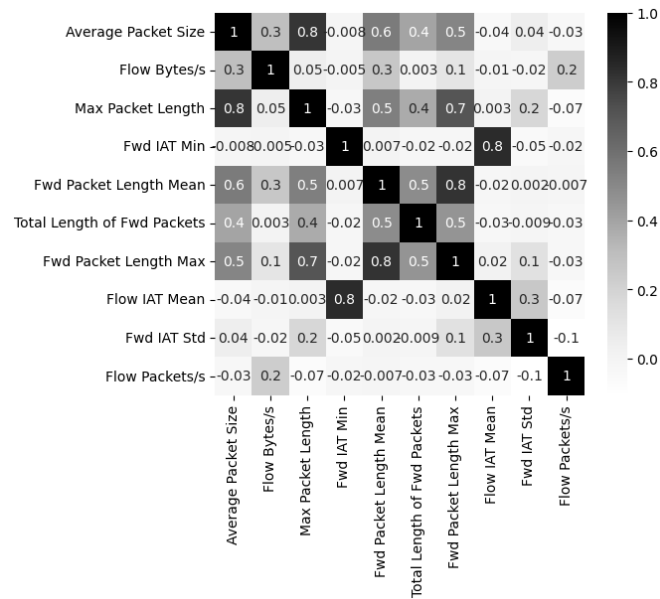


Рис. 1. Тепловая карта признаков корреляции признаков

Важным этапом исследования стала оптимизация набора признаков по принципу «минимально достаточной размерности». Традиционные системы часто пытаются обрабатывать весь массив данных, включающий до 80–100 параметров, что создает чрезмерную нагрузку на вычислительные мощности. В данной работе с помощью метода SelectFromModel и анализа важности признаков исходный набор из 74 параметров был сокращен до 10 наиболее информативных. Корреляционный анализ позволил выявить и удалить мультиколлинеарные признаки, дублирующие друг друга. Итоговый набор сфокусирован на физических характеристиках потока: среднем и максимальном размере пакета, статистических показателях временных интервалов (Fwd IAT Std, Fwd IAT Min) и скорости потока данных. Такое сокращение размерности в 7 раз позволило значительно ускорить работу системы без потери качества классификации

Для достижения максимальной производительности была проведена тонкая настройка гиперпараметров классификатора с использованием поиска по сетке (Grid Search) и кросс-валидации по 10 блокам. Оптимальная конфигурация модели включила в себя ансамбль из 30–50 деревьев с ограничением максимальной глубины до 17 уровней, что предотвратило переобучение на специфических шумах тренировочного датасета. Предложенное решение анализирует статистический «ритм» передачи данных, что делает его устойчивым к методам обфускации кода атак. Даже при изменении текстового паттерна SQL-инъекции физические параметры передачи пакетов выдают аномальную активность, которую успешно фиксирует модель.

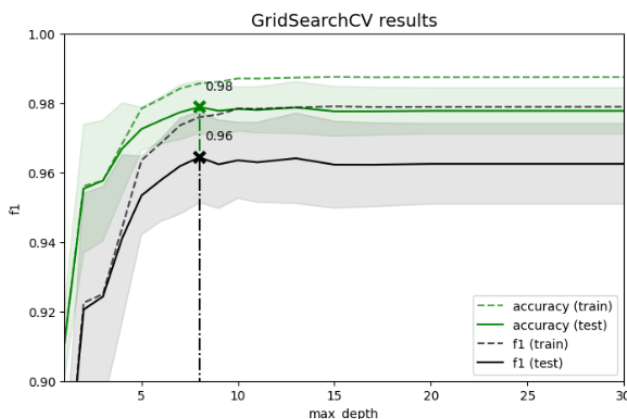


Рис. 2. График зависимости точности от глубины дерева

Результаты экспериментального моделирования подтвердили высокую эффективность выбранного подхода. На отложенной выборке, составляющей 30% от общего объема данных, итоговая модель продемонстрировала общую точность (Accuracy) на уровне 98,5%. Средневзвешенная метрика F1-score составила 0,975, что подтверждает стабильность классификации и отсутствие перекоса в пользу одного из классов. Показатели точности (Precision) и полноты (Recall) составили 95,5% и 96,7% соответственно, минимизируя риски как ложных срабатываний, так и пропусков атак. Особое внимание заслуживает стопроцентное обнаружение критических инцидентов типов Brute Force и SQL Injection. Для XSS-атак эффективность детекции составила 98,4%, что является высоким показателем для угроз, направленных на исполнение кода в браузере клиента.

Анализ кривых обучения показал, что точность модели стабилизируется уже при объеме выборки в 3500–4000 записей, что свидетельствует об информационной достаточности отобранных 10 признаков. Уровень ложных тревог составил около 1,3%, что является допустимым порогом для систем активной защиты. Важнейшим практическим результатом стала оценка вычислительной производительности: время обработки массива из 7267 сетевых записей составило всего 0,022 секунды, а среднее время классификации одной сессии – менее 3 микросекунд. Такая скорость позволяет интегрировать модель в высоконагруженные сетевые узлы без внесения задержек в передачу данных, выгодно отличая её от классических систем глубокого анализа содержимого пакетов.

Библиографический список:

1. Татарникова Т. М., Пойманова Е. Д. Алгоритм обнаружения атак на основе нейросетевого метода, 2025
2. Kahraman K. Anomaly Detection in Networks Using Machine Learning. School of Computer Science and Electronic Engineering University of Essex, 2018
3. Гетьман А.И., Иконникова М.К. Обзор методов классификации сетевого трафика с использованием машинного обучения. Труды ИСП РАН, том 32, вып. 6, 2020 г.
4. Горюнов М.Н., Мацкевич А.Г., Рыболовлев Д.А. Синтез модели машинного обучения для обнаружения компьютерных атак на основе набора данных CICIDS2017. Труды ИСП РАН, том 32, вып. 5, 2020
5. Хабр // Как самому разработать систему обнаружения компьютерных атак на основе машинного обучения [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/538296/> (дата обращения: 18.01.2026).

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Кречун А.В.

Научный руководитель: Елисеева Н. В. - к.т.н., доцент

*Кафедра информационных технологий и вычислительных систем
МГТУ «СТАНКИН»*

В микросервисных распределённых системах актуальна задача надёжной асинхронной передачи объектов большого объёма до 1 ГБ: результатов работы моделей машинного обучения, медиафайлов высокого разрешения, объёмных документов. Классические брокеры сообщений Apache Kafka, RabbitMQ, Redis Streams хорошо справляются с потоками мелких событий, но при тяжёлой нагрузке проявляются негативные события деградации производительности, блокировки очередей, переполнение памяти и разрывы соединений. Монолитная структура этих систем усложняет интеграцию корпоративных требований безопасности.

Сравнительный анализ существующих решений показывает, что каждый из перечисленных брокеров спроектирован под собственный класс нагрузок. Apache Kafka ориентирован на лог-структурированные потоки мелких событий и имеет жёсткое ограничение на максимальный размер сообщения, вследствие чего передача гигабайтного файла вынуждает разработчика выполнять ручную фрагментацию на стороне производителя и последующую сборку на стороне потребителя. RabbitMQ хранит очереди преимущественно в оперативной памяти с периодическим выгрузением на диск, и при появлении сообщений объёмом в сотни мегабайт возникают непредсказуемые всплески задержек и избыточное потребление ресурсов брокера. Redis Streams как полностью размещаемое в оперативной памяти решение в принципе не рассчитан на персистентное хранение гигабайтных объектов. Совокупность этих ограничений объясняет, почему применение классических брокеров к тяжёлой полезной нагрузке сопровождается архитектурными компромиссами [1].

При использовании классических брокеров сообщений в случае передачи большого файла до 1 ГБ разработчик вынужден самостоятельно выполнять фрагментацию данных, управлять буферизацией и обрабатывать сетевые ошибки. Именно поэтому возникает потребность в новом инструменте для обеспечения маршрутизации крупных объектов со скрытой от прикладных разработчиков инфраструктурной сложностью.

Цель работы - сократить ручные операции по обработке данных при передаче больших файлов до 1 ГБ на основе модульной платформы обмена сообщениями с гибридным хранением MiniToolStream.

Для достижения поставленной цели в работе решается комплекс взаимосвязанных задач. Обоснована гибридная архитектура хранения, разделяющая метаданные и полезную нагрузку. Спроектированы микросервисы приёма и доставки сообщений, определены протоколы их взаимодействия. Разработана серверная логика публикации и подписки на языке Go, реализован механизм автоматической очистки устаревших данных на основе настраиваемого времени жизни. Подготовлена клиентская библиотека, инкапсулирующая работу с транспортным уровнем и стратегии обработки сообщений. Выполнена контейнеризация компонентов в Docker и подготовлены манифесты для развёртывания в среде Kubernetes. Для подтверждения работоспособности и

ресурсоэффективности проведено сравнительное нагрузочное тестирование при различных размерах передаваемых объектов.

В разработанной автором платформе MiniToolStream применён адаптированный паттерн Claim Check [2]. Поток разделяется на два контура. Тяжёлая нагрузка сохраняется в S3-совместимом хранилище MinIO, метаданные транзакционно обрабатываются в размещаемой в оперативной памяти СУБД Tarantool. Клиент работает через единый интерфейс, что позволяет скрыть внутреннюю гетерогенность хранилищ и представить прикладному разработчику целостную модель «ключ - полезная нагрузка».

Взаимодействие компонентов построено по принципам CQRS: контур записи Ingress и контур чтения Egress реализованы как независимые микросервисы [4] с отдельными моделями данных и собственными путями оптимизации. Такая декомпозиция позволяет масштабировать запись и чтение независимо, что критично для сценариев с выраженной асимметрией нагрузки, характерных для корпоративных распределённых систем.

Реализация выполнена на Go [3] с gRPC. Архитектура включает два микросервиса Ingress - запись, Egress - чтение, построенных по принципам CQRS [5] и чистой архитектуры [6]. Транзакционная целостность обеспечивается трёхфазным протоколом фиксации с фоновой очисткой устаревших данных. Инфраструктура контейнеризована в Kubernetes, безопасность - через HashiCorp Vault и JWT.

Ключевым элементом согласованности служит конечный автомат состояний транзакции. Запись проходит стадии подготовки, фиксации метаданных и подтверждения фактического размещения полезной нагрузки, что исключает ситуацию, при которой метаданные указывают на несуществующий объект в объектном хранилище. Устаревшие записи, не достигшие финального состояния в пределах настраиваемого времени жизни, удаляются фоновым уборщиком, обеспечивая самоочищающееся поведение платформы и отсутствие накопления неиспользуемых объектов в долгоживущей инсталляции.

Для управления метаданными в Tarantool сформирована компактная схема, включающая первичный индекс по идентификатору сообщения и вторичные индексы по состоянию и времени создания. Первичный индекс обеспечивает детерминированный доступ к записи за постоянное время, а вторичные индексы необходимы для эффективной фильтрации зафиксированных транзакций на стороне Egress и для корректной работы фонового уборщика, удаляющего устаревшие записи по стратегии наименее недавно использованных.

Клиентская библиотека построена вокруг паттернов Адаптер и Стратегия. Она инкапсулирует подключение к обоим контурам платформы, выполняет двухуровневую доставку сообщений, поддерживает многопоточную обработку и позволяет подключать пользовательские обработчики без модификации транспортного слоя. Это снижает порог входа для прикладных команд и оставляет за платформой ответственность за безопасность, повторные попытки и корректное завершение сессий.

Сравнительное нагрузочное тестирование проводилось в контролируемой среде при варьируемых размерах сообщений и уровне конкурентной нагрузки. Измерялись пропускная способность, задержки доставки, стабильность времени отклика и пиковое потребление оперативной памяти. Эталонном для сопоставления выбран Apache Kafka как наиболее распространённый индустриальный брокер, поддерживающий сопоставимый сценарий публикации и подписки.

Нагрузочное тестирование показало преимущество разработанной платформы перед Apache Kafka: при файлах 10 МБ потребление оперативной памяти сократилось до 52 %. Платформа стабильно передаёт объекты 1 Гб единым вызовом без деградации управляющего контура. Наблюдаемое преимущество объясняется тем, что управляющий контур оперирует исключительно метаданными, а полезная нагрузка передаётся по прямому каналу в объектное хранилище, минуя журнал брокера.

Развёртывание платформы в среде Kubernetes опирается на декларативное описание ресурсов и типовой набор манифестов. Микросервисы Ingress и Egress оформлены как отдельные ресурсы развёртывания и могут независимо масштабироваться за счёт горизонтального увеличения числа реплик, а связность сети обеспечивается объектами Service и Ingress-контроллером. Такая топология позволяет разнести нагрузку на запись и чтение по отдельным узлам и управлять квотами ресурсов для каждого контура без остановки пользовательских сессий.

Безопасность в корпоративном контуре обеспечивается комбинацией HashiCorp Vault и JWT. Vault используется в качестве централизованного хранилища секретов и источника кратковременных сессионных ключей, а токены JWT переносятся в метаданных gRPC-запросов и проверяются на стороне сервера до обращения к бизнес-логике. Такой подход позволяет внедрять ротацию ключей и разграничение доступа без изменения прикладного кода, а также выстраивать сквозной аудит операций публикации и подписки.

Расширяемость достигается за счёт того, что клиентская библиотека и серверные микросервисы разделены на независимые слои транспорта, бизнес-логики и хранения. Это позволяет при необходимости заменить объектное хранилище на другую S3-совместимую реализацию, подключить альтернативный сетевой протокол или расширить набор стратегий обработки сообщений без пересмотра ядра платформы, что обеспечивает долговечность архитектурного решения и снижает стоимость сопровождения в долгоживущей инсталляции.

Предложенная гибридная модель рекомендуется для сценариев с неравномерной нагрузкой и крупными бинарными объектами в корпоративных распределённых системах. Она естественно встраивается в уже имеющийся у предприятия стек S3-совместимых хранилищ и позволяет поэтапно мигрировать с классических брокеров без переписывания прикладных контрактов, что делает переход на платформу MiniToolStream экономически оправданным инженерным решением.

Библиографический список:

1. Клеппман М. Высоконагруженные приложения. Программирование, масштабирование, поддержка. - СПб.: Питер, 2018. - 640 с.
2. Хоп Г., Вульф Б. Шаблоны интеграции корпоративных приложений. - М.: Вильямс, 2016. - 656 с.
3. Донован А., Керниган Б. Язык программирования Go. - М.: Вильямс, 2019. - 432 с.
4. Ньюмен С. Создание микросервисов. - СПб.: Питер, 2019. - 624 с.
5. Ричардсон К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга. - СПб.: Питер, 2020. - 544 с.
6. Фаулер М. Шаблоны корпоративных приложений. - М.: Вильямс, 2016. - 544 с.

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

Крючкова В.А.

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

Кафедра технологии машиностроения ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

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

Для рассмотрения в рамках исследования был выбран клапан, 3D модель которого представлен на рисунке 1.

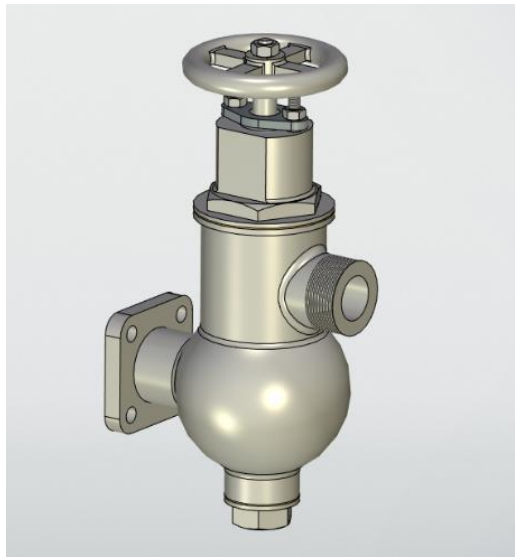


Рис.1. Модель клапана

На примере клапана проведён анализ критических посадок, выявлены деформации в паре «клапан-седло», возникающие при запрессовке с натягом. Показано, что остаточные напряжения в соединении седла с корпусом приводят к перекосу уплотнительной фаски и потере герметичности, особенно в агрессивных средах. Предложены конструкторско-технологические методы предотвращения деформаций: оптимизация натяга, температурная сборка (нагрев корпуса до 150–200°C, охлаждение седла), контроль шероховатости (Ra 0,8–1,6) и притирка уплотнительных поверхностей [1].

Анализ уязвимых элементов клапана (шпиндель, резьба, уплотнительные фаски, войлочные кольца) позволил выявить логистические риски при транспортировке и хранении: вибрация вызывает повреждение фасок, влага – коррозию, пыль – абразивный износ. Разработаны меры защиты: транспортные заглушки, консервация смазкой, индивидуальная упаковка, фиксация подвижных элементов [3].

Для количественной оценки эффективности разработанной методики были составлены и сравнены два алгоритма сборки клапана: традиционная ручная сборка (без применения методики) и автоматизированная сборка (с использованием параметрической модели, ориентированной подачи деталей и пневмоинструмента с контролем момента). Диаграмма Ганта для ручной сборки представлена на рисунке 2. Общее время ручной сборки составило 1285 секунд (≈ 22 минуты). Основные проблемы ручного метода: много времени затрачивается на поиск и ориентацию деталей (≈ 12 минут), высок риск перекоса седла и повреждения резьбы, требуется высокая квалификация сборщика (5-й разряд), наблюдаются простои из-за отсутствия нужной детали под рукой.

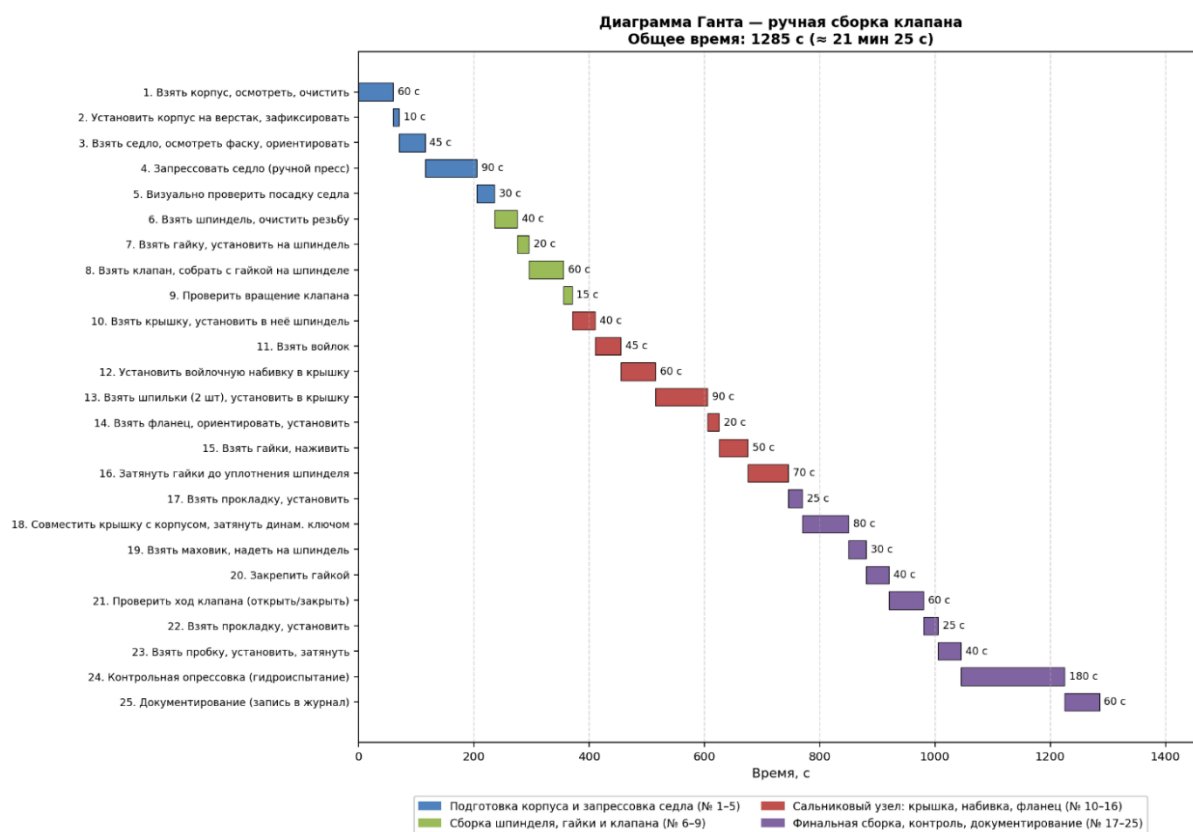


Рис. 2. Диаграмма Ганта для ручной сборки клапана

Диаграмма Ганта для автоматизированной сборки представлена на рисунке 3. Внедрение методики предполагает: подачу деталей в специальных лотках с пространственной ориентацией (шпиндель установлен вертикально, фланец – правильной стороной); использование пневматических гайковёртов и пресса с контролем усилия; подсказки интерфейса в T-FLEX CAD (что брать, куда ставить, какой момент затяжки). Общее время автоматизированной сборки сократилось до 505 секунд (≈ 9 минут).

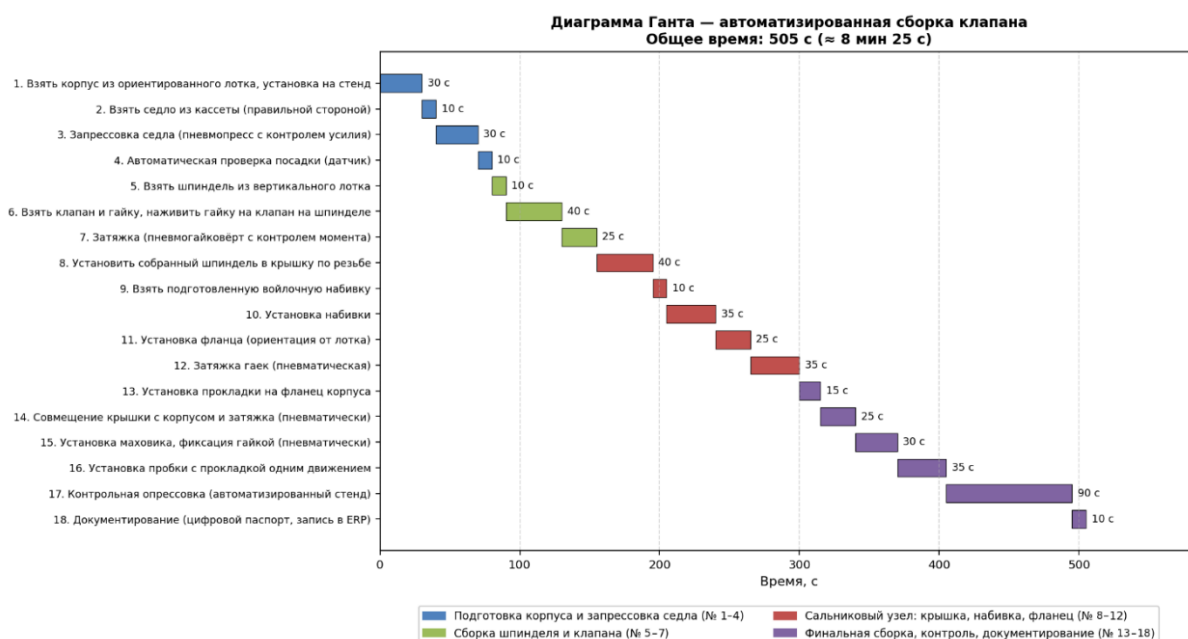


Рис. 3. Диаграмма Ганта для автоматизированной сборки клапана

Сравнение ключевых показателей ручной и автоматизированной сборки показало, что общее время сборки сократилось на 59% (с 22 до 9 минут). Время на поиск и ориентацию деталей уменьшилось на 83% (с \approx 12 минут до \approx 2 минут). Время запрессовки седла сократилось на 67% (с 90 до 30 секунд). Время контрольной опрессовки уменьшилось вдвое (с 180 до 90 секунд) за счёт использования автоматизированного стенда. Квалификация сборщика снижена с 5-го до 3-го разряда, поскольку интерфейс подсказывает последовательность, ориентацию и параметры затяжки. Процент брака сократился с 8% до 1,5% благодаря исключению перекосов при запрессовке (температурный метод) и автоматическому контролю момента затяжки. Простои в ожидании деталей сведены к минимуму. Устойчивость производства выросла – процесс стал стандартизированным и воспроизводимым, не зависящим от опыта конкретного сборщика.

Таким образом, предложена формализованная методика, устанавливающая взаимосвязи между параметрами модели изделия, схемой сборки и логистическими критериями, что позволяет автоматизировать синтез ТП сборки, сократить трудоёмкость подготовки производства и снизить риски дефектов [1, 2, 3]. Практическая апробация на примере сборки клапана показала сокращение времени сборки более чем в 2 раза, снижение требований к квалификации персонала (с 5-го до 3-го разряда) и уменьшение процента брака.

Библиографический список:

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ АССИМЕТРИЧНЫХ ОТНОШЕНИЙ И МЕТОД СПЕКТРАЛЬНОГО ВЛОЖЕНИЯ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Молчанов Д.И.

Научный руководитель: Елисеева Ю.В. – д.ф.-м.н., профессор

Кафедра прикладной математики ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Социальные сети по своей природе часто содержат направленные связи, отражающие иерархию, влияние, передачу ресурсов или информации. Эксперименты с социальными группами показывают, что отношения редко бывают симметричными: «А считает Б близким другом, тогда как Б считает А лишь знакомым». В реальных структурах направленность очевидна в организациях с элементами командования, финансовых потоках и платформах доверия. Традиционные методы спектрального анализа графов требуют симметричности матрицы смежности, что вынуждает исследователей либо игнорировать ориентацию рёбер, либо применять искусственные методы симметризации (например, $W+W^T$). Оба подхода приводят к потере ценной информации о направленности потоков и искажению топологической структуры. В связи с этим актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки математически строгого и вычислительно эффективного метода спектрального вложения, способного сохранять асимметрию отношений без существенных вычислительных затрат и потери интерпретируемости результатов [1].

Классическим решением для вложения ориентированных графов является метод Фан Чун (Fan Chung), основанный на матрице случайного блуждания и стационарном распределении важности узлов π . Данный подход концептуально строг, однако на практике сталкивается с проблемой приводимости: случайный блуждающий может оказаться в «стоковом» узле или области без исходящих рёбер. Стандартное техническое решение известно как «трюк Google», заключающийся в добавлении к матрице переходов постоянной матрицы ϵ , позволяет с небольшой вероятностью перейти из любого узла в любой другой. Использование «трюка Google» также имеет два существенных вычислительных недостатка. Во-первых, матрица смежности становится плотной, что исключает применение методов разреженных матриц для собственного разложения и увеличивает время и объём памяти, необходимые для вычислений. Во-вторых, периферийные узлы склонны оказываться в позициях, «завёрнутых» обратно к центру вложения. Это происходит потому, что, хотя каждое добавленное ребро слабое, их много. В результате такие узлы ошибочно кажутся более важными, чем они есть на самом деле. Кроме того, семантика постоянной матрицы проблематична для социальных сетей, где направленность отражает реальное влияние или доверие, а не случайные переходы, что может приводить к некорректным интерпретациям глобальной структуры.

В данной работе предлагается альтернативный подход, основанный на слоистой (двудольной) модели графа. Ключевая идея заключается в разделении каждого узла исходного ориентированного графа на две версии: входящую (v_{in}) и исходящую (v_{out}), размещаемые в разных слоях. Направленное ребро от узла p к узлу q моделируется как неориентированная связь между p_{out} и q_{in} . Таким образом, версии out служат точками подключения исходящих рёбер, а версии in — входящими. Направление исходных рёбер кодируется структурой соединений, а сами рёбра в расширенном графе становятся неориентированными. Дополнительно в граф вводятся «вертикальные» рёбра, соединяющие v_{in} и v_{out} одного и того же узла. Вес вертикального ребра выбирается равным сумме входящей и исходящей степеней узла ($d_{in}+d_{out}$), что гарантирует, что обе версии будут помещены в один кластер при любой разумной кластеризации расширенного графа, а также обеспечивает согласованность результатов с теми, которые

получаются при игнорировании направления рёбер в симметричном случае. В результате формируется двудольный граф с $2n$ узлами и симметричной матрицей смежности M размером $2n \times 2n$.

Построенная матрица нормализуется с учётом степеней узлов расширенного графа. Формально, пусть W — исходная несимметричная матрица смежности, D_{in} и D_{out} — диагональные матрицы входящих и исходящих степеней. Нормализованная матрица A вычисляется следующим образом:

$A = (2D_{out} + D_{in})^{-1/2} (2W + D_{out} + D_{in}) (2D_{out} + D_{in})^{-1/2}$ Поскольку расширенный граф является двудольным, спектральное разложение его лапласиана может быть эффективно выполнено с помощью сингулярного разложения (SVD) матрицы A . Вычисляются первые k сингулярных значений σ_i и соответствующие пары сингулярных векторов u_i и v_i , где u_i соответствуют исходящим версиям узлов (v_{out}), а v_i — входящим (v_{in}). Векторы вложения модифицируются и объединяются с учётом степеней, после чего граф вкладывается в $(k-1)$ -мерное пространство с использованием векторов f_i (исключая тривиальный вектор с сингулярным значением 1). Данный подход позволяет избежать вычисления левого собственного вектора стационарного распределения, так как важность узла аппроксимируется его локальной степенью в неориентированном расширенном графе. Размер матриц, используемых в SVD, совпадает с размером исходной матрицы смежности, а граф остаётся разреженным, что даёт существенное преимущество в производительности [2].

Одним из ключевых преимуществ метода является то, что каждому узлу соответствуют две точки во вложенном пространстве. Расстояние между ними несёт важный аналитический смысл: расстояние между двумя версиями одного узла отражает степень асимметричного потока через этот узел. Если поток в основном исходит и завершается в одном и том же подмножестве других узлов, это расстояние будет малым. Если же поток исходит из одного подмножества и завершается в другом, расстояние будет большим. Кроме того, метод позволяет прогнозировать направленные связи: если v_{in} одного узла близка к u_{out} другого, можно предсказать ребро от u к v .

Численные эксперименты проводились на реальных наборах данных с направленными рёбрами, включая сеть флорентийских семей эпохи Возрождения (рёбра направлены по признаку власти и брачных связей) и сеть доверия/репутации Bitcoin OTC [3].

Библиографический список:

1. Q. Zheng, D. B. Skillicorn. Spectral embedding of directed graphs. IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, p. 432-439, 2015.
2. Q. Zheng, D.B. Skillicorn. Social Networks with Rich Edge Semantics, IEEE Communications Magazine, p. 50-65, 2017.
3. J.F. Padgett and C.K. Ansell. Robust action and the rise of the Medici, 1400-1434. American Journal of Sociology, p. 1259–1319, 1993.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПОВОРОТНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Мухамед В.А.А-Б

Научный руководитель: Мастеренко Д.А. – д.т.н., профессор Кафедры измерительных информационных систем и технологий МГТУ «СТАНКИН»

Роботизированные платформы в наше время играют существенную роль в автоматизации производственной, складской, логистической деятельности. Ориентация в пространстве и выполнение платформой возложенных на неё функций требует наличия встроенной информационно-измерительной системы (ИИС).

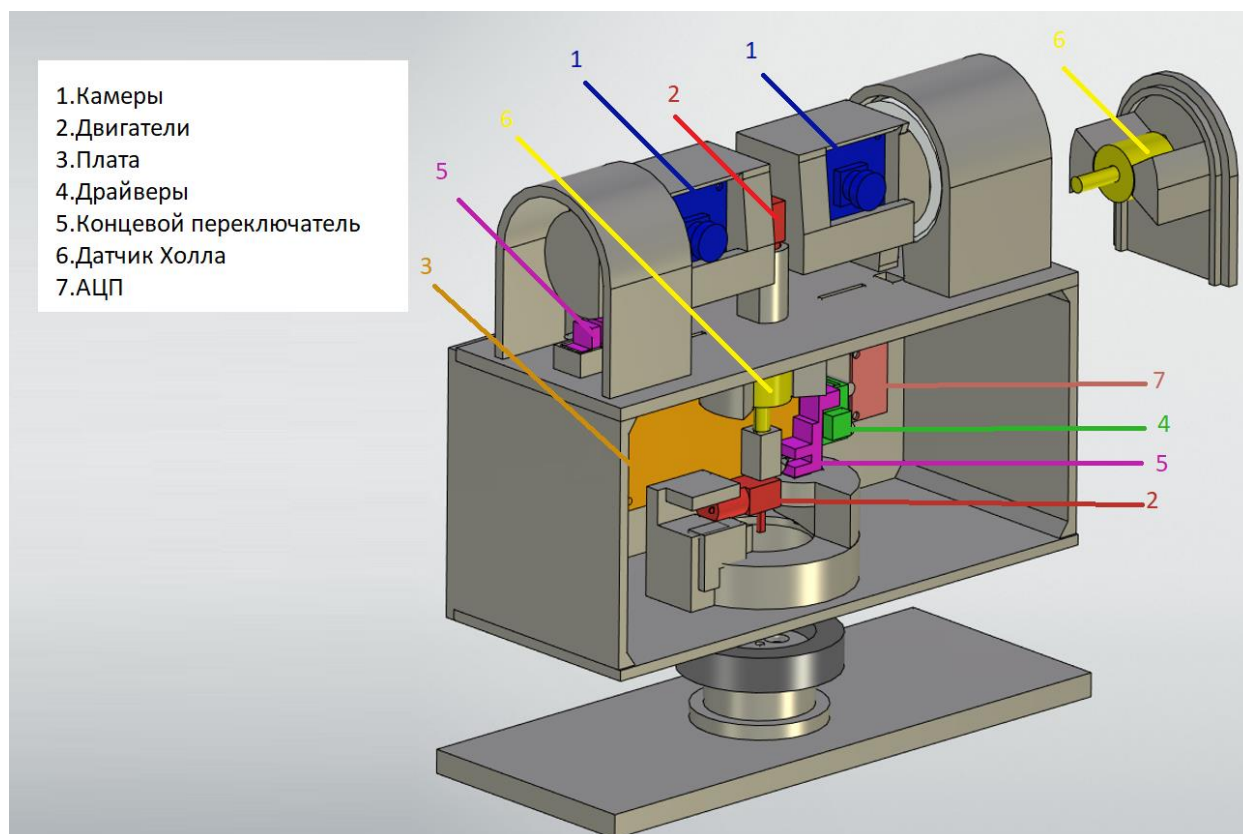


Рис. 1. 3D модель устройства со всеми элементами

В основу функционирования предлагаемой ИИС положен принцип ориентации по визуальным образам окружающих объектов. Основные составные части системы – видеокамеры, установленные на поворотных устройствах, и измерительные преобразователи углов поворота, рысканья и тангажа платформы (см. рис. 1).

Система управления обрабатывает информацию по четырем потокам:

1. С видеокамер получает необходимые кадры для сопоставления отклонений, для последующего расчета;
2. С измерительных преобразователей для предотвращения поломки из-за попытки выйти за крайние конструкционные положения;
3. С кнопок, для управления поворота двигателей на определенные углы;
4. Для отображения приложения для возможности управления человеком.

На рис. 2 представлена блок схема программы управления.

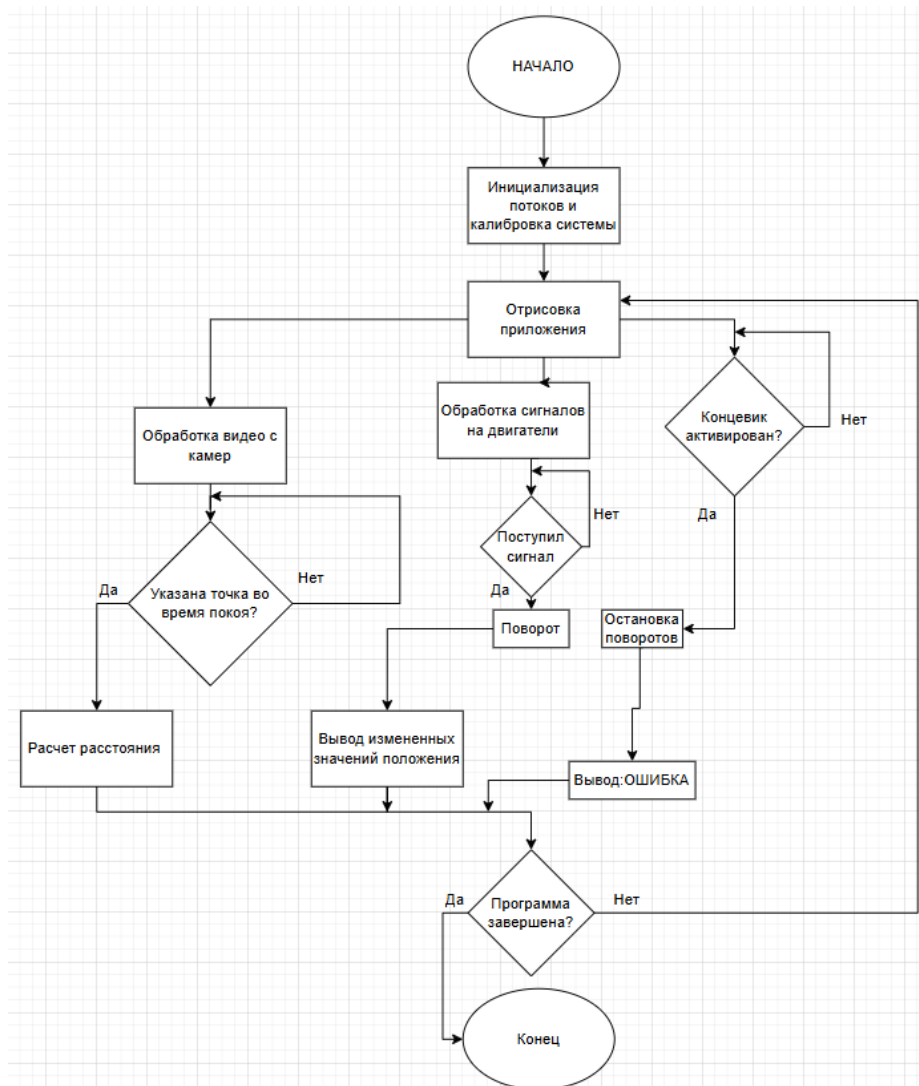


Рис. 2. Блок-схема программы управления

После получения необходимых кадров система производит триангуляционные расчеты и оценивает положение платформы относительно окружающих предметов по формуле:

$$\text{distance} = \frac{\text{baseline}}{\tan(\text{angel_rad})} * \text{DISTANCE_MULTIPLIER}$$

Где distance - это расстояние до измеряемого объекта; baseline - известное расстояние между камерами; angel_rad - это арктангенс отношения отклонения по пикселям по второй камере к половине ширины кадра; DISTANCE_MULTIPLIER - коэффициент калибровки, который был принят как 1,35.

Выполнены изготовление деталей, сборка системы, написание и отладка встроенного программного обеспечения, после чего проведены предварительные испытания, показавшие положительные результаты.

На рис. 3 представлены изображения с двух видеокамер при испытаниях системы — по их различиям вычисляются координаты платформы относительно окружающих объектов.



Рис. 3. Кадры одного из испытаний системы

Библиографический список:

1. Лазаренко, В. П. Метод определения пространственных координат в активной стереоскопической системе / В. П. Лазаренко, Т. С. Джамийков, В. В. Кортаев, С. Н. Ярышев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – № 1 (101). – С. 49–54.

**РАЗРАБОТКА HTTP-КЛИЕНТА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ API:
АРХИТЕКТУРНЫЙ ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ
«ТЕСТИРОВАНИЕ КАК КОД»**

Ратчин Г.В.

Научный руководитель: Гальчич М.А. — к.э.н., доцент

Кафедра информационных систем МГТУ «СТАНКИН»

Современная разработка программного обеспечения немислима без использования веб-API, обеспечивающих взаимодействие между компонентами распределённых систем. Переход к микросервисной архитектуре, широкое распространение практик непрерывной интеграции и непрерывной доставки и рост числа межсервисных коммуникаций обусловили повышенные требования к инструментам тестирования программных интерфейсов. Тестирование API является критически важным этапом разработки: от его корректности зависит стабильность и надёжность всего программного продукта.

Анализ существующих решений выявил системный недостаток, характерный для доминирующих инструментов: использование закрытых или сложно структурированных форматов хранения тестовых сценариев, препятствующих их интеграции в системы контроля версий и CI/CD-пайплайны. Так, Postman использует проприетарный JSON-формат коллекций, Insomnia — аналогичный закрытый формат. Это создаёт проблемы в командах, практикующих code review, а также исключает тестовые артефакты из стандартных процессов ревизии кода. Задача настоящего исследования — проектирование и разработка HTTP-клиента API Sentinel, лишённого указанных ограничений.

Работа выполнена на стыке инженерии программного обеспечения, архитектурного проектирования и методологии обеспечения качества. Нормативной основой исследования послужили: ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 (процессы жизненного цикла ПО), ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015 (модели качества систем и ПО), ГОСТ Р ИСО/МЭК 25000-2021 (общая система SQuaRE), а также международные технические спецификации RFC 7230–7235 (HTTP/1.1), RFC 7540 (HTTP/2) и OpenAPI Specification 3.0. Применение указанных стандартов обеспечивает методологическую строгость, измеримость качества и правовую определённость при разработке инструмента.

Сравнительный анализ ключевых инструментов тестирования API проводился по пяти критериям: функциональная полнота (поддерживаемые протоколы), формат хранения сценариев, степень интеграции с Git и CI/CD, архитектурный подход (монолит / модульность) и модель распространения (проприетарная / открытая). По результатам анализа выявлено, что существующие решения — Postman, Insomnia, Bruno — не обеспечивают одновременно полноценный Git-workflow, кроссплатформенное исполняемое ядро с идентичным поведением в GUI и CLI, а также открытые, машиночитаемые форматы хранения данных. Сравнительная характеристика представлена в таблице 1.

Сравнительный анализ HTTP-клиентов для тестирования API

Критерий	Postman	Insomnia	Bruno	API Sentinel (разраб.)
Формат хранения	Проприетарный JSON	Проприетарный JSON	Текстовые <code>bru</code>	YAML/JSON (Git-ready)
Git-интеграция	Ограниченная	Ограниченная	Полная	Полная (нативная)
CI/CD (CLI)	Newman	Inso CLI	Bruno CLI	Встроенный CLI
Архитектура	Монолит	Монолит	Монолит	Ядро + интерфейсы
Протоколы	REST/GraphQL/gRPC	REST/GraphQL/gRPC	REST/GraphQL	REST/GraphQL/gRPC

На основе выявленных проблем сформулирована концепция нового HTTP-клиента API Sentinel, построенная на трёх фундаментальных архитектурных принципах. Первый принцип — «Тестирование как код»: тестовые сценарии хранятся в человекочитаемых форматах YAML/JSON, обеспечивающих полноценный Git-workflow (diff, merge, blame, code review), версионирование тестов вместе с кодом приложения и возможность декларативного описания проверок. Второй принцип — прогрессивное раскрытие сложности: базовый интерфейс позволяет выполнить простой запрос без изучения сложных концепций, тогда как продвинутые возможности (переменные окружения, скрипты, цепочки запросов) активируются по мере необходимости. Третий принцип — глубокая интеграция: нативная работа с файловой системой, полная функциональная идентичность GUI и CLI, поддержка импорта/экспорта форматов OpenAPI и Postman Collections.

Проектируемая система реализует двухслойную архитектуру. Нижний слой — кроссплатформенное ядро, отвечающее за выполнение HTTP/gRPC-запросов, валидацию ответов, управление переменными и обработку скриптов. Верхний слой — набор независимых интерфейсов: десктопное GUI-приложение на базе Tauri, CLI-модуль и IDE-плагины. Такая архитектура гарантирует детерминированное и воспроизводимое выполнение тестовых сценариев вне зависимости от того, запускаются ли они вручную через GUI или автоматически в CI/CD-пайплайне.

Сформированный набор требований к программному продукту охватывает пять функциональных групп: управление HTTP-запросами и коллекциями, работа с переменными и окружениями, обработка и анализ ответов, автоматизация и написание тестов (скриптовый движок на JS ES6+), интерфейс командной строки и интеграция с CI/CD. Нефункциональные требования (NFR) определяют квантифицированные критерии качества по шести характеристикам, установленным ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Краткое изложение ключевых требований приведено в таблице 2.

Сводная таблица ключевых требований к API Sentinel

Группа требований	Ключевые требования
Функциональные (FR)	Отправка HTTP/1.1 и HTTP/2 запросов; поддержка REST, GraphQL, gRPC; управление коллекциями; импорт/экспорт OpenAPI 3.0; управление переменными окружения; скриптовый движок (JS ES6+)
Нефункциональные (NFR)	Запуск ≤ 3 с; отклик UI ≤ 100 мс; работа с коллекциями до 1000 запросов; покрытие тестами $\geq 70\%$; кроссплатформенность (Win/macOS/Linux); шифрование токенов через системное хранилище
Интеграционные	CLI-модуль с выводом JUnit XML / JSON; функциональная идентичность GUI и CLI; нативная поддержка GitHub Actions, GitLab CI, Jenkins

На основе сформулированных требований разработаны детальные архитектурные и информационные модели системы. Функциональная модель в нотации IDEF0 описывает взаимодействие системы с тремя категориями участников: разработчиками backend, инженерами QA и DevOps-командами. Диаграмма вариантов использования (Use Case Diagram) включает 18 прецедентов, сгруппированных по четырём функциональным подсистемам. Диаграмма последовательности (Sequence Diagram) формализует полный жизненный цикл выполнения HTTP-запроса — от ввода пользователем URL до отображения валидированного ответа и обновления переменных окружения. Совокупность UML-моделей образует целостный проектный фундамент для последующей реализации.

Работоспособность реализованных модулей — отправки HTTP-запросов (REST, GraphQL, gRPC), обработки и валидации ответов, управления переменными окружения — подтверждена тестированием на эталонных публичных API. CLI-модуль успешно выполнен в режиме headless с генерацией отчётов в формате JUnit XML, пригодных для импорта в Jenkins и GitLab CI.

Научная значимость работы состоит в формализации модели «тестирование как код» применительно к HTTP-клиентам, разработке двухслойного архитектурного шаблона GUI+CLI с единым исполняющим ядром и выработке методологии прогрессивного раскрытия сложности для инструментов разработки. Практическая ценность заключается в снижении когнитивной нагрузки разработчиков за счёт упрощения рутинных операций, повышении воспроизводимости автоматизированных тестов, улучшении командной коллаборации через стандартные практики контроля версий, а также в обеспечении возможности интеграции инструмента в существующие DevOps-процессы без значительных накладных расходов.

Таким образом, предложенное решение устраняет системные ограничения современных инструментов тестирования API посредством методологически обоснованного архитектурного подхода, делая тестирование естественной, версионизируемой и воспроизводимой частью процесса разработки программного обеспечения.

Библиографический список:

1. RFC 7230-7235. Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1). IETF, 2014.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Системная и программная инженерия. Модели качества систем и программных продуктов. М.: Стандартинформ, 2015.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Процессы жизненного цикла программных средств. М.: Стандартинформ, 2012.

4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25000-2021. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQaRE). М.: Стандартиформ, 2022.
5. OpenAPI Specification 3.0. OpenAPI Initiative. URL: <https://spec.openapis.org/oas/v3.0.0>
6. Masse M. REST API Design Rulebook. O'Reilly Media, 2011.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ СЕНСОРАМИ ДЛЯ ПОИСКА ПУТИ В НЕИЗВЕСТНОЙ СРЕДЕ И ИССЛЕДОВАНИЯ АРТЕФАКТОВ ДАТЧИКОВ

Сизов К.В.

Научный руководитель: Пряничников В.Е. – д.т.н., профессор (каф. СиУС)

Кафедра робототехники и мехатроники МГТУ «СТАНКИН»

Разработка автономных мобильных роботов, способных функционировать в неизвестной среде, требует решения комплекса задач, связанных с восприятием окружения, построением карты и навигацией. Ключевую роль при этом играют сенсорные системы, в частности ультразвуковые (УЗ) датчики, широко применяемые благодаря низкой стоимости и надёжности. Кроме того, ультразвуковые сенсоры могут быть использованы в среде с большим количеством стеклянных поверхностей, в которых лидары будут ошибаться. На этапе проектирования сложно предсказать, как взаимное расположение датчиков на корпусе робота и возникающие при их работе артефакты повлияют на качество построения карты и успешность навигации. Экспериментальная отработка этих вопросов на физическом прототипе требует значительных временных и материальных затрат.

Для исследования артефактов УЗ датчиков необходимо учитывать физические особенности распространения звука. На рис. 1 показаны ситуации, в которых датчик не будет возвращать расстояние: (а) когда предмет слишком далеко, звуковая волна рассеивается прежде, чем дойдёт до приёмника; (б) препятствие слишком близко, отражённый сигнал доходит до датчика, когда тот ещё в режиме излучателя; (в) препятствие слишком мало и отражает недостаточное количество сигнала; (г) препятствие не перпендикулярно апертуре, звуковая волна отражается не в приёмник.

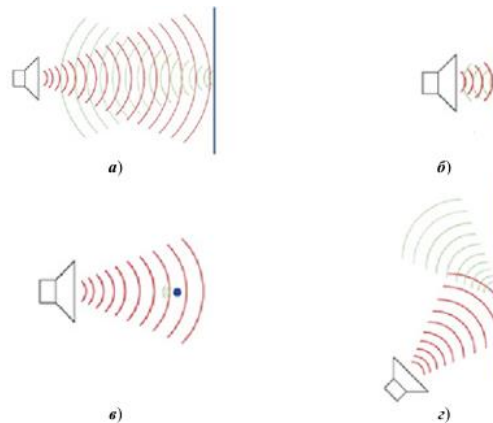


Рис. 1. Влияние среды на погрешность измерения расстояния [1]

Когда датчик возвращает расстояние R , это не означает, что в точке на расстоянии R прямо перед датчиком находится объект. Это означает, что где-то в конусе датчика шириной в 60° (зависит от диаграммы направленности рис. 2 (а)) находится одно или несколько препятствий, а пространство внутри этого сектора ближе, чем R – пустое.

По показаниям датчиков необходимо заполнять карту занятости – это массив, который позволяет представить окружающее пространство в виде конечного количества элементов. Робот будет строить плоскую карту на дисплее размером 400×400 пикселей, соответственно наилучшему разрешению карты будет соответствовать массив из 160000 элементов. Для каждой ячейки карты занятости, попадающей в зону действия датчика,

можно вычислять вероятность того, что она занята через вероятностную модель датчика, она содержит: радиальную составляющую – описывает уверенность в расстоянии и угловую составляющую – описывает уверенность в направлении. На рис. 2 (б) представлены вероятностные профили конуса УЗ датчика, на нём: функция $P_E(r)$ – вероятность пустоты (empty) в зависимости от расстояния, функция $P_O(r)$ – вероятность препятствия (obstacle) в зависимости от расстояния, функции $P_E(\text{angle})$ и $P_O(\text{angle})$ – вероятности пустоты и препятствия в зависимости от угла. На рис. 2 (в) нормальное распределение вероятностей $P_O(\text{angle})$ для датчика HC-SR04.

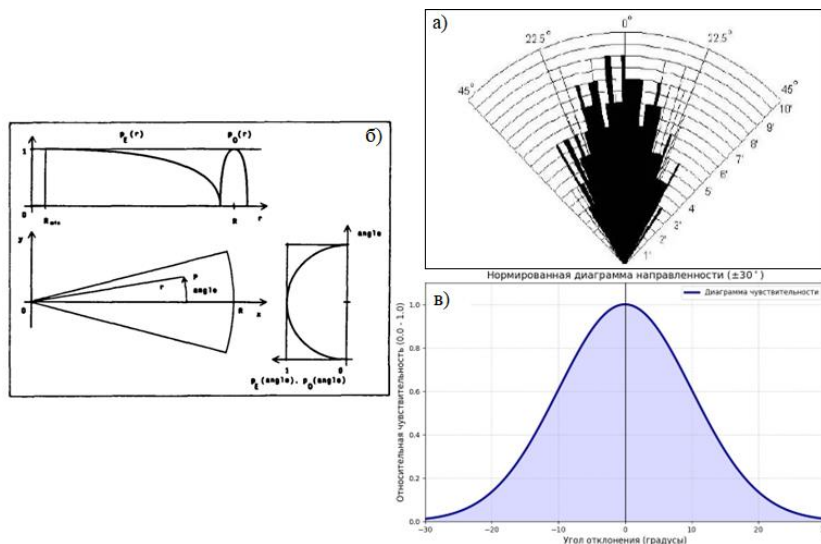


Рис. 2. Модель датчика: а) диаграмма направленности HC-SR04 [1]; б) вероятностные профили [2]; в) нормальное распределение вероятностей $P_O(\text{angle})$ для HC-SR04

Для работа с дифференциальным приводом положение можно определить, отталкиваясь от известного начального положения, путем интегрирования движения (суммирования инкрементальных перемещений). Обновлённая позиция робота:

$$p' = \begin{bmatrix} x_r' \\ y_r' \\ \theta' \end{bmatrix} = p + \begin{bmatrix} \Delta s \cdot \cos\left(\theta + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \\ \Delta s \cdot \sin\left(\theta + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \\ \Delta\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta s \cdot \cos\left(\theta + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \\ \Delta s \cdot \sin\left(\theta + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \\ \Delta\theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

Тогда координаты центральной точки конуса УЗ датчика в метрах:

$$\begin{cases} x_{obs} = x_r' + R \cdot \cos(\theta' + \alpha_{y3}) \\ y_{obs} = y_r' + R \cdot \sin(\theta' + \alpha_{y3}) \end{cases} \quad (2)$$

Где θ – угол рыскания робота, Δs – расстояние, пройденное центром робота, R – расстояние до препятствия, α_{y3} – угол поворота УЗ датчика относительно робота.

В качестве среды для виртуального моделирования выбрано программное обеспечение Webots, поскольку оно имеет развитые средства визуализации и открытую архитектуру. Мобильный робот тестировался в небольшом лабиринте с двумя косыми стенами, результаты моделирования представлены на рис. 3.

На рис. 4 представлено сравнение карты робота с эталонной картой, сравнение показывает, что робот строит карту с отклонением на 1-2 пикселя, что равняется ошибке в 15-30 мм. Карта, построенная роботом, выходит шероховатой из-за того, что робот рисует дугу, а не точку от каждого измерения. Появляются пробелы карты в углах, а также на наклонных стенках.

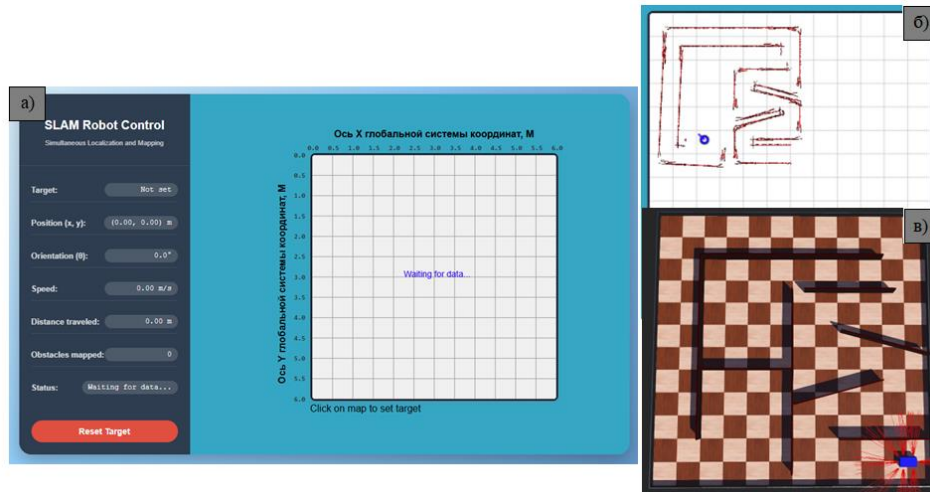


Рис. 3. Математическая модель в среде webots: а) интерфейс с оператором; б) карта, отрисованная роботом; в) исходное положение робота в мире

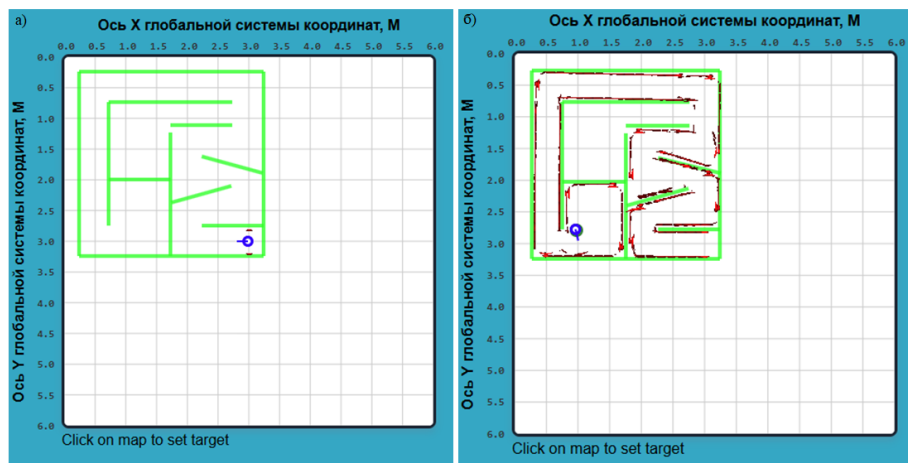


Рис. 4. Сравнение карты робота с эталоном: а) эталонная карта; б) наложение карты робота на эталон

Библиографический список:

1. Базыкин С. Н. Ультразвуковой дальномер для системы обнаружения препятствий при движении мобильного робота / С. Н. Базыкин, И. Н. Урваев // University proceedings. Volga region. Engineering sciences. – 2022. – № 4. – 11 с. – DOI: 10.21685/2072-3059-2022-4-8.
2. Moravec Н. Autonomous Mobile Robots Annual Report 1985 / Н. Moravec, А. Elfes. – 1985.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И АДДИТИВНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО РЕДУКТОРА

Страхов А.М.

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

Кафедра станков МГТУ «СТАНКИН»

Современное машиностроение переходит к цифровым двойникам и аддитивным технологиям, однако отсутствуют количественные данные о корреляции расчетных и фактических кинематических параметров зубчатых передач, изготовленных методом FDM из полимеров. Решение этой проблемы позволит ускорить разработку маломощных приводов для робототехники, приборов и малогабаритных транспортных систем. Объектом исследования является четырехступенчатый цилиндрический зубчатый редуктор с орбитальной компоновкой, а предметом - взаимосвязь кинематических и геометрических параметров цифровой модели с точностными характеристиками FDM-прототипа. Цель работы заключается в разработке и экспериментальной апробации сквозного цикла проектирования зубчатого редуктора, обеспечивающего работоспособность аддитивного прототипа. Для достижения цели были решены следующие задачи: кинематический и силовой расчет, параметрическое моделирование в T-FLEX CAD с модулем «Зубчатые передачи», виртуальная верификация анимацией, анализ технологических ограничений FDM-печати, изготовление образца и оценка его геометрической и кинематической точности [1,2].

Исходные кинематические параметры: частота вращения входного вала (расчетная) составляет 2760 об/мин, требуемая частота на выходе - около 28 об/мин, общее передаточное отношение $U=97$, количество ступеней - 4. Общий КПД редуктора $\eta_{общ}=0.885$. Оценка нагрузочной способности показала, что мощность на входе составляет 8-15 Вт, на выходе: 5,3-6,0 Вт, крутящий момент на входе - 27,7 Н·мм (при 8 Вт), на выходе: 780-820 Н·мм. Редуктор сохраняет работоспособность при моментах до 0,8 Н·м, причем для PLA+ прототипа режим нагружения является пусковым или кратковременным.

Параметрическое моделирование выполнено в среде T-FLEX CAD с использованием модуля «Зубчатые передачи», обеспечивающего генерацию геометрии с коррекцией. В сборке проведен контроль интерференций, назначены допуски и посадки в виртуальной среде. Верификация кинематики методом анимации позволила проверить согласованность угловых скоростей всех ступеней, выявить зоны возможного заклинивания и подтвердить корректность кинематических пар. В результате цифровая модель полностью верифицирована (рис. 1).

Для аддитивного производства выбран материал PLA+ (модифицированный полилактид), обладающий прочностью на разрыв 45-50 МПа, термостойкостью до 60°C и усадкой при печати 0,2-0,3%. Оборудование - принтер Bambu Lab A1 (FDM-технология). Технологические параметры: высота слоя 0,12 мм для зубьев и 0,2 мм для корпуса; ориентация деталей - ось вращения параллельно платформе для зубчатых колес, корпус ориентирован на платформе. Компенсация допусков выполнена путем увеличения бокового зазора на 0,1 мм относительно расчетного.

Экспериментальная оценка точности проводилась с учетом того, что для мелкозубчатых колес, изготовленных FDM-печатью, классическая оценка пятна контакта по краске неприменима из-за высокой шероховатости и упругости полимера. Вместо этого использован метод «контролируемой деформации»,

включающий изготовление колес с припуском $+0,05-0,1$ мм по профилю, сборку редуктора с регулируемым эксцентриситетом для плавного ввода в зацепление, вращение под малой нагрузкой с использованием ультратонкой абразивной пасты (притирка) и оценку пятна контакта после 50 циклов обкатки по площади притертого блестящего участка методом светоотражения. Для контроля геометрии применялся метод измерения по роликам (проволочкам). Использовались тонкая проволока (гитарная струна) диаметром 1,6-1,7 модуля, штангенциркуль или рычажная скоба. Проволока изгибалась «подковой» (буквой U) для жесткой фиксации во впадине зуба, как описано в патенте SU 1335799 [3]. Две проволочки одинакового диаметра укладывались во впадины зуба с противоположных сторон колеса (почти на 180°), измерялось расстояние между ними M . По разнице M в разных положениях колеса судили о биении и точности изготовления.

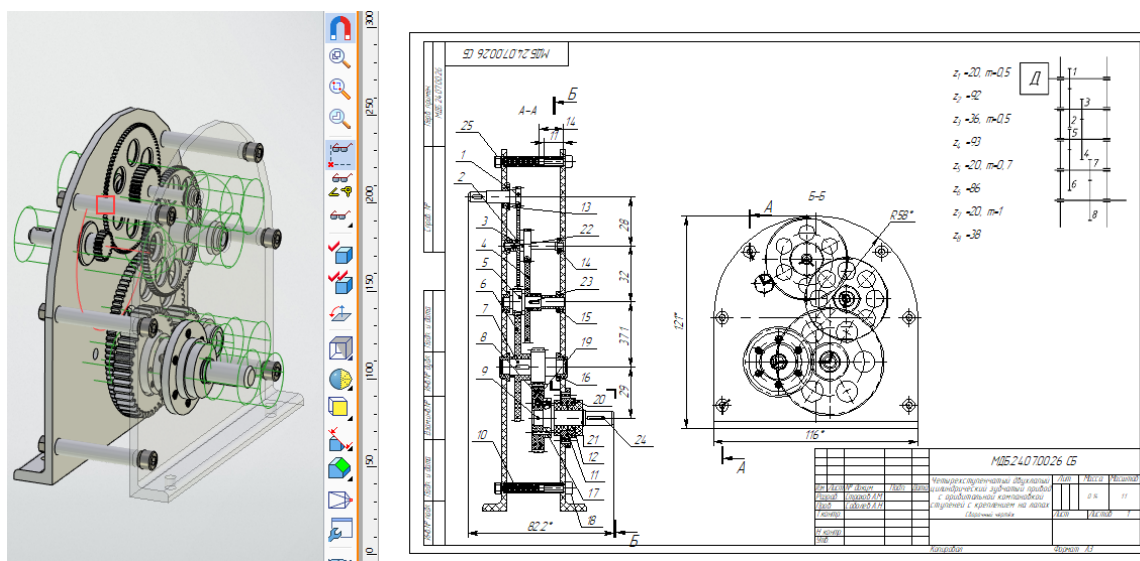


Рис. 1. Твёрдотельная модель редуктора в T-FLEX CAD

Испытания проводились в режиме холостого хода (вращение рукояткой) при нагрузке, создаваемой моментом холостого хода подшипников скольжения. Критерием служили плавность хода и отсутствие заклиниваний. Результаты испытаний: редуктор собран (8 колес, валы, корпус), вращение равномерное, заеданий не зафиксировано, подтверждена реализация передаточного отношения 97 (визуально по оборотам). Компенсация допусков ($+0,1$ мм к боковому зазору) обеспечила гарантированный зазор в зацеплении и работоспособность передачи.

По кинематике реализовано передаточное отношение $U=97$ с погрешностью менее $0,2\%$ от расчетного. Отклонения геометрических параметров PLA+ прототипов находятся в пределах $\pm 0,1$ мм, что приемлемо для малонагруженных передач. Ориентация оси колеса параллельно платформе минимизирует искажение профиля зуба. Прототип сохраняет работоспособность при моментах до $0,8$ Н·м (кратковременно). Таким образом, разработанный цикл «расчет-CAD-3D-печать» позволяет получать функциональные зубчатые передачи с прогнозируемыми кинематическими параметрами.

Научная новизна работы включает установленные количественные зависимости между расчетными параметрами зацепления и фактическими боковыми зазорами в PLA+ прототипах, определенные оптимальные режимы ориентации зубчатых колес при FDM-печати для минимизации искажений профиля зуба и экспериментально подтвержденную

работоспособность многоступенчатой передачи с $U=97$ при изготовлении методом 3D-печати. Практическая значимость полученных данных заключается в возможности их использования при проектировании маломощных зубчатых приводов, изготавливаемых аддитивными методами (робототехника, приборные устройства, малогабаритные транспортные системы, военная техника). Перспективы дальнейших исследований включают сравнительный анализ износостойкости PLA+, PETG и ABS-прототипов под циклической нагрузкой, определение критических частот вращения для полимерных зубчатых колес, разработку математической модели поправок на усадку для прямозубых цилиндрических колес и масштабирование методики на планетарные и волновые передачи.

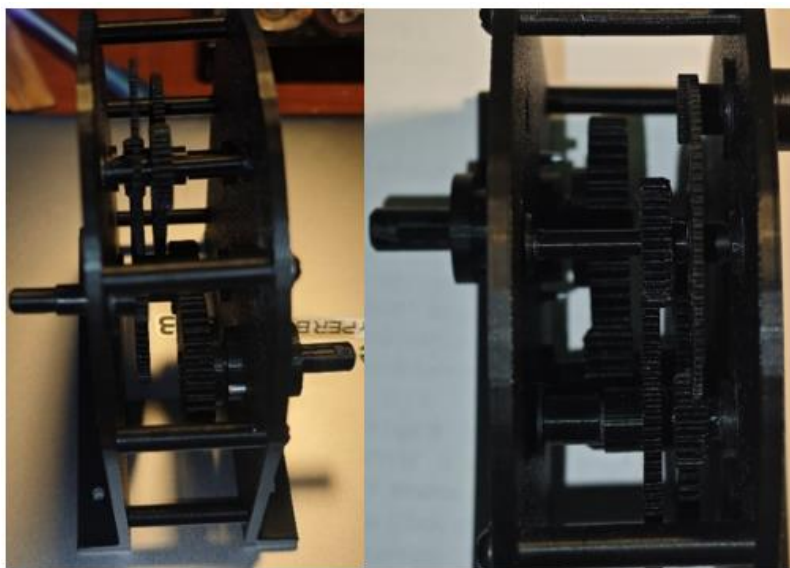


Рис. 2. Фото готового прототипа редуктора после сборки

Библиографический список:

1. Соболев, А. Н. Автоматизация кинематического и динамического анализа технологических машин / А. Н. Соболев, М. Г. Косов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2010. – № 2(10). – С. 85-89.
2. Бодягин А.В., Горелов А.В., Карбовский В.А., Морозова А.С., Орлянский В.Е., Печенкин В.М., Сачков А.В., Филонов Н.В., Якупова И.П. Атлас конструкций маломощных приводов: учеб. пособие. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2007. – 108 с.
3. SU 1335799 A1, МПК G01B 5/20, Устройство для контроля размера зубчатых колес / А.С. Гладков, В.И. Ермаков, В.А. Королев. — № 4028345/25-28 ; заявл. 12.03.1986 ; опубл. 07.09.1987, Бюл. № 33. — 4 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ ИМПОРТА ДАННЫХ ЧЕРТЕЖА ДЛЯ СЧПУ "АКСИОМА КОНТРОЛ"

Тараканов А.А.

Научный руководитель: Евстафиева С.В. – Старший преподаватель
Кафедра компьютерных систем управления МГТУ «СТАНКИН»

На машиностроительных предприятиях подготовка управляющих программ для токарной обработки по DXF-чертежам по-прежнему занимает заметное время. На практике технологу нередко приходится вручную разбирать геометрию контура, вычислять координаты опорных точек, учитывать сопряжения и затем переносить результат в программу для станка. Такая работа требует внимательности и опыта, а любая неточность на одном из этапов приводит к ошибкам в готовом G-коде. Поэтому задача автоматизации преобразования DXF-чертежа в управляющую программу остается актуальной, особенно для деталей со сложным профилем.

Разработанная система выполнена в виде WPF-приложения, которое принимает DXF-файл, анализирует его содержимое и формирует текст управляющей программы. После открытия файла приложение считывает примитивы LINE, ARC, CIRCLE и POINT, отображает их на рабочем поле, масштабирует чертеж под размер окна и дает пользователю возможность отредактировать контур перед генерацией G-кода. Такой подход позволяет сначала привести геометрию к нужному виду, а уже затем получать итоговую программу для обработки детали.

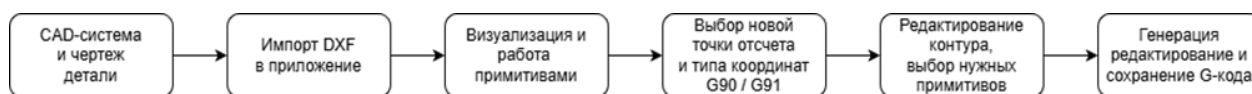


Рис. 1. Методика преобразования DXF-чертежа в G-код

На рисунке 1 показан типовой сценарий работы с системой. Сначала пользователь загружает DXF-чертеж в основное окно редактора, после чего анализирует геометрию и при необходимости удаляет лишние элементы. Затем формируется рабочий контур детали, задается точка отсчета, выбирается тип координат, а после этого открывается окно со сгенерированным G-кодом. В нем можно проверить результат, скопировать текст программы или сохранить его в файл для дальнейшей передачи на станок.

Преобразование DXF-чертежа в G-код в разработанной системе выполняется поэтапно. Сначала контур создается в САD-системе и экспортируется в формат DXF. Затем файл загружается в приложение, где его геометрия проходит визуальную проверку и, при необходимости, редактирование. После выбора нужных элементов система последовательно обрабатывает контур, определяет параметры перемещений и формирует управляющую программу в выбранной системе координат. Такая схема делает процесс более понятным для пользователя и уменьшает вероятность ошибок на этапе подготовки УП [1].

Формирование управляющей программы основано на последовательной обработке выбранных элементов контура. После задания новой точки отсчета координаты приводятся к рабочей системе, затем для каждого участка определяется его тип и подбирается соответствующая запись в G-коде. Прямые участки преобразуются в линейные перемещения, дуги — в команды круговой интерполяции с учетом направления обхода и геометрических параметров. На завершающем этапе программа

собирается в текстовом виде и выводится в отдельное окно для проверки, копирования или сохранения [2].

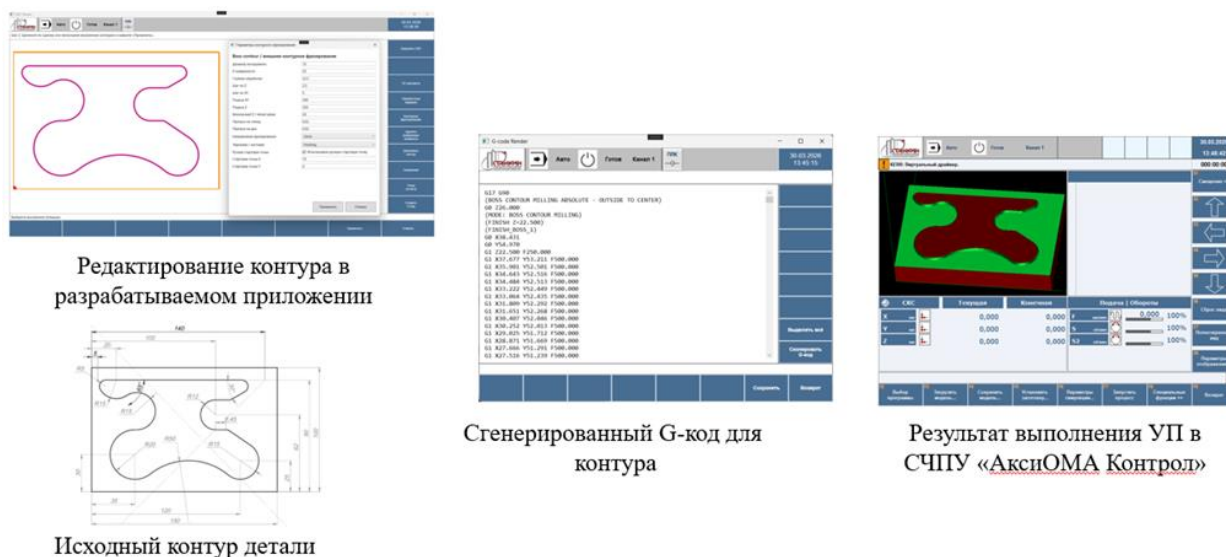


Рис. 2. Алгоритм формирования управляющей программы по выбранному контуру

Проведенное в рамках ВКР тестирование показало, что система корректно загружает DXF-файлы, отображает основные геометрические элементы, позволяет редактировать контур и формирует G-код для токарной и фрезерной обработки. Практическая ценность разработки состоит в том, что пользователь получает возможность сократить время подготовки управляющей программы и уменьшить объем ручных расчетов. Особенно это важно в тех случаях, когда контур содержит сопряжения, дуги и участки, которые неудобно переносить в код вручную.

Таким образом, разработанная система представляет собой специализированный инструмент для подготовки управляющих программ по DXF-чертежам. Ее использование упрощает переход от исходной геометрии к готовому G-коду, делает работу с контуром более наглядной и снижает зависимость результата от ручных вычислений.

Библиографический список:

1. Autodesk [Электронный ресурс]: офиц. сайт.// AutoCAD DXF file format documentation –Режим доступа: https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/developer-network/platform-technologies/autocad-dxf-archive/acad_r12_dxf.pdf
2. Сосонкин, В.Л. Системы числового программного управления: Учеб. пособие / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов – М. Логос, 2005. – 296 с.

РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНИЧЕСКОГО МУЛЬТИПЛИКАТОРА В СРЕДЕ T-FLEX PLM

Федотов Т.Г.

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

Необходимость восстановления конструкторской документации на импортное и устаревшее оборудование возникает на многих промышленных предприятиях; обратный инжиниринг при этом становится основным инструментом инженера, позволяющим по имеющемуся образцу или его аналогу создать полноценную цифровую модель. Конические мультипликаторы широко применяются в станкостроении, приводах высокоскоростных центрифуг, ветрогенераторах и специальном машиностроении; восстановление их геометрии и кинематики является практически значимой задачей. В данной работе решается задача обратного инжиниринга конического прямозубого мультипликатора с передаточным отношением $u=3$ и углом между осями 90° , имеющего два выходных вала. В качестве исходных данных использованы аналоги из атласов конструкций Цехновича [1], что соответствует типовой ситуации, когда точной документации на изделие нет, но имеются справочные материалы. Работа выполнена в системе T-FLEX PLM, которая позволяет вести параметрическое 3D-моделирование, использовать встроенные расчётные модули и библиотеки стандартных изделий, а также выпускать конструкторскую документацию в соответствии с ЕСКД.

Первым этапом обратного инжиниринга стал структурный анализ механизма: определена кинематическая схема «входной вал - коническая шестерня - коническое колесо - два выходных вала», выявлены типы опор (подшипники качения) и способ передачи крутящего момента (шпоночные соединения). Далее выполнено восстановление параметров зубчатого зацепления. По чертежам-аналогам определены числа зубьев: ведущая шестерня $z_1=26$, ведомое колесо $z_2=78$; передаточное отношение составило $u = 78/26 = 3$. Модуль зацепления подобран по стандартному ряду и принят $m=8$ мм. Ширина зубчатого венца составила $b=105$ мм; определены углы делительных конусов δ_1 и δ_2 . На этом этапе критически важно правильно идентифицировать тип зубьев (прямозубая коническая передача) и стандарт изготовления, чтобы последующее 3D-моделирование дало корректное зацепление.

Моделирование зубчатой передачи выполнено с использованием модуля «Зубчатые передачи» системы T-FLEX PLM (рис. 1). В диалоговом окне модуля последовательно введены следующие параметры: числа зубьев шестерни и колеса (26 и 78); модуль (8 мм); угол между осями (90°); ширина зубчатого венца (105 мм). После подтверждения ввода система автоматически произвела геометрический расчёт и построила эвольвентный профиль зубьев конической передачи. Данный модуль значительно ускоряет процесс обратного инжиниринга, так как избавляет конструктора от ручного построения сложных эвольвентных кривых и гарантирует правильность зацепления при заданных параметрах.

На основе полученных зубчатых венцов созданы трёхмерные твёрдотельные модели шестерни и колеса. Затем выполнена доработка моделей: добавлены элементы валов, выполнены шпоночные пазы для передачи крутящего момента, галтели и фаски для снижения концентрации напряжений. Все конструктивные элементы выполнены параметрически, что позволяет в дальнейшем оперативно изменять размеры при необходимости корректировки.

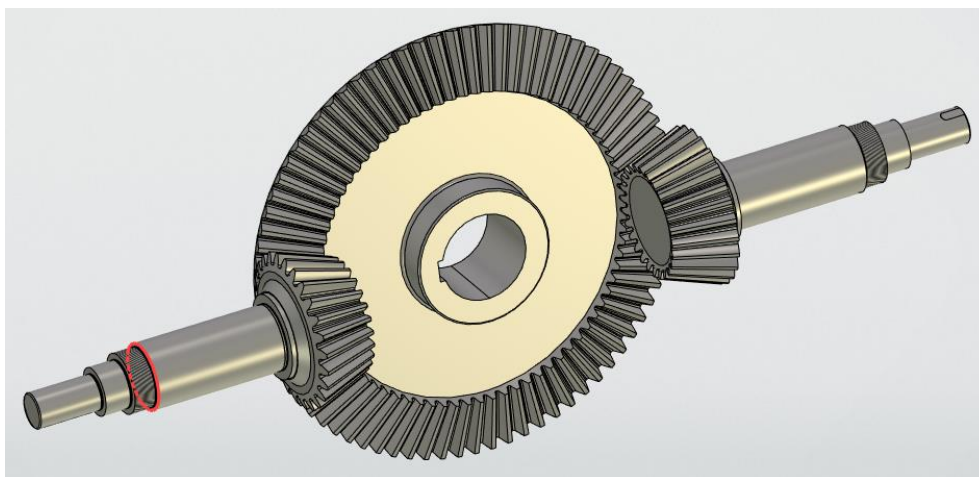


Рис. 1. 3D-модель конической шестерни (вид с двух сторон)

Следующий этап - сборка мультипликатора в среде T-FLEX PLM. Для правильной ориентации зубчатых колёс в пространстве использованы локальные системы координат (ЛСК), что позволило точно задать угол между осями 90° и межосевое положение. Стандартные изделия (подшипники, крепёжные детали, шпонки) установлены из встроенных библиотек системы, что исключает необходимость их самостоятельного моделирования и гарантирует соответствие ГОСТ. С помощью инструмента «Управление разборкой» создана разнесённая сборка (взрыв-схема), наглядно демонстрирующая состав и порядок сборки изделия (рис. 2).

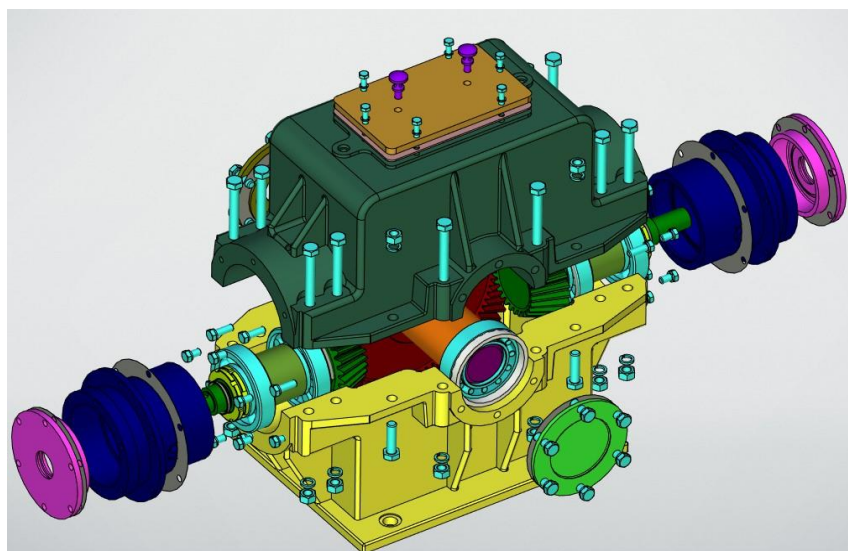


Рис. 2. Разнесённая сборка (взрыв-схема) конического мультипликатора

Для проверки работоспособности и корректности зацепления выполнен кинематический анализ [2]. В модуле «Анализ движения» созданы сопряжения типа «Колёса» с заданием передаточного отношения $u=3$. Запущен расчёт движения; в результате проверено отсутствие интерференции зубьев, подтверждена корректная передача вращения от входного вала к двум выходным. Дополнительно создана анимация работы механизма, позволяющая визуально оценить плавность зацепления и отсутствие заклинивания. Результаты кинематического анализа подтвердили, что восстановленная геометрия полностью соответствует заданному закону движения.

Итогом работы стал полный комплект конструкторской документации: сборочный чертеж общего вида с необходимыми разрезами и изометрией с вырезом четверти (рис. 3); спецификация в соответствии с требованиями ЕСКД; рабочие чертежи деталей (шестерни, колеса, валов, корпусных деталей). Таким образом, поставленная цель - восстановление цифровой модели и документации методом обратного инжиниринга - достигнута. Полученная модель и чертежи готовы к передаче в производство. Опыт работы показал высокую эффективность модуля «Зубчатые передачи» системы T-FLEX PLM для задач обратного инжиниринга конических редукторов и мультипликаторов: автоматический расчёт эвольвентной геометрии, параметрическая связь размеров и встроенные средства кинематического анализа позволяют сократить время проектирования в несколько раз по сравнению с ручным моделированием.

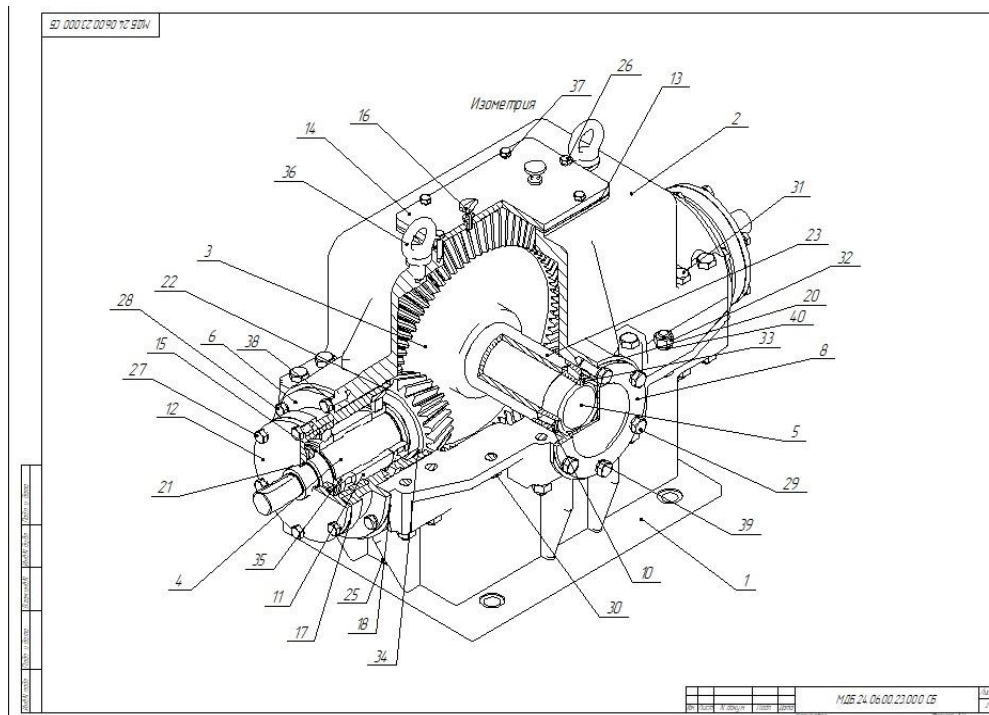


Рис. 3. Сборочный чертеж мультипликатора (общий вид с разрезом)

Библиографический список:

4. Цехнович, Л. И. Атлас конструкций редукторов : учеб. пособие / Л. И. Цехнович, И. П. Петриченко. – 2-е изд., перераб. и доп. - Киев : Выща шк., 1990. - 151 с.
5. Соболев, А. Н. Автоматизация кинематического и динамического анализа технологических машин / А. Н. Соболев, М. Г. Косов // Вестник МГТУ «Станкин. - 2010. – № 2(10). – С. 85-89.

Усовершенствование конструкции конической концевой фрезы

Язев А.М.

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

Кафедра инструментальной техники и технологии формообразования

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

Одной из особенностей конических концевых фрез является то, что при малых углах наклона конической образующей диаметр сферического торца может составлять менее 3 мм, что соответствует диапазону, характерному для микрофрез [4]. Основопологающим параметром является угол наклона винтовой линии конической фрезы [5].

Геометрические параметры инструмента зависят от уравнений винтовых линий. В зависимости от вида спирали стружечная канавка может характеризоваться как постоянным, так и переменным углом наклона винтовой линии. Так коническая винтовая линия с постоянным углом наклона образована за счет проецирования плоской логарифмической спирали на коническую поверхность (Рис. 1, А), а с переменным за счет проецирования плоской Архимедовой спирали (Рис. 1, Б).

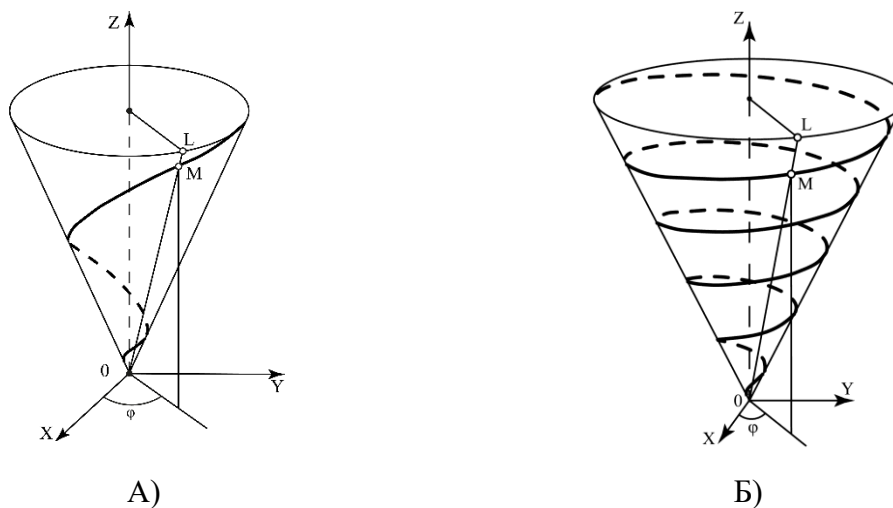


Рис.1. Виды конических винтовых линий. А) Коническая винтовая линия с постоянным углом наклона; Б) Коническая винтовая линия с переменным углом наклона

Важным геометрическим параметром конической фрезы является передний угол на периферии инструмента, а также форма передней поверхности. Для концевых фрез передним углом называется угол между касательной к передней поверхности зуба и осевой плоскостью, проходящей через точку режущей кромки, а измеряется в плоскости, перпендикулярной режущей кромке. Значение переднего угла оказывает существенное влияние на процесс формирования стружки, снижая ее деформацию и деформацию

обрабатываемой поверхности, а также определяет величину и распределение сил резания [6].

Величина переднего угла у конических концевых фрез изменяется вдоль режущей кромки. Так, например, у конической фрезы, для обработки импеллера производителя ISCAR, передний угол изменяется на 2 градуса вдоль режущей части длиной 6 мм, что приводит к неравномерному распределению нагрузки и преждевременному износу (Рис.2).

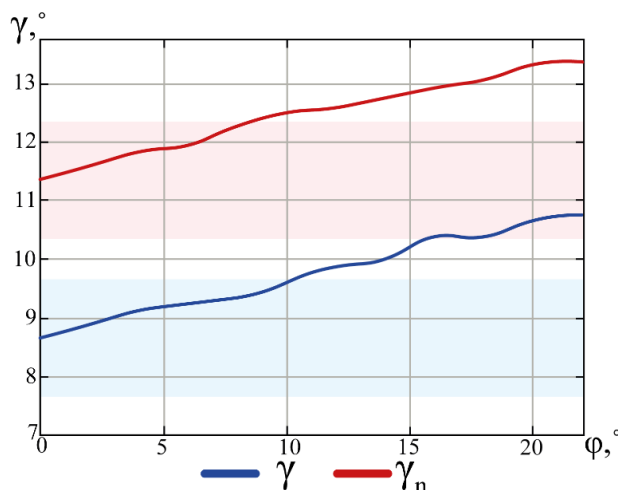


Рис.2. График изменения переднего угла у конической концевой фрезы зависимости от угла плоской спирали

С учетом недостатков существующих конструкций предложена модель конической фрезы с модифицированным участком стружечной канавки который регулирует передний угол. В предложенной модели винтовая линия формируется двумя участками и управляет геометрическими параметрами, как показано на схеме на рисунке 3. А.

Рассмотрев графики изменения нормальных передних углов у изготовленной фрезы по предложенной модели, была выявлена интересная зависимость что при малой величине изменения угла наклона винтовой линии наблюдается изменения нормального переднего угла в 2 градуса и наоборот при большей разнице начальных и конечных углов наклона винтовой линии нормальный передний угол изменяется незначительно в пределах допуска на 2 сотых градуса., как показано на графике на рисунке 3. Б.

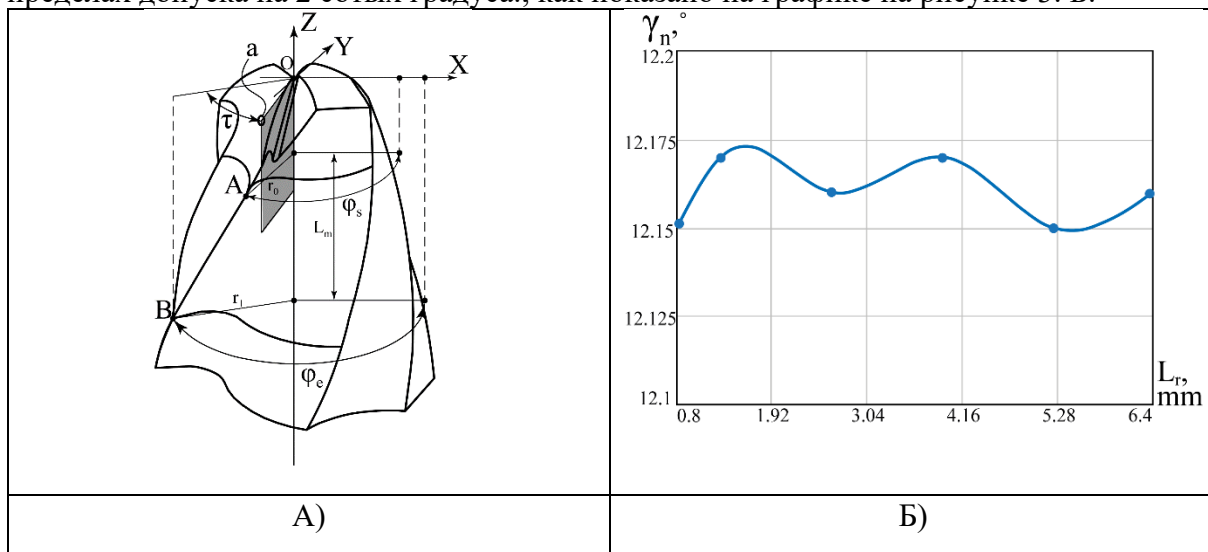


Рис.3. А) Схема модифицированного участка конической фрезы; Б) График изменения нормального переднего угла вдоль длины режущей части

Результаты измерений в САД-модели подтвердили, что на переходном участке АВ радиальный и нормальный передние углы изменяются плавно и в узких пределах, без выраженных скачков, что устраняет локальные зоны с резким ухудшением условий резания. Полученные данные могут быть непосредственно использованы при формировании схемы настройки заточного станка и расчёте траекторий шлифования стружечных канавок конических концевых фрез.

Настоящая работа может служить основой для более масштабного исследования, включающего экспериментальную верификацию предложенной модели на изготовленных образцах, анализ влияния геометрии переходного участка на распределение износа, силы резания и стойкость инструмента, а также интеграцию разработанных уравнений в цифровую систему проектирования и подготовки управляющих программ для пятикоординатного шлифования.

Библиографический список:

1. Pivkin P. M. [и др.] Grinding of Helical Surfaces on End Mills: Monitoring by Means of Optimal Tolerances // Russ. Engin. Res. 2024. Т. 44, № 11. С. 1613–1616.
2. Pivkin P. M. [и др.] A new algorithm for recreating the technological process of high-speed multicoordinate processing based on improving key indicators of image recognition. Strasbourg, France: SPIE, 2024. С. 70.
3. Songlin Ding, Yang D. C. H., Zhonglin Han. Flow line machining of turbine blades. Chengdu, China: IEEE, 2004. С. 140–145.
4. Wojciechowski S. Estimation of Minimum Uncut Chip Thickness during Precision and Micro-Machining Processes of Various Materials—A Critical Review // Materials. 2021. Т. 15, № 1. С. 59.
5. Grechishnikov V. A. [и др.] Preproduction of Conical End Mills on a Five-Coordinate CNC Grinding Machine: Theoretical Analysis // Russ. Engin. Res. 2025. Т. 45, № 5. С. 656–661.
6. Pivkin P. M. и др. Shaping Conical End Mills: A Critical Review // Russ. Engin. Res. 2024. Т. 44, № 6. С. 858–860.

Научное издание

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

Сборник докладов