СТАНКИН

Интеллектуальный анализ и оптимизация процессов обработки

ИИ-диагностика резания и мониторинг износа инструмента в реальном времени

Кафедра высокоэффективных технологий обработки (ВТО)
Лаборатория диагностики и мониторинга



Слева — П. Ю. Перетягин, справа — Я. И. Пимушкин

СОСТАВ КОЛЛЕКТИВА **2 человека: 2 кандидата технических наук**

Перетягин Павел Юрьевич — доцент, кандидат технических наук, руководитель научного направления

Пимушкин Ярослав Игоревич — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

Направление деятельности

Системы адаптивного управления процессами обработки и оптимизация режимов по сигналам датчиков в замкнутом контуре

Направление исследований

Управление физическими процессами металлообработки по замкнутому циклу

СТАНКИН

Пять технологий направления



01

Тепловой паспорт станка

Многократные испытания при нагреве и охлаждении дают типовые тепловые функции станка.

Прогноз расходится с экспериментом < 6 %*



02

Бездатчиковая компенсация

Постпроцессор считает тепловое поле по данным ЧПУ, без установки термодатчиков.

Тепловые смещения меньше в 6–10 раз*



03

Вероятностная коррекция

Поправка вводится, когда вероятность выхода погрешности за допуск достигает порога.

5–10 мин до рабочей точности вместо 1–2 ч*



04

Цепочка моделей pvdcalc

Процесс → свойства → резание → стойкость: расчёт покрытий и окна режимов резания.

133 модели и 127 эталонных задач



05

ИИ в контуре управления

Модель допускается к станку ступенями: от наблюдения до замкнутого управления.

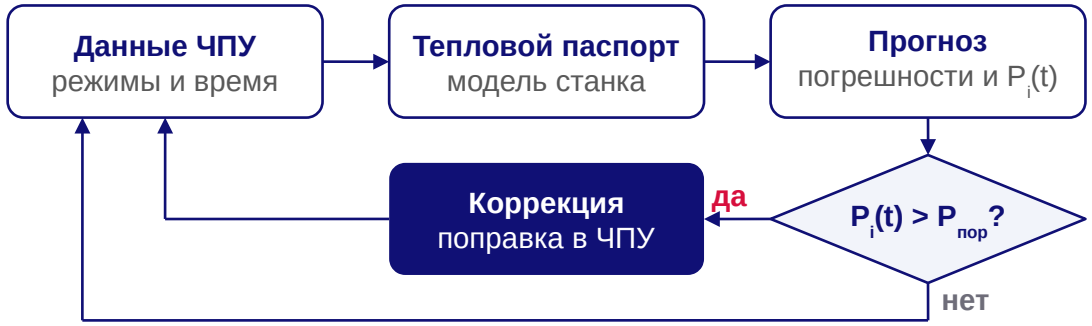
Независимый слой безопасности

Сигналы: Станок — данные ЧПУ; Процесс — сила резания · виброускорение · акустическая эмиссия · ток шпинделя

**Ключевые показатели проекта «Приоритет-2030»*

Компенсация тепловых погрешностей без термодатчиков

Система ЧПУ передаёт внутренние данные станка: частоту вращения шпинделя, время работы и простоя. Модель «теплового паспорта» переводит их в тепловое поле и прогноз погрешности, а поправки координат уходят на приводы в реальном времени.



$$P_i(t) = 0{,}5 + \Phi[(\Delta_i - M_{\delta U}(n_i)) / \sigma_{\delta U}(n_i)]$$

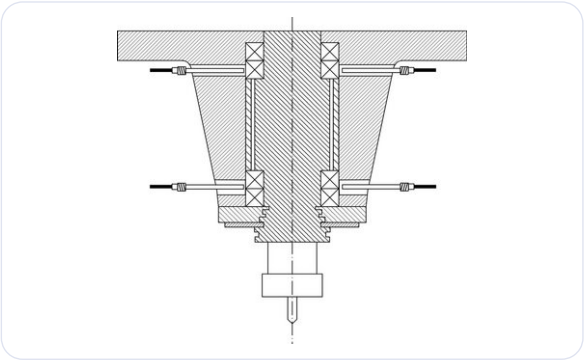
M — ожидаемая погрешность, σ — её СКО, Δ — допуск; патент № 2511075

Вероятностное управление коррекцией тепловой погрешности: алгоритм

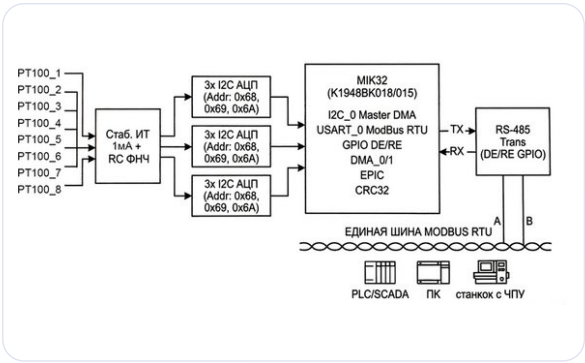
6–10 раз меньше тепловые смещения; на рабочую точность станок выходит за 5–10 мин вместо 1–2 ч



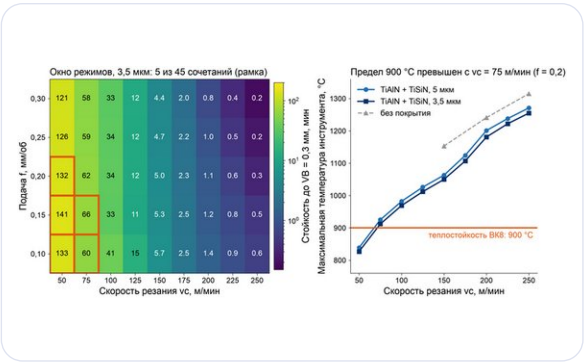
Шпиндельный узел станка



Размещение термометров PT-100



Структурная схема ИИС



pvdcalc: окно режимов точения 40Х

Лаборатория диагностики и мониторинга

- измерения: 8 термометров сопротивления PT-100 и ИИС
- программный комплекс pvdcalc 5.0 и настольный модуль 4.0
- следующий шаг — оптоволоконные решётки Брэгга в шпинделе
- [ЗАПОЛНИТЬ: станки и стенды лаборатории]

Центр «Искусственный интеллект в машиностроении»

Центр коллективного пользования МГТУ «СТАНКИН» на 2027–2030 гг.: модели ИИ проверяют на реальных станках — от научной гипотезы до промышленной технологии с подтверждённым эффектом. Заявка поддержана Минобрнауки России.



1 — процесс обработки
2 — данные сенсоров
3 — физически информированная модель
4 — безопасное воздействие на станок
5 — измерение эффекта «до» и «после»
6 — переносимость между станками

Сквозной цикл обучения и проверки модели ИИ

21 единица оборудования в 18 позициях, из них 17 — российского производства

Станочный и метрологический

2027: стенды на обрабатывающих центрах, ЧПУ с открытой архитектурой, КИМ, мультисенсорная регистрация

Робототехнический

2028: роботы с техническим зрением — межстаночная логистика и финишные операции

Аддитивный

2028: мониторинг лазерного плавления в кооперации с партнёрами

Данные и вычисления

2028: синхронный сбор данных, хранилище не менее 700 ТБ, обучение моделей

Задел МГТУ «СТАНКИН» для центра

- полигон опытного производства — около 8 тыс. м², 16 лабораторий
- 15 публикаций Q1–Q2 за 2021–2026 гг.
- собственная ЧПУ: до 32 осей, цикл до 100 мкс
- с 2029 г. — не менее 30 организаций-пользователей в год

ЭФФЕКТ

Что получает производство

Задача	Как обычно	Решение направления	Результат*
Тепловые погрешности станка	40–70 % всех погрешностей станков вызваны теплом	Тепловой паспорт станка и интеллектуальный постпроцессор	**Тепловые смещения меньше в 6–10 раз**
Выход на рабочую точность	Прогрев оборудования 1–2 часа	Прогноз теплового состояния по данным ЧПУ	**За 5–10 мин вместо 1–2 ч**
Точность без датчиков	Термодатчики и внешние измерения	Прогнозная термоэнергетическая модель и вероятностная коррекция	**Прогноз расходится с экспериментом менее чем на 6 %**
Стойкость инструмента с покрытием	Однослойные TiN, AlTiN, TiCN и CrN почти исчерпали резерв	(AlCrTiNbV)N на градиентном TiCrAlSiN, расчёт в pvdcalc	**Прогноз периода стойкости +38…104 % к TiN (расчёт)**
Трение в зоне контакта	ВК10 без покрытия: μ = 0,82 по стали 100Cr6	Многослойные покрытия на ВК10	**μ = 0,28–0,49 (измерено при 10 Н, 23 °С)**

Примеры из практики

- **ПАО «КАМАЗ»**
  квалифицированный заказчик ПНИ FSFS-2025-0011: покрытия для резания сталей 40Х и 40Х13
- **«Приоритет-2030»**
  проект бездатчиковой компенсации тепловых погрешностей станков
- **Минобрнауки России**
  поддержана заявка на центр «Искусственный интеллект в машиностроении»

**KPI проекта «Приоритет-2030» и результаты этапа 2 ПНИ FSFS-2025-0011*

ПРИМЕНЕНИЕ

СТАНКИН

Где применяются разработки направления

От компенсации погрешностей конкретного станка до испытаний систем ИИ на реальном оборудовании

Станки с ЧПУ

Компенсация тепловых погрешностей, выход на рабочую точность за минуты

Прессы, КИМ и роботы

Масштабирование компенсации на другие типы оборудования

Прецизионное станкостроение

Новое оборудование со встроенной компенсацией тепловых погрешностей

Оценка точности станков

Национальный стандарт оценки точности станков

Режущий инструмент

Износостойкие покрытия для точения и фрезерования сталей 40Х и 40Х13

Энергетика и транспорт

Прецизионные детали из жаропрочных и титановых сплавов, коррозионностойких сталей

Аддитивное производство

Мониторинг лазерного плавления

Вузы и предприятия

Доступ к оборудованию, испытания моделей ИИ, обучение специалистов

Указ № 529: ИИ в отраслях экономики | отечественные средства производства | материалы с заданными свойствами

Проекты, результаты и партнёры

Проекты направления

Госзадание FSFS-2025-0011 · ПНИ, этап 2 · выполняется
Многослойные износостойкие покрытия с высокоэнтропийным нитридным слоем
Заказчик — ПАО «КАМАЗ»; научный руководитель — П. Ю. Перетягин

Программа «Приоритет-2030»
Интеллектуализация станков: бездатчиковая компенсация тепловых погрешностей
Руководитель проекта — Я. И. Пимушкин

ЦКП · 2027–2030 · заявка поддержана Минобрнауки России
Центр «Искусственный интеллект в машиностроении»
Руководитель проекта создания центра — П. Ю. Перетягин

ПНИ: требования ТЗ и результаты этапа 2

Показатель	Требование ТЗ	Этап 2
Критическая нагрузка L_c	≥ 20 Н	30–32 Н на твёрдых сплавах (расчёт)
Коэффициент трения	0,5–0,6	0,28–0,49 по стали 100Cr6 (измерено)
Период стойкости	+20…100 %	+38…104 % к TiN (расчёт)
Скорость осаждения	1 мкм/ч	1 мкм/ч при 0,63–0,80 кВт (расчёт)

133
модели в каталоге pvdcalc

127
эталонных задач

38
моделей в цепочке для покрытия на ВК10

Заказчик: ПАО «КАМАЗ»
Развитие проекта: ОАО «НИИизмерения» · БИВЕРТЕХ · ГЦК — головной центр компетенций
Сеть: Консорциум «Национальная научно-образовательная сеть станкостроения»

Сотрудничество

1 Замкнутый контур управления

Адаптивное управление обработкой и оптимизация режимов по сигналам датчиков и данным ЧПУ.

2 Команда

Два кандидата технических наук: руководитель направления П. Ю. Перетягин и ведущий научный сотрудник Я. И. Пимушкин.

3 Опыт работы с индустрией

ПНИ в интересах ПАО «КАМАЗ»; проект «Приоритет-2030» по компенсации тепловых погрешностей станков.

4 Центр «ИИ в машиностроении»

Оборудование и данные для вузов и предприятий: услуги с 1 октября 2027 г., обучение специалистов с 2028 г.

Форматы

- доступ к оборудованию по заявкам и договорам
- совместные исследования на оборудовании и данных центра
- своё оборудование в общем контуре центра
- испытание моделей ИИ по методике «до» и «после»
- открытые бенчмарки — обезличенные данные проектов
- обучение специалистов: ДПО и повышение квалификации

Контакты

Перетягин Павел Юрьевич — руководитель направления, к.т.н. · p.peretyagin@stankin.ru · +7 917 540-72-65
127055, Москва, Вадковский пер., д. 3А · stankin.ru · kafedravto.stankin.ru