

В диссертационный совет 99.2.072.02,
созданный на базе Саратовского
государственного технического
университета им. Гагарина Ю.А.,
Волгоградского государственного
технического университета
400005, г. Волгоград, проспект
им. В. И. Ленина, 28

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Крайнева Дмитрия Вадимовича «Методология построения функционально-ориентированных интеллектуальных технологических систем механической обработки», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.5.6. Технология машиностроения и 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Актуальность избранной темы обусловлена комплексом взаимосвязанных технологических, экономических и организационных вызовов, стоящих перед современным машиностроением в эпоху цифровой трансформации, обозначаемой концепцией Индустрия 4.0. Глобальная тенденция к созданию гибких, роботизированных и интеллектуальных производств требует принципиально новых подходов к управлению основными технологическими процессами, ключевым из которых остается лезвийная обработка. Однако наблюдается фундаментальное противоречие между высоким уровнем программного управления станками с ЧПУ и крайне ограниченными возможностями последних по оперативному контролю и адаптивной коррекции непосредственно процесса резания в реальном времени. Современное серийное оборудование, как правило, лишено встроенных средств перманентного мониторинга физико-механического состояния технологической системы – режущего инструмента, заготовки, узлов станка.

Это приводит к невозможности гарантированного управления формированием комплекса эксплуатационных свойств обрабатываемого изделия, таких как точность геометрии, параметры шероховатости и характеристики поверхностного слоя. Существенным усугубляющим фактором является присущая материальным потокам производственная вариативность – значительный технологический разброс физико-механических и теплофизических свойств как инструментальных материалов (даже в рамках одной партии), так и обрабатываемых заготовок. Данная неопределенность исходной информации делает неэффективным применение жестких, заранее назначенных режимов резания, ведет к неоптимальному

использованию дорогостоящего инструмента, росту брака, незапланированным простоям оборудования и, как следствие, снижению общей экономической эффективности производства.

Таким образом, возникает острая потребность в научно обоснованной методологии, позволяющей трансформировать традиционный металлорежущий станок в интеллектуальную технологическую систему. Такая система должна быть способна на основе непрерывного многоканального мониторинга и анализа физических сигналов процесса (силы, вибрации, термо-ЭДС) осуществлять адаптивное управление, компенсируя производственную вариативность и обеспечивая стабильное высокое качество обработки. Разработка такой методологии, интегрирующей знания о физике резания, методы диагностики и принципы цифрового производства, представляет собой актуальную научно-техническую проблему, решение которой имеет важное народнохозяйственное значение для повышения конкурентоспособности отечественного машиностроения.

Общие сведения о диссертации.

Диссертационная работа Д.В. Крайнева состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 287 наименований и двух приложений. Работа изложена на 312 страницах машинописного текста, включает 79 рисунков и 79 таблиц.

Во введении изложены актуальность избранной темы, цель и задачи исследования, научная новизна, научная и практическая значимость работы.

В первой главе проведен комплексный анализ состояния технологической подготовки многономенклатурного производства, проблем управления операцией механической обработки и возможностей цифровых технологий. Сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе подробно описаны методические основы и экспериментальная база исследований, включающая современное металлорежущее оборудование, средства диагностики (динамометрия, виброметрия, измерение термо-ЭДС, профилометрия) и методы статистической обработки данных, что обеспечивает достоверность полученных результатов.

В третьей главе рассмотрены фундаментальные закономерности процесса резания и износа инструмента. На основе комплексных экспериментальных исследований выявлены и количественно оценены взаимосвязи между вариативностью свойств контактной пары «инструмент–заготовка», режимами обработки, силовыми и вибрационными сигналами, параметрами качества поверхности и износом инструмента. Обоснована эффективность многоканальной диагностики.

В четвертой главе разработана методика оптимизации порядка восстановления лезвийного инструмента и приведены примеры назначения оптимального порядка восстановления лезвийного инструмента для различных моделей износа.

В пятой главе разработаны концептуальные основы интеграции интеллектуальной системы в цифровую среду предприятия. Предложена архитектура цифровой модели технологической подготовки производства и детально разработана концепция «Электронного паспорта инструмента» как ключевого элемента сквозного управления ресурсом.

В приложениях представлены исходные статистические данные по износу лезвийного инструмента в процессе работы и акты внедрений результатов работы.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Разработана методология непрерывного многоканального мониторинга состояния технологической системы на основе комплексного анализа сигналов различной физической природы (термо-ЭДС, силы резания, вибрации), обеспечивающая возможность адаптивного управления процессом обработки и стабилизацию его результатов.

2. Выявлена и верифицирована система количественных взаимосвязей между технологическими условиями обработки, свойствами материалов контактной пары, динамикой изнашивания инструмента и параметрами качества обработанной поверхности.

3. Предложена концепция и разработана информационная структура «Электронного паспорта инструмента» как сквозного цифрового объекта, обеспечивающего накопление данных об эксплуатации, остаточном ресурсе и интеграцию в контур цифрового производства (CAM/MES/ERP).

4. На основе выявленных закономерностей сформирована функциональная архитектура и алгоритм интеллектуальной системы адаптивного управления формированием комплекса эксплуатационных свойств изделия, интегрированной в цифровую среду предприятия.

Научная и теоретическая значимость результатов диссертационной работы

Научная значимость результатов исследования определяется существенным расширением и углублением теоретических представлений о процессах механической обработки в контексте цифровой трансформации производства. В частности, предлагаемая методология многоканального мониторинга, базирующаяся на синхронном анализе сигналов термо-ЭДС, силовых и вибрационных характеристик, представляет собой новый этап в развитии теории адаптивного управления процессом резания. Она формализует переход от статического назначения режимов к динамической корректировке на основе физической обратной связи в реальном времени.

Кроме того, работа углубляет системное понимание взаимосвязей в системе «станок-приспособление-инструмент-заготовка». Установленные и количественно описанные комплексные зависимости между вариативностью свойств контактной пары, диагностическими сигналами, кинетикой износа и параметрами качества поверхности вносят непосредственный вклад в теорию

надежности технологических систем и теорию формирования качества при лезвийной обработке. Разработанная концепция «Электронного паспорта инструмента» формирует теоретическую основу для создания сквозных цифровых двойников инструмента, интегрируя физические модели его деградации в информационный контур предприятия, что способствует развитию теории цифрового производства. Важным аспектом является научное обоснование методологии снижения технологической неопределенности через комплексную предварительную и оперативную диагностику, что вносит вклад в теорию принятия решений в условиях стохастичности исходных данных.

Теоретическая значимость работы проявляется в создании целостного методологического аппарата, служащего основой для последующих исследований. Разработанные математические модели, устанавливающие связи между диагностическими параметрами, критериями износа и качества, формируют новый инструментарий для теоретического анализа и оптимизации процесса резания. Предложенные функциональная архитектура и алгоритм работы интеллектуальной системы задают теоретический фундамент для построения адаптивных контуров управления в механообработке. Полученные результаты формируют научные предпосылки для развития таких направлений, как предиктивная аналитика ресурса оснастки, создание самонастраивающихся технологических систем и внедрение гибких систем нормирования. Таким образом, диссертационное исследование вносит весомый интегральный вклад в развитие технических наук, закладывая теоретический базис для перехода к интеллектуальным, адаптивным и цифровым производственным системам нового поколения.

Практическая ценность диссертационной работы подтверждается разработкой функциональной схемы и практических рекомендаций по реализации системы адаптивного управления, структурой электронного паспорта инструмента, а также методиками оперативной оценки работоспособности инструмента и корректировки норм времени. Внедрение результатов способствует снижению затрат на инструмент, повышению безаварийной работы оборудования и общей эффективности производства.

Достоверность и обоснованность результатов, представленных в диссертационной работе, подтверждается комплексным подходом, применением современных методов теоретического и экспериментального исследования, планированием экспериментов, статистической обработкой данных и их сопоставлением с известными научными положениями. Полученные результаты вполне согласуются с литературными данными.

Апробация результатов диссертационной работы. Результаты работы апробированы на международных и всероссийских научно-технических конференциях и семинарах различного уровня.

Основные результаты диссертационной работы отражены в 108 публикациях, в том числе в 47 статьях в журналах из перечня ВАК Минобрнауки России и 14 статьях в изданиях, индексируемых в

информационно-аналитических системах научного цитирования Web of Science и Scopus. Получено 18 охранных документов. Опубликовано 3 монографии.

Реализация в промышленности. Основные теоретические и практические результаты работы внедрены в АО «Федеральный научно-производственный центр «Титан-Баррикады», г. Волгоград, ОАО «Волгограднефтемаш», г. Волгоград и ООО «Автоматизированные машиностроительные системы», ст. Голубинская, Калачевский р-н, Волгоградская область.

Комплексный подход к решению поставленных задач, применение современных методов и средств исследований, согласованность результатов исследований, полученных различными методами, аргументированность выводов убедительно свидетельствуют об **обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач, разработке методологии многоканального мониторинга и адаптивного управления, планировании, постановки и проведении комплекса экспериментов с использованием термо-ЭДС, динамометрических и вибрационных измерений, математической обработке данных, построении регрессионных моделей, создании алгоритмов и структуры электронного паспорта инструмента, а также формулировки всех выносимых на защиту положений, выводов и практических рекомендаций.

Из анализа опубликованных работ следует, что положения диссертационной работы опубликованы лично автором в ведущих журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Замечания по диссертационной работе

1. В разделе 2.2 на с. 81 представлен обширный перечень статей и инструментов, однако отсутствует четкое объяснение, почему выбраны именно эти марки статей и пластин.

2. Характер графиков составляющей силы резания P_y на рис. 3.22-3.24 не меняется в процессе обработки и значение составляющей силы резания P_y не стремится к 0 перед началом и после окончания обработки. Такое поведение составляющей силы резания P_y требует дополнительных пояснений.

3. График уровня вибрации для износа по задней поверхности $h_3=0,27$ мм на рис. 3.36, а на с. 181 и для износа по задней поверхности $h_3=0,31$ мм на рис. 3.36, б на с. 182 выглядит как белый шум и требует дополнительных пояснений.

4. Предложенная в разделе 4.2 концепция электронного паспорта инструмента требует более четкого обоснования отличий и преимуществ в отличие от современных TDM (Tool Data Management) систем, упомянутых на с. 64 диссертации.

5. На с. 226 диссертации сигнал термо-ЭДС выбран как управляемый технологический фактор вместе с продольной подачей и скоростью резания, что требует дополнительного уточнения, так как в разработанной методологии оценки работоспособности и ресурса режущего инструмента (раздел 4.2 диссертации) термо-ЭДС используется для сортировки СМНП и их кластеризации. При этом на с. 155 диссертации указано, что термо-ЭДС зависит от интенсивности тепловыделения, в свою очередь зависящего от, в том числе, режимов обработки, а данные о взаимной независимости факторов (табл. 5.2-5.7) вызывают серьезные сомнения. Представленные нулевые значения коэффициентов корреляции (0,0000) выглядят статистически маловероятными для реального технологического процесса. Не указан метод округления, не приведены доверительные интервалы. Возможно, имеет место методическая ошибка при расчете или представлении данных.

Учитывая зависимость термо-ЭДС от режимов обработки и тот факт, то она зависит от материала и конструктивных особенностей СМНП, математическая модель, представленная на с. 233, либо должна иметь более сложный вид, либо целесообразнее заменить ее на гамму моделей в зависимости от кластеризации СМНП по уровню термо-ЭДС.

6. Применимость полученных моделей поставлена под сомнение самими результатами. В таблице 5.37 указано, что относительная погрешность линейной и показательной моделей превышает 200 %, а степенной – 52 %. Можно ли считать модель с погрешностью >50 % практически полезной для прогнозирования? Тезис о «существенном влиянии» силовых факторов (с. 251) выглядит неубедительным на фоне такой ошибки.

7. Разброс в качестве моделей для разных материалов (40X, 40X13, 08X21H6M2T) не получил объяснения. Почему для одной стали наилучшей является линейная модель, а для другой – степенная? Связано ли это с разной природой износа или со спецификой вибрационных процессов? Этот анализ отсутствует.

8. Эксперименты проводились на ограниченной номенклатуре сталей и инструментов. Какова универсальность предложенных моделей для других групп материалов (например, цветные металлы, закаленные материалы, композиты)?

9. В работе используются регрессионные модели, но недостаточно раскрыта их устойчивость к изменчивости производственных условий (например, при изменении партии инструмента или заготовки).

Приведенные замечания не снижают научной новизны, практической ценности полученных результатов и общей положительной оценки диссертационной работы в целом.

Заключение. Диссертационная работа Крайнева Дмитрия Вадимовича «Методология построения функционально-ориентированных интеллектуальных технологических систем механической обработки»

является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной проблемы построения интеллектуальных технологических систем для обеспечения стабильности и качества механической обработки в условиях цифрового производства, имеющей важное хозяйственное значение, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842. Автореферат достаточно полно отражает ключевые моменты данной диссертационной работы.

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 2.5.6. Технология машиностроения в части п. 3 и п. 10 и 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки в части п. 1 и п. 6.

На основании вышеизложенного считаю, что данная диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор Крайнев Дмитрий Вадимович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальностям 2.5.6. Технология машиностроения и 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

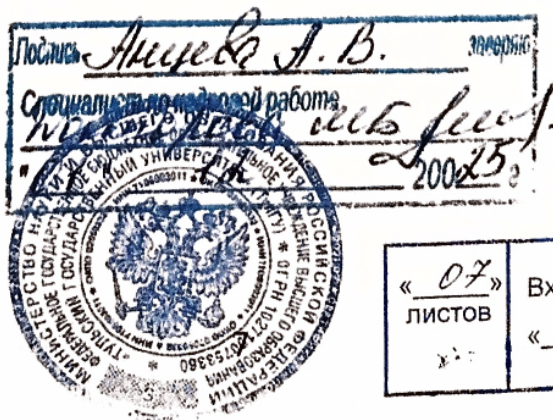
Официальный оппонент
доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой
«Машиностроение и материаловедение»
ФГБОУ ВО «Тульский
государственный университет»,
специальность 05.02.07 –
«Технология и
оборудование
механической и физико-
технической обработки»

Анцев Александр Витальевич
тел. 8(4872)73-44- 85
E-mail: a.antsev@yandex.ru

01.12.2025

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Тульский государственный университет»
(ФГБОУ ВО ТулГУ)

300012, г. Тула, пр. Ленина, д.92



С отзавден
означено
03.12.2025

« 07 »	Вх. № 0.15-65-206
ЛИСТОВ	« 02 » 12 2025.
	ВолгГТУ