

ФГБОУ ВО

"Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А."

(СГТУ имени Гагарина Ю.А.)

410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Телефон: (8452) 99-86-30

E-mail: tms@sstu.ru

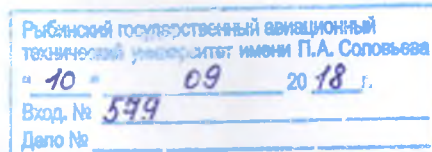
ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Янкина Игоря Николаевича на диссертационную работу
Шатагина Дмитрия Александровича «Повышение динамической
устойчивости процесса резания на основе подходов нелинейной
динамики и искусственного интеллекта», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической
и физико-технической обработки

Актуальность диссертации.

Тенденция автоматизации современного производства требует создания нового технологического оборудования, способного автоматически настраиваться под конкретные условия резания и обеспечивать высокое качество обработки. С ростом геометрической точности станков и точности технологических движений обеспечение качества обработки все более и более становится зависимым от качества процесса резания, где на первый план выходят динамические явления, образующиеся при движении режущих элементов инструмента в слое обрабатываемого материала.

Процесс резания протекает через нелинейные процессы упруго-пластического деформирования материала заготовки, поэтому подсистема инструмента и подсистема заготовки, связанные процессом резания, образуют классическую автоколебательную систему. Автоколебания при резании и их роль в обеспечении качества обработки остается объектом внимания многих известных ученых на протяжении многих десятков лет. Создано ряд автоколебательных моделей и подходов к описанию механизма автоколебаний при резании, однако они базируются на учете отдельных специфических особенностей процесса резания при различных видах обработки. До сих пор отсутствует единая, универсальная и поддерживаемая всеми учеными теория, объясняющая физическую природу автоколебаний при механической обработке, механизм образования и поддержания автоколебаний, взаимосвязь автоколебаний с условиями движения режущих элементов инструмента в слое обрабатываемого материала и т.д. Это указывает на необходимость проведения дальнейших исследований в области динамики процессов резания с использованием новых научных знаний и современных информационных технологий. Целью представленной работы является повышение эффективности лезвийной обработки путем управления динамической устойчивостью процесса резания на основе подходов нелинейной динамики и искусственного интеллекта, что указывает на актуальность темы.



Научная новизна и новые результаты.

К числу основных научных результатов, определяющих научную новизну диссертационного исследования, относятся следующие положения:

1) В работе развиты аналитические методы исследования динамики системы резания как автоколебательного процесса и опирающиеся на атомно-дислокационное представление деформационных процессов в зоне стружкообразования и нелинейные структурные изменения материала заготовки при движении в ней режущего клина инструмента.

2) Исследование динамической устойчивости процесса резания выполнено на основе комплексного подхода с использованием методов нелинейной динамики и фрактального анализа с разработкой системы показателей оценивания сигнала колебательного процесса, возбуждаемого в зоне резания, и включающей:

- алгоритм реконструкции аттрактора, позволяющего вычислить его размерность и оценить степень хаотичности динамической системы резания;
- показатель информационной энтропии сигнала, позволяющего оценить степень наполнения сигнала случайными составляющими;
- старший показатель Ляпунова, позволяющего выполнить оценку степени устойчивости динамической системы резания.

3) Результаты экспериментального исследования влияния условий резания в виде геометро-кинематических характеристик движения режущего клина инструмента, материала заготовки, трибологических характеристик материала инструмента, жесткости элементов системы резания на динамическую устойчивость процесса резания.

4) Алгоритмы управления динамической устойчивостью процесса резания, реализованные в виде нейросетевой модели, позволяющие моделировать динамику процесса резания и выбирать оптимальные режимы обработки.

Достоверность полученных результатов.

Достоверность полученных результатов подтверждается:

1) тщательностью проработки методики проведения экспериментальных исследований;

2) применением в экспериментальных исследованиях набора твердосплавных пластин с различными режущими свойствами (ВК6, Т15К6, с наноструктурированным покрытием);

3) применением набора материалов с различной степенью обрабатываемости (сталь 45, 12Х18Н10Т, титановый сплав ВТ8);

4) использованием для регистрации колебаний известных и новых широкого распространения типов измерительных преобразователей с встроенной электроникой, имеющих сертификат качества и прошедших поверку;

5) корректной методикой обработки регистрируемого сигнала колебаний, основанной на:

- использовании известных алгоритмов спектрального преобразования (быстрое преобразование Фурье);

- выделении из спектра колебаний полезных (автоколебательных) составляющих путем фильтрации частот вынужденных колебаний, рассчитываемых по кинематическим характеристикам станка;
 - удалении из сигнала высокочастотных составляющих, присущих пьезоэлектрическим преобразователям, с использованием известных методов вейвлет-фильтрации;
- 6) использованием программного обеспечения, прошедшего тестирование на сигналах с известными параметрами;
- 7) согласованностью полученных результатов с основными положениями теории резания и динамики механической обработки.

Практическая ценность работы.

В ходе решения задач диссертации автором разработаны и нашли практическое использование следующие результаты:

1) автоматизированная система управления динамической устойчивостью процесса резания, позволяющая в реальном времени отслеживать динамическое состояние процесса резания;

2) база данных о векторах технологических параметров и динамического состояния процесса резания, используемая в интеллектуальной системе управления динамической устойчивостью процесса резания;

3) конструкция запатентованного токарного резца с встроенной электроникой, позволяющая по беспроводному каналу передавать информацию о колебаниях в системе резания в интеллектуальную систему управления станком;

4) состав наноструктурированного покрытия режущих элементов инструмента, обеспечивающего его высокие антифрикционные свойства и позволяющие повысить динамическую устойчивость процесса резания.

Содержание.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы, содержит 82 рисунка и 2 таблицы. Общий объем диссертации 159 страниц, включая приложения на 10-ти страницах, в которых приведены алгоритмы и блок-схемы обработки сигнала из зоны резания, базы данных, программы реализации интеллектуальной системы анализа и прогнозирования динамической устойчивости системы резания, документы, подтверждающие использование результатов работы на производстве и в учебном процессе.

Следует отметить, что в диссертации на основе изучения состояния исследований в области динамики процессов резания, изложенного в *первой* главе диссертации, теоретически верно выбран информативный источник о динамическом состоянии процесса резания – сигнал колебаний из зоны резания. Действительно, колебания, возбуждаемые в зоне резания, являются реакцией станка на возмущающий характер процесса резания в соответствии с его динамическими характеристиками. Поэтому такой сигнал содержит емкую информацию и основной задачей является извлечение ее полезных составляющих. Считаю, что в диссертации она решена достаточно корректно в виде методики, изложенной во *второй* главе диссертации. В качестве основных показателей оценки динамики

процесса резания обоснованы: спектр колебаний, фрактальная размерность аттрактора, информационная энтропия сигнала и старший показатель Ляпунова.

В *третьей* главе диссертации изложена методика и ход проведения экспериментальных исследований. Приведены основные результаты многофакторного эксперимента о влиянии режима обработки, материала заготовки, геометрии режущей части инструмента, величины вылета инструмента и жесткости заготовки на различных участках удаления от мест крепления на вектор динамических параметров системы резания.

В *четвертой* главе диссертации на основе анализа результатов экспериментального исследования автором развивается теория запаздывания изменения силы резания от изменения толщины среза, что обосновывается структурными перестройками в деформируемом материале. На основе анализа экспериментальных данных и опираясь на известные работы автор приходит к выводу о том, что при деформировании материала заготовки в условиях сильного взаимодействия дислокаций происходит самоорганизация деформационного процесса. Структурные перестройки носят периодический характер и представляют собой волновой автоколебательный процесс, параметры которого определяются преимущественно свойствами материала заготовки. На основе анализа процесса стружкообразования показано, что фазовый сдвиг силы резания можно рассчитать по длине контакта стружки с передней поверхностью инструмента и коэффициенту усадки стружки. Получены результаты, показывающие, что уменьшение длины передней поверхности инструмента ведет к повышению динамической устойчивости процесса.

На основе теории гидродинамики установлено, что волновые процессы в зоне резания могут образовываться не только за счет деформирования материала детали, но и процесса трения стружки о переднюю поверхность инструмента, что может приводить к переходу системы резания в хаотическое состояние.

В *пятой* главе диссертации рассмотрены возможные пути повышения устойчивости процесса резания. В основе предлагаемых решений лежит учет динамического состояния конкретного технологического оборудования на основе создания и использования индивидуального "динамического паспорта" станка. Указанное направление предложено реализовать в виде создания "интеллектуальной системы управления устойчивостью процесса резания" с использованием нейросетевых технологий. Предложенная нейросетевая модель позволяет определять оптимальный режим обработки и выполнять диагностику процесса резания в реальном времени. В основу функционирования нейронной сети положена оценка динамического состояния системы резания по разработанным в диссертации алгоритмам. Условия обработки задаются вектором технологических параметров и параметрами обрабатываемой детали. Для удобства функционирования системы предложена запатентованная конструкция резца с встроенной электроникой, система бесконтактной передачи данных на удаленный вычислительный сервер с технологией высокоскоростной обработки данных.

В качестве второго направления повышения динамической устойчивости процесса резания предложено использовать износостойкое покрытие режущих элементов резца с регламентированным составом. Оба направления подтверждены патентами и показали высокую эффективность.

Замечания и пожелания:

При изучении диссертации и автореферата возникли замечания, которые можно разделить на две группы – по существу работы и по технике проведения эксперимента.

Замечания первой группы.

1) В автореферате диссертации делается вывод о том, что "механизм автоколебаний слабо изучен". Вместе с тем, за длительные годы изучения автоколебаний можно насчитать, по крайней мере, десяток подходов к описанию механизма и моделей автоколебаний, опирающихся на специфические особенности процесса резания. В этой связи корректнее было бы использовать термин "недостаточно изучен" вместо "слабо изучен".

2) Основным информационным источником колебаний в экспериментальных исследованиях являлся датчик, установленный на суппорте станка. Таким образом, подсистеме инструмента заранее отведена роль доминирующей колебательной системы. Однако при изменении условий обработки доминирующая роль может переходить к другим колебательным системам станка, что может приводить к существенной перестройке колебательного процесса и потере логики исследования.

3) В диссертации (стр.70) утверждается, что "силы трения на задней поверхности инструмента приводят к так называемым релаксационным колебаниям". В этой связи необходимо отметить, что релаксационные автоколебания характерны для приводов подач на минимальных скоростях движения, когда процесс взаимодействия тел проявляется в виде сочетания процессов трения покоя и трения движения. Поэтому период таких колебаний складывается из участков быстрых и медленных движений. При точении в условиях достаточно высокого диапазона скоростей резания, который рассматривается в диссертации, автоколебания за счет процесса трения на задней поверхности инструмента по форме должны быть близки скорее к гармоническим, чем к релаксационным автоколебаниям.

4) Выходом предложенной автором интеллектуальной системы управления устойчивостью процесса резания является оптимальная скорость резания. Однако, на основе опыта исследования динамики резания следует предположить, что все три параметра режима обработки, включая глубину резания и продольную подачу могут быть использованы для оптимизации резания, поскольку они в совокупности определяют геометро-кинематические условия движения режущего клина инструмента в слое обрабатываемого материала и оказывают влияние на деформационные процессы в нем.

5) Полученные автором зависимости амплитуды автоколебаний и фрактальной размерности от скорости резания носят экстремальный характер и имеют максимум на уровне 35 м/мин. Автор связывает наличие экстремума с влиянием скорости резания и тепловых процессов на скорость движения дислокаций, однако не дает ответ на вопрос – почему для трех различных по структурным характеристикам и обрабатываемости материалов максимум проявляется при скорости резания 35 м/мин. Возможно на положение максимума больше влияет не тепловые процессы, а динамические характеристики станка.

Хотелось бы увидеть результаты подобного эксперимента на различных по характеристикам станках.

б) Несмотря на уникальность и широкий спектр возможностей предложенной автором интеллектуальной системы управления устойчивостью процесса резания, ее использование на современном этапе развития информационных технологий может быть оправдано при проведении научно-исследовательских работ. Однако практическая реализация такой системы в производственных условиях может оказаться не эффективной ввиду высоких материальных затрат на ее создание.

Замечания второй группы.

1) Датчики колебаний устанавливались на элементах упругой системы станка (резец, бабка изделия и задняя бабка), поэтому их сигналы содержат информацию о реакции станка на возмущения со стороны процесса резания и лишь косвенно позволяют оценивать процессы, протекающие в слое обрабатываемого материала.

2) Пьезоэлектрические преобразователи вследствие использования инерционного эффекта фиксируют ускорение колеблющегося объекта. Однако из описанной методики экспериментальных исследований не ясно, с каким сигналом работал соискатель – с сигналом ускорения или с сигналом смещения.

3) Пьезоэлектрические преобразователи отличаются направленностью регистрируемого сигнала. Однако при описании результатов экспериментальных исследований в третьей главе автор не указывает, сигналы датчиков какого направления использовались для обработки. Дело в том, что практика исследования колебаний при точении указывает на то, что сигналы, зарегистрированные в направлении скорости резания и в направлении глубины резания могут существенно отличаться по спектральным характеристикам.

4) В предложенной конструкции резца с встроенной системой регистрации колебаний и передачи данных нарушается целостность несущей системы инструмента (державки), что неизбежно должно приводить к уменьшению жесткости инструмента с вытекающими отсюда последствиями.

Пожелания.

В качестве пожелания можно предложить соискателю продолжить исследование динамики резания в новом качестве на основе исследования динамической устойчивости системы резания в условиях динамического взаимодействия подсистем инструмента и детали как связанных процессом резания подсистем. При этом развить аналитический подход к описанию структурной перестройки деформационных процессов в слое обрабатываемого материала.

Заключение.

На основании изучения содержания диссертационной работы, ее автореферата и публикаций считаю, что диссертация Шатагина Д.А. представляет собой завершенную научно-квалификационную работу. Проведенные автором исследования и полученные результаты обладают научной новизной, практической значимостью и содержат решение задачи повышения динамической устойчивости процесса резания на основе подходов нелинейной динамики и искусственного интеллекта, имеющей существенное значение для механообрабатывающих отраслей машиностроения.

Материал диссертации изложен грамотно с использованием принятой в машиностроении терминологии, текст диссертации хорошо иллюстрирован. Содержание исследований достаточно полно отражено в открытой печати и представлено на научно-технических конференциях. Материал, изложенный в автореферате, соответствует содержанию диссертации.

По характеру и решаемым задачам диссертация соответствует пунктам 1, 2 и 3 паспорта научной специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Считаю, что диссертационная работа по своему содержанию, актуальности, научной новизне и практической значимости полностью отвечает требованиям ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям и определенным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» № 842 от 24.09.2013г., а ее автор, Шатагин Дмитрий Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Официальный оппонент

доктор технических наук (научная специальность, по которой защищена диссертация: 05.03.01 - "Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки"), профессор кафедры «Технология машиностроения» (ТМС), ФГБОУ ВО "Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А." (СГТУ имени Гагарина Ю.А.), раб. телефон (8452) 99-86-30, почтовый адрес - 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, адрес электронной почты - tms@sstu.ru, yankin10@yandex.ru

"28" августа 2018 г.

дата

подпись

Янкин Игорь Николаевич

расшифровка

Собственноручную подпись И.Н. Янкина удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета СГТУ

имени Гагарина Ю.А.

должность



подпись

Малова Наталия Анатольевна

расшифровка