

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

главного научного сотрудника Лаборатории вибромеханических систем
Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова

Российской академии наук (ИМАШ РАН),

д.т.н., профессора Асташёва Владимира Константиновича
на диссертационную работу Шагниева Олега Булатовича
на тему

«Алгоритмы автоматического подавления автоколебаний при силовом
взаимодействии инструмента с обрабатываемой поверхностью»,
представленную к защите на соискание учёной степени

кандидата технических наук
по специальности 05.11.16 –

«Информационно-измерительные и управляющие системы (в
машиностроении)»

Диссертация посвящена разработке алгоритмов автоматического
подавления автоколебаний при силовом взаимодействии инструмента с
обрабатываемой поверхностью.

Актуальность темы

В диссертации рассматривается проблема подавления нежелательной
вибрации при автоматической механообработке. Вибрация является главным
фактором, ограничивающим производительность процессов фрезерования,
точения и т.д. Несмотря на значительные достижения в области автоматизации
механообработки до сих пор не удается исключить человека из состава участков
технологических цепочек. В настоящей работе выполнена разработка
алгоритмов автоматической коррекции предписанных параметров режимов
механообработки при появлении признаков возникновения автоколебаний. При
этом соответствующий момент времени фиксируется с помощью сигнала
датчика силы. Актуальность диссертационного исследования определяется
социально-экономической целесообразностью внедрения новых управляющих

систем, обеспечивающих увеличение производительности труда за счёт интенсификации процессов механообработки.

Степень обоснованности научных положений и выводов

Обоснованность выводов определяется непротиворечивостью логических построений, строгостью постановок задач и разработки математических моделей, анализ которых проведен апробированными методами. В работе приведён обширный обзор научных источников, присутствуют ссылки на статьи в высокорейтинговых журналах. Обнаруженные и рассматриваемые физико-механические явления подтверждены результатами экспериментов как собственных, так и описанных в литературных источниках.

Основные результаты диссертации опубликованы в 16 научных работах, в том числе 4-х научных статьях в рецензируемых журналах, включенных ВАК в перечень ведущих периодических изданий. Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на нескольких конференциях и семинарах. Получены свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и акт о внедрении результатов диссертационного исследования.

Оценка новизны и достоверности результатов

Общий объём диссертации 178 страниц. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, содержащего 105 источников.

Во *введении* приведено обоснование актуальности решения рассматриваемых проблем, формулируется цель решения рассматриваемых задач, их научная новизна и положения, выносимые на защиту.

В *первой главе* проводится обзор существующих методов подавления автоколебаний при механообработке. Автор демонстрирует хорошее знание современной литературы по теме исследования. Приводятся результаты эксперимента при обработке поверхности на фрезерном станке. Формулируются достоинства и недостатки существующих математических моделей.

Вторая глава диссертации посвящена разработке математической модели

системы «носитель-инструмент-обрабатываемая поверхность». Предполагается, что между носителем и инструментом установлен датчик силы, позволяющий получать информацию о силовом взаимодействии инструмента с обрабатываемой поверхностью. Рассмотрены алгоритмы управления движением носителя. Для управления горизонтальным движением (подачей инструмента) используется обратная связь по скорости движения носителя, а для управления вертикальным движением – в зависимости от наличия или отсутствия контакта инструмента с поверхностью либо обратная связь по координате носителя, либо позиционно-силовая обратная связь по вертикальной координате и силе вертикального прижатия инструмента к поверхности. Проведено моделирование выхода системы на контакт инструмента с поверхностью для разных характеристик поверхности. Для верификации математической модели рассмотрены задачи выхода системы на контакт с шероховатой поверхностью, движение с прижатием инструмента к поверхности гладкого нелинейного профиля и т.д.

В третьей главе с использованием разработанной математической модели системы «носитель-инструмент-обрабатываемая поверхность» проведено численное моделирование процессов возникновения двух типов автоколебаний: релаксационных, характерных для операции шлифования, и автоколебаний, возникающих в результате резания «по следу», характерных для операций точения и фрезерования. По результатам моделирования были выявлены признаки, по которым данные режимы могут быть детектированы. В частности при возникновении релаксационных автоколебаний происходит кратковременный всплеск полученного от датчика силы сигнала, пропущенного через дифференцирующий фильтр. При автоколебаниях, возникающих при фрезеровании и точении в результате резания «по следу», в качестве детектирующего признака выбрана величина монотонно нарастающего пика в районе собственной частоты системы в БПФ от сигнала датчика силы в

направлении подачи. Построены диаграммы устойчивости процессов точения и фрезерования в координатах «глубина резания – скорость вращения шпинделя». При построении диаграмм учтены обратные связи и жёсткость датчика силы.

В четвёртой главе приведены алгоритмы для управляющей системы, дополняющей систему позиционно-силового управления носителем. Управляющая система предназначена для оперативного детектирования и подавления автоколебаний при механообработке. Алгоритм подавления автоколебаний при шлифовании основан на эффекте импульсного сглаживания нелинейного взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью с последующим увеличением подачи инструмента, выводящим систему из зоны падающего участка характеристики силы контактного взаимодействия. Для режимов точения и фрезерования предложены итерационные процедуры уменьшения глубины резания. В случае появления монотонно растущего пика на БПФ сигнала датчика силы в направлении подачи на частоте в районе собственной частоты системы.

В пятой главе приведён пример реализации управляющей системы на базе ИНС. Система предназначена для компенсации влияния износа инструмента и помех в датчиках положения и скорости носителя на качество процесса фрезерования. Предложенный алгоритм носит итерационный характер. При превышении расчётной глубиной резания, выдаваемой ИНС, предписанной глубины резания производится коррекция задания на силу вертикального прижатия. Это позволяет скомпенсировать влияние износа инструмента и помех в датчиках на динамику системы.

В заключении сформулированы основные выводы по проведенному исследованию и направления дальнейших перспективных разработок.

В работе получен ряд результатов, обладающих безусловной научной новизной:

- 1) Математическая модель системы «носитель-инструмент-

обрабатываемая поверхность» с учётом нелинейного характера сил взаимодействия, позволяющая выделить доминирующие динамические явления и определить ключевые показатели, по которым могут быть детектированы автоколебательные режимы;

2) Алгоритмы детектирования и подавления автоколебаний по показаниям датчика силы прижатия инструмента к поверхности с помощью коррекции предписанных значений подачи инструмента и глубины резания;

3) Алгоритм адаптации системы к факторам неопределённости по критериям качества обрабатываемой поверхности и прочности конструкции, основанный на их идентификации по показаниям датчика силы прижатия инструмента к поверхности при помощи искусственных нейронных сетей и компенсации за счёт коррекции глубины резания.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений.

Значимость для науки и практики

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы как теоретическая база для разработки систем детектирования и подавления нежелательных явлений при механообработке. Предложенные в главах 4 и 5 алгоритмы для управляющих систем позволяют осуществлять механообработку на предельных параметрах режима, соответствующих максимальной производительности, без потери качества обработанной поверхности. Использование ИНС для компенсации влияния на систему «носитель-инструмент-обрабатываемая поверхность» факторов неопределённости, таких как износ инструмента, шумы в датчиках и т.п., является перспективным направлением развития средств автоматизации в машиностроении. Автор, оставаясь, в рамках выбранной концепции построения системы управления, показал возможность использования ИНС для подавления нежелательных режимов при механообработке.

Замечания по диссертационной работе

Отмечая высокий уровень работы в целом, необходимо сделать следующие замечания:

- 1) На странице 50 диссертации параметры $b_x, b_y, b_z, b_{sx}, b_{sy}, b_{sz}$ введены как характеристики «внутреннего демпфирования» в носителе и инструменте. Это не так. Судя по уравнениям, речь идёт о рассеянии энергии при движении элементов системы в направляющих.
- 2) Модель возбуждения автоколебаний «по следу», приводит к уравнению с запаздыванием, где запаздывание постоянная величина, хорошо объясняет возникновение автоколебаний при точении. Ее применение к фрезерованию нуждается в обосновании, поскольку при переходе от одного зуба к следующему приводит к разрыву следа.

Заключение

Диссертационная работа Шагниева Олега Булатовича «Алгоритмы автоматического подавления автоколебаний при силовом взаимодействии инструмента с обрабатываемой поверхностью», несмотря на имеющиеся замечания, является законченной научно-квалификационной работой, в которой решаются задачи, имеющие научное и практическое значение для автоматизации механообработки. Диссертационная работа соответствует Паспорту специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляемые системы (в машиностроении)». Автореферат диссертации и опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации.

Уровень решаемых задач соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук. Считаю, что диссертация Шагниева О.Б. удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 октября 2013 г., № 842, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата

технических наук по специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)».

Главный научный сотрудник Лаборатории
вибромеханических систем Федерального
государственного бюджетного учреждения науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук, д.т.н., профессор


«26» 11 2019 г.+

Асташев В.К.

Подпись В.К. Асташева заверяю





Контактные данные оппонента

Тел.: +7 (495) 625-97-70;

email: v_astashev@mail.ru

101000, Россия, Москва, Малый Харитоньевский пер., д. 4