ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доцента кафедры Электроэнергетики и электротехники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ),
к.т.н., доцента Томчиной Ольги Петровны
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 диссертации

Актуальность диссертационного исследования связана с необходимостью автоматизации технологических процессов, связанных с механообработкой. Автоматизация таких операций, как шлифовка, фрезеровка, полировка и т.п., позволит увеличить повторяемость и точность механообработки, а также позволит исключить возможность нанесения вреда человеческому здоровью. Сложность физико-механических процессов, протекающих в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью, затрудняет аналитических подбор параметров режима механообработки и обуславливает необходимость внедрения систем контроля за вибрационным состоянием обрабатывающего комплекса. В настоящей работе предлагается осуществлять детектирование и подавление автоколебаний по показаниям датчика силы прижатия инструмента к обрабатываемой поверхности.

Степень обоснованности научных положений и выводов

Достоверность результатов диссертационного исследования обоснована

строгостью постановок математических задач, применением известных методов нелинейной механики и теории автоматического управления, высокой согласованностью между результатами моделирования, аналитическими результатами и экспериментальными данными.

Основные результаты диссертации опубликованы в 16 научных работах, из них 4 - в научных изданиях, рекомендованных ВАК и 1 – в издании, индексированном в международной наукометрической базе Scopus. Кроме того, автором получены свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019616158 и акт о внедрении результатов диссертационного исследования. Промежуточные результаты диссертационного исследования обсуждались на ряде конференций, а также на семинарах в ИПМаш РАН и СПбПУ.

Научная новизна и достоверность результатов

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

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационного исследования, ставятся цель работы и решаемые для её достижения задачи, формулируются научная новизна и положения, выносимые на защиту.

В первой главе производится обзор существующих гипотез, касающихся физических механизмов возникновения автоколебаний при механообработке. Представлен обзор применяемых методов подавления нежелательных вибраций при механообработке.

Вторая глава диссертации посвящена построению математической модели объекта исследования. Обрабатывающий комплекс предлагается представить в виде упругой системы «носитель-инструмент-обрабатываемая поверхность», жёсткость которой определяется свойствами силового датчика, установленного между носителем и инструментом. Движение носителя является

управляемым. Управляющие воздействия формируются по пропорционально-интегрально-дифференциальному закону. Для управления горизонтальным движением используется обратная связь по скорости движения носителя, а для управления вертикальным движением – в зависимости от наличия контакта инструмента с поверхностью либо обратная связь по координате носителя, либо обратная связь по силе вертикального прижатия инструмента к поверхности. Представлены результаты моделирования движения системы при выходе на контакт с поверхностями различной формы и шероховатости.

В третьей главе рассматриваются три типа механообработки: шлифование, точение и фрезерование. В разработанную в предыдущей главе математическую модель добавляются нелинейные силы контактного взаимодействия инструмента с поверхностью. Представлены результаты математического моделирования, демонстрирующие возможность возникновения в системе автоколебательных процессов. Релаксационные автоколебания при шлифовании соответствуют наблюдаемому на практике так называемому движению с остановами или в англоязычной литературе «stick-slip movement». Возникновение данного режима в дальнейшем предлагается детектировать по скачку на графике показаний датчика силы в направлении подачи, пропущенных через дифференцирующий фильтр. Для процессов точения и фрезерования представлены диаграммы устойчивости в плоскости глубина резания – скорость вращения шпинделя, учитывающие управляемый характер движения носителя.

Четвёртая глава посвящена разработке алгоритмов подавления рассмотренных ранее нежелательных явлений. Дополнительно к системе позиционно-силового управления носителем автор предлагает использовать управляющую систему, обеспечивающую оперативное детектирование нежелательных режимов и их подавление за счёт коррекции заданий для системы позиционно-силового управления, определяющих параметры режимов

механообработки. Для процессов фрезерования и точения предложен алгоритм, основанный на итерационном уменьшении глубины резания, определяющейся силой вертикального прижатия инструмента к поверхности.

В пятой главе показывается возможность применения ИНС для идентификации сложно прогнозируемых процессов в системе, таких как износ инструмента и помехи в датчиках при фрезеровании.

В заключении сформулированы основные выводы.

Таким образом, в работе получен ряд результатов, имеющих научную новизну, а именно:

1) Разработана 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 идентифицированы нежелательные автоколебательные режимы;

2) Разработаны алгоритмы детектирования и подавления автоколебаний по показаниям датчика силы прижатия инструмента к поверхности за счёт коррекции подачи инструмента и глубины резания;

3) Разработан 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.

4) Разработана структура управляющей системы, позволяющей идентифицировать процесс износа инструмента и продемонстрирована работоспособность управляющей системы в условиях априорной неопределенности износа инструмента и помех в датчиках.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Автореферат диссертации и опубликованные работы достаточно полно

отражают содержание диссертации.

Практическая и научная значимость

Разработанные автором алгоритмы автоматического подавления автоколебаний могут быть использованы при внедрении управляющих систем, предназначенных для обеспечения высокого качества механообработки на предельных параметрах, соответствующих максимальной производительности.

Замечания по диссертационной работе

По работе можно сделать следующие замечания.

1) Известно, что критерий Найквиста позволяет судить об устойчивости замкнутых систем по виду годографа разомкнутой системы. По-видимому, в главе 2 допущена опечатка. Слова «амплитудно-фазовая частотная характеристика передаточной функции замкнутой системы» следует заменить на слова «амплитудно-фазовая частотная характеристика передаточной функции разомкнутой системы».

2) На странице 78 диссертации не указана размерность параметра η, определяющего крутизну падения характеристики силы сопротивления.

3) Система «носитель-инструмент-обрабатывая поверхность» является нелинейной. Однако для определении границ устойчивости процессов точения и фрезерования используется аппарат передаточных функций, предназначенный для анализа исключительно линейных систем.

4) В автореферате неточно сформулирована научная новизна работы и положения, выносимые на защиту. Основной результат диссертации - разработана структура управляющей системы, позволяющей идентифицировать процесс износа инструмента и продемонстрирована работоспособность управляющей системы в условиях априорной неопределенности износа инструмента и помех в датчиках. Этот результат соответствует паспорту специальности 05.11.16 "Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)", он сформулирован в заключении к диссертации

и имеется в конце автореферата, однако ни в научную новизну, ни в положения, выносимые на защиту он не включен.

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, соответствующие паспорту специальности 05.11.16 "Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)" и имеющие научное и практическое значение.

Диссертация Шагниева О.Б. полностью удовлетворяет п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства №842 от 24 сентября 2013 г., а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)».

Доцент кафедры Электроэнергетики и электротехники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», к.т.н., доцент Томчина О.П.

«25» ноября 2019 г.

Тел.: +7 (921) 798-90-55; email: otomchina@lan.spbgasu.ru

190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4

Подпись Томчиной О.П.

ЗАВЕРЯЮ

Начальник управления кадров

СПбГАСУ

«25» ноября 2019 г.