**Афонина Наталья Александровна. Повышение виброустойчивости процесса токарной обработки на основе управляемых колебаний скорости резания : Дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 : Тула, 2004 182 c. РГБ ОД, 61:05-5/174**

*На правах рукописи*

АФОНИНА НАТАЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА

***ПОВЫШЕНИЕ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ КОЛЕБАНИЙ СКОРОСТИ***

***РЕЗАНИЯ***

Специальность 05.03.01 - Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель - доктор технических наук,

доцент А.Б.ОРЛОВ

ТУЛА - 2004 г

ВВЕДЕНИЕ 4

[FJ1ABA 1 Современное состояние вопроса повышения виброустой­чивости процесса резания 8](#bookmark2)

1. [Механизмы возникновения автоколебаний в упругой системе токарного станка 8](#bookmark3)
2. [Анализ способов повышения виброустойчивости процес­са резания на основе адаптивного управления 17](#bookmark4)
3. [Выбор способов аппаратно-программной реализации автоматизированной системы повышения вибро­устойчивости металлообрабатывающего оборудования 29](#bookmark5)
4. [Цели и задачи исследования 36](#bookmark8)

[ГЛАВА 2 Разработка алгоритмов управления колебаниями ско­рости резания целью повышения виброустойчивости процесса обработки 38](#bookmark9)

1. [Постановка задачи подавления автоколебаний в процессе токарной обработки на основе управления частотой вращения привода 38](#bookmark10)
2. [Разработка модели процесса резания в условиях управля­емых колебаний скорости резания 42](#bookmark13)
3. [Анализ алгоритмов идентификации и прогнозирования вибрационных процессов для организации адаптивного управления колебаниями скорости резания 68](#bookmark29)
4. [Разработка алгоритмов программного управления колеба­ниями скорости резания 79](#bookmark30)
5. [Выводы по второй главе .89](#bookmark33)

[ГЛАВА 3 Экспериментальное исследование алгоритмов подавления автоколебаний в процессе токарной обработки 91](#bookmark34)

з

1. [Описание экспериментальной установки 91](#bookmark35)
2. [Экспериментальная оценка эффективности разработан­ных алгоритмов подавления автоколебаний на основе адаптивного управления **103**](#bookmark36)
3. [Экспериментальная оценка эффективности адаптивного способа снижения уровня автоколебаний 111](#bookmark42)
4. [Выводы по третьей главе 119](#bookmark44)

ГЛАВА 4 Техническая реализация адаптивной системы подавления автоколебаний на основе управления колебаниями скорости

резания 122

* 1. Программное обеспечение для управления частотой

[вращения привода 122](#bookmark47)

* 1. [Вариант реализации адаптивной системы подавления автоколебаний для СЧПУ типа PCNC 131](#bookmark49)
  2. [Вариант реализации адаптивной системы подавления автоколебаний на основе микроконтроллера **РІС16С745 135**](#bookmark51)
  3. [Выводы по четвертой главе **140**](#bookmark52)

[**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 141**](#bookmark53)

[**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 145**](#bookmark55)

**ПРИЛОЖЕНИЯ 157**

**4**

\*

Актуальность работы обусловлена тем, что возникновение автоколеба­ний в упругих системах металлорежущих станков возможно при всех видах обработки материалов резанием. При интенсивных режимах обработки ам­плитуда автоколебаний может достигать значений, при которых существен­но снижается точность и качество обработанной поверхности, увеличиваются волнистость, наклеп, остаточные напряжения в детали, а также повышается износ режущего инструмента и станка. Это явление весьма характерно и для токарной обработки, которой подвергается значительная часть деталей, изго­тавливаемых резанием.

Существует ряд способов борьбы с вибрациями при точении, основан­ных на соответствующем подборе режимов резания, увеличении жесткости элементов систем, демпфировании колебаний и др. Однако в современных условиях постоянного расширения и изменения номенклатуры производства при широком использовании станков с ЧПУ способы, основанные на экспе­риментальном подборе оптимальных режимов резания, становятся неэффек­тивными вследствие увеличения затрат времени на технологическую подго­товку производства. Вместе с тем существуют способы гашения автоколеба­ний, основанные на адаптивном управлении режимами резания непосредст­венно в процессе обработки. Ряд подобных способов основан на управлении скоростью резания, которое достаточно просто реализуется технически и обеспечивает эффективное воздействие на процесс резания. Однако в на­стоящее время такие способы применяются также в виде регулирования на основе предварительных расчетов, что ограничивает их применение, по­скольку не позволяет учитывать многообразие причин и изменчивость усло­вий возникновения автоколебаний при обработке резанием на токарных станках с ЧПУ. При использовании таких способов в переменных условиях резания возникает необходимость соответствующего периодического изме-

нения (колебания) режимов резания и, в первую очередь, скорости резания, которое будет способствовать гашению автоколебаний за счет недопущения равенства или кратности частоты вращения заготовки и собственной час тоты упругой системы и исключения резонансных явлений.

Кроме того, на современном этапе развития теории и практики числово­го программного управления металлообрабатывающим оборудованием на­шли достаточно широкое применение системы ЧПУ на базе персональных компьютеров. Использование подобных систем открывает новые перспекти­вы для выработки управляющих воздействий, которые могут быть реализо- ваны программным способом. В связи с этим в области обработки материа­лов резанием актуальной становится задача повышения виброустойчивости процесса токарной обработки на основе оперативного управления колеба­ниями скорости резания на современных станках с ЧПУ.

***Целью диссертационной работы*** является улучшение качества обра­ботанной поверхности за счет повышения виброустойчивости процесса то­карной обработки на основе управления колебаниями скорости резания.

Поставленная цель определила следующие основные ***задачи*** работы:

1. Исследовать механизм подавления автоколебаний в условиях опера­тивного управления скоростью резания.
2. Разработать эффективные способы управления колебаниями скоро- ^ сти резания, обеспечивающие повышения виброустойчивости.
3. Разработать эффективную модель прогнозирования и идентифика­ции автоколебаний в процессе резания.
4. Разработать аппаратно-программное обеспечение управления приво­дом главного движения, обеспечивающее управляемые колебания частоты вращения заготовки и скорости резания.
5. Произвести экспериментальную оценку повышения виброустойчи­вости токарной обработки на основе управления колебаниями скорости реза-

***щ*** ния.

1. Разработать способы аппаратной и программной реализации пред­ложенных способов управления на токарных станках ЧПУ.

***Методы исследований.*** Теоретические исследования базировались на методах теории резания металлов, динамики станков, теории автоматическо­го управления и теории распознавания образов. Экспериментальные иссле­дования проведены на базе модернизированного токарного станка с ЧПУ и цифрового генератора FG- 32. Получение информации о процессе резания и её обработка производились с помощью цифрового осциллографа PC Scope PCS64i и компьютерной измерительной лаборатории на базе АЦП ЛА-2.

***Автор защищает:***

1. Математическую модель подавления автоколебаний технологиче­ской системы токарного станка с применением различных алгоритмов управ­ления колебаниями скорости резания.
2. Вывод о целесообразности и эффективности использования для по­вышения виброустойчивости процесса токарной обработки способа управле­ния колебаниями скорости резания со случайным изменением частоты и ам­плитуды колебаний.
3. Двухуровневую систему прогнозирования и идентификации автоко­лебаний технологической системы токарной операции на основе анализа огибающей и спектральной характеристики динамической составляющей си­лы резания в режиме реального времени.
4. Аппаратно-программное обеспечение управления приводом главно­го движения, обеспечивающее заданные колебания частоты вращения заго­товки и скорости резания.

%

1. Результаты экспериментальной оценки повышения виброустойчиво­сти процесса токарной обработки на основе управления колебаниями часто­ты вращения заготовки и скорости резания.
2. Способы аппаратной и программной практической реализации адап­тивной системы подавления автоколебаний на основе управляемых колеба­ний скорости резания на станках с ЧПУ.

***Научная новизна*** исследования заключается в теоретическом обосно­вании и экспериментальном подтверждении повышения виброустойчивости процесса токарной обработки, при частотах вращения шпинделя ниже частот собственных колебаний системы, на основе использования управляемых ко­лебаний скорости резания со случайным изменением их частоты и амплиту­ды и применения двухуровневой системы прогнозирования и идентификации автоколебаний путем анализа огибающей и спектральных характеристик ди­намической составляющей силы резания в режиме реального времени.

***Практическая ценность.*** Предложена адаптивная система управления частотой вращения шпинделя токарного станка на основе персонального компьютера, совместимая с серийными приводами главного движения стан­ков с ЧПУ, для подавления автоколебаний в процессе токарной обработки, обеспечивающая заданное качество обрабатываемой поверхности, и разрабо­таны рекомендации по выбору оптимальных способов управления колеба­ниями скорости резания.

***Реализация работы.*** Способ подавления автоколебаний реализован на экспериментальной установке на базе токарного станка УТ16ФЗ с использо­ванием системы ЧПУ на основе персонального компьютера в лаборатории кафедры “Автоматизированные станочные системы” Тульского государст­венного университета. Результаты работы приняты к внедрению на произ­водстве АО «Тулаточмаш». Отдельные результаты теоретического и экспе­риментального исследования использованы также в учебном процессе по курсах «Теория автоматического управления» и « Точность и динамика ме­таллорежущих станков».

Заключение

В диссертации разработан и реализован адаптивный способ подавления автоколебаний в технологической системе токарного станка на основе управ­ляемой девиации параметров режима резания и двухуровневой модели про­гнозирования и идентификации вибропроцессов. С помощью адаптивной системы на основе разработанного алгоритма управления частотой вращения шпинделя привода главного движения достигнуто существенное повышение качества обработанной поверхности.

Основные научные и практические результаты заключаются в следую­щем:

***ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ***

1. На современном этапе развития механической обработки материалов

в многономенклатурном производстве с широким использованием интенсив­ных режимов резания повышаются требования к виброустойчивости процес­са и оборудования. При этом одним из путей повышения виброустойчивости и снижения амплитуды автоколебаний может быть использование метода адаптивной оптимизации с оперативным управлением колебаниями (девиа­цией) скорости резания на основе изменения в режиме реального времени ее динамической составляющей.

1. Разработана математическая модель процесса резания в операторной форме, позволяющая оценить влияние различных параметров на эффектив­ность подавления автоколебаний в технологической системе токарного стан­ка с применением различных алгоритмов управления колебаниями скорости резания. Модель позволяет учитывать влияние неравномерности припуска под обработку и развитие автоколебаний под воздействием следа на обрабо­танной поверхности.
2. Рассмотрены различные варианты колебаний частоты вращения за­готовки (синусоидальные, пилообразные и др.), влекущие за собой колебания скорости резания, которое оказывает демпфирующее воздействие на процесс развития автоколебаний. Теоретический анализ этих вариантов показал, что при частотах вращения шпинделя, ниже частот собственных колебаний сис­темы, оптимальным с точки зрения гашения вибраций является способ управления колебаниями частоты вращения и скорости резания со случай­ным изменением частоты и амплитуды колебаний, поскольку он обеспечива­ет нерегулярность следа на обработанной поверхности, что, в свою очередь, способствует устранению резонансных явлений и гашению вибраций. При этом величина изменения скорости резания будет зависеть от частоты уста­новившихся колебаний, определяемых свойствами самой упругой системы, т.е. скорость должна изменяться таким образом, чтобы частота колебаний припуска на поверхности резания не была равной или кратной частоте собст­венных колебаний упругой системы.
3. Исходя из требований к организации алгоритмов программного управления колебаниями (девиацией) параметров режима резания, заклю­чающихся в необходимости своевременного перехода в режим девиации при возникновении опасности развития автоколебаний, предложена двухуровне­вая адаптивная модель прогнозирования и идентификации вибрационных процессов при токарной обработке. Функционирование системы основано на анализе огибающей и спектральной характеристики динамической состав­ляющей силы резания в режиме реального времени. На первом уровне осу­ществляется прогнозирование возникновения автоколебаний по выходному сигналу, снимаемому с датчика и проходящему через детектор. Анализирует­ся полученная огибающая сигнала и принимается решение о включении ре­жима девиации для подавления автоколебаний. Если гашение автоколебаний не происходит, то на втором уровне осуществляется идентификация ситуа­ций связанных с возникновением колебаний, определяемых дефектами на­ладки станка, на основе анализа спектральной характеристики динамической составляющей силы резания.
4. Разработано аппаратно-программное обеспечение системы управле­ния приводом главного движения, обеспечивающее управляемые колебания частоты вращения заготовки и скорости резания в соответствии с выбранным алгоритмом. Разработанные алгоритмы девиации скорости резания позволя­ют организовать как разомкнутые, так и замкнутые системы автоматического подавления автоколебаний, из которых первые могут быть использованы при обработке изделий с повышенными требованиями по точности и качеству поверхности при постоянной девиации, а вторые - при черновых режимах обработки, когда переход в режим девиации осуществляется при опасности развития автоколебаний.
5. Проведенные экспериментальные исследования показали, что разра­ботанные стохастические способы управления частотой вращения привода главного движения, обеспечивающие колебания скорости резания со случай­ным изменением частоты и амплитуды, эффективно снижают уровень авто­колебаний в технологической системе станка. При этом амплитуда автоколе­баний может снижаться в 15...20 раз по сравнению с обработкой па постоян­ной скорости резания в условиях развития автоколебаний. Снижение ампли­туды автоколебаний более чем в два раза наблюдается также и при использо­вании предложенного способа гашения вибраций в условиях существования дефектов наладки станка. Разработанные способы управления колебаниями (девиацией) скорости резания при использовании на черновых режимах об­работки позволяют также существенно снизить припуск за счет повышения качества обработанной поверхности.
6. Результаты экспериментальной оценки повышения виброустойчиво­сти процесса токарной обработки на основе управления колебаниями часто­ты вращения заготовки и скорости резания подтвердили теоретические пред­положения о том, что функционирование неисправного узла сопровождается возрастанием амплитуды в области собственных частот спектра с более вы­раженным увеличением в области, соответствующей частотам собственных

колебаний резца, резцедержателя и неисправного узла. При этом установле­но, что амплитуда собственных колебаний увеличивается с понижением ка­чества соединений и узлов станка, а частота их смещается в зону более низ­ких частот.

1. Предложенная адаптивная система подавления автоколебаний на ос­нове управления колебаниями скорости резания может быть реализована двумя способами:

* в виде специального программного модуля, встраиваемого в про­граммное обеспечение системы ЧПУ типа PCNC, путем использования суще­ствующих входных API-функций и аппаратно-программного блока для изме­рения в режиме реального времени величины динамической составляющей силы резания;

\*

* в виде автономного модуля на основе микроконтроллера или микро- ЭВМ, встраиваемого в серийные приводы главного движения и обладающе­го возможностью оперативного управления частотой вращения шпинделя на основе заданного алгоритма.

**Список использованной литературы**

1. Ллтулов В.Н. Контроль характера стружки в условиях автоматического производства. //Типовые механизмы и технологическая оснастка. Тезисы доклада. Станки - 92. - Киев 1992. - С29 - 30.
2. Альбрехт П. Автоколебания при резании металлов // Конструирование и технология машиностроения. - М.: Мир. -1962. - №3. - с. 11 - 25.
3. Амосов И.С. Осциллографические исследования автоколебаний при реза­нии металлов. Сборник «Точность механической обработки и пути ее по­вышения».- М., Машгиз, 1951.
4. Ананьев И.В., Тимофеев П.Г. Колебания упругих систем а авиационных конструкциях и их демпфирование. М. Машиностроение, 1965. 525 с.
5. А.с. 1074660 СССР, В23В21/00.
6. А.с. 176.1383. СССР, МКИ3 В23В 1/100. Способ определения динамиче­ской жесткости станка.
7. Аршанский М.М., Щербаков В.П. Вибродиагностика и управление точно­стью обработки наМРС. М.: Машиностроение, 1988.- 136с.
8. Адаптивное управление станками. Под ред. Балакшина Б.С. // - М.: Ма­шиностроение. 1973. 684 с.
9. Афонин А.А. Повышение виброустойчивости технологической системы станка с применением адаптивного управления приводом главного движе­ния. Дисс. канд. тех. наук. Тула 1998. -126с.
10. Афонин А.А., Афонина Н.А., Орлов А.Б. Использование систем ЧПУ на основе перернальных компьютеров (PCNC) для управления девиацией па­раметров режима резания.// Известия ТулГУ. Серия Технологическая сис­темотехника 2002: сборник трудов первой международной электронной научно-технической конференции. - Тула: изд-во ТулГУ, 2003.-е 50-56.
11. Афонин А.А. Афонина Н.А., Орлов А.Б. Использование алгоритмов са­мообучения для повышения виброустойчивости технологической систе­

мы.// Известия ТулГУ. Серия Технологическая системотехника 2002: сборник трудов первой международной электронной научно-технической конференции. - Тула: изд-во ТулГУ, 2003.-е 56-59.

1. Афонина Н.А., Орлов А.Б. Использование экономических критериев при адаптивном управлении процессом обработки лезвийным инструментом с девиацией режимов резания.// Известия ТулГУ. Серия Экономика. Управ­ление. Финансы./ Под редакцией Л.А.Васина. Вып.З.. - Тула: изд-во Тул­ГУ, 2003.-е 54-59.
2. Афонин А.А.; Афонина Н.А., Орлов А.Б. Исследование возможности реа­лизации низкочастотной девиации скорости резания с помощью тиристор­ного электропривода с двигателем постоянного тока.// Известия ТулГУ. Серия Технологическая системотехника: сборник трудов второй междуна­родной электронной ■ научно-технической конференции. - Тула: изд-во ТулГУ, 2003.-е 247-252.
3. Афонин А.А., Афонина Н.А., Орлов А.Б. Повышение виброустойчивости технологической системы на основе управляемой девиации параметров режима резания .// «Справочник». Инженерный журнал, приложение №8. 2004- с. 29-32.
4. Бесекерский В.А. Попов Е.П. Теория систем автоматического регулиро­вания М.: Наука, 1966. - 920с.
5. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение. 1975.343с.
6. Васин JI.A., Васин С.А., Бородкин Н.Н. Исследование природы повышен­ной демпфирующей способности бетонов, применяемых в машинострое­нии. // Технология механической обработки и сборки. Сб. научн. трудов ТГУ. 1993.
7. Васин JI. А. Комплексное проектирование безвибрационного процесса токарной обработки на основе динамических характеристик элементов технологической системы. Диссертация на соискание ученой степени док­тора технических наук. Тула 1994
8. Вазан М. Стохастическая аппроксимация . /Пер. с англ Э.М. Вайсборда.— М.: Мир, 1972,— 295 с.
9. Вентцель Е.С. Теория вероятности. - М.: Наука, 1969. - 576с.
10. Воробьев В.А., Голованов В.Е.. Анализ сигналов акустической эмиссии. // Дефектоскопия - 1992 № 4 с 3 - 8
11. Воронов A.JI. Высокочастотные вибрации резца при точении. М., Обо- ронгиз, 1956.
12. Гаскаров Д.В., Голинкевич Г.А. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры. М.: Сов. Радио, 1974. 224с .
13. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Вибро-аккустическая диагностика машин механизмов.- М.: Машиностроение, 1987.- 288с.
14. Городничев С.В., Васин С.А. Токарный резец с элементами крепления из сплавов высокого демпфирования. // Технология механической обработки и сборки. Сборник научных трудов ТулПИ.1991. с. 58- 61.
15. Гуляев В.А., Чаплыгв В.М. Методы и средства обработки диагностиче­ской информации в реальном времени. Киев.: Наукова думка. - 1986. 220 с.
16. Дас М. Автоколебания станков. Пер. с англ. Кушнир Э.Ф.// Автоматиче­ские линии и металлорежущие станки. - 1982. - Вып. 17. - с 10 - 18.
17. Дроздов Н.А. К вопросу о вибрации станка при токарной обработке. //Станки и инструмент , 1937, №22.
18. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем. М. Наука, 1979. 432с.
19. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. - Л.: Машиностроение, 1986. 179с.
20. Зорев Н.Н. Некоторые задачи науки резания металлов и механика процес­са резания. Материалы конференции по проблемам резания металлов. М., НТОмашпром, МД1ІТП, 1963.
21. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. - М.: Машгиз, 1956. - 368 с
22. Иванов В.В. Рациональное использование СМП из твердых сплавов серии МС для токарной обработки сталей и чугунов: Метод. Рекомендации - Ту­ла: РИСТ, 1991,- 1356с.
23. 3. 40 - 205 - 51 ГЕРМАНИЯ МКИ5 № 4020551.7. Заяв. 26 06 90.
24. 3. 31- 421-48 ЯПОНИЯ МКИ 5 № 1-277567. Заяв. 25 10 89.
25. Ильницкий И.И. Колебания в металлорежущих станках и пути их устра­нения. М.- Свердловск. Машгиз, 1958.
26. Кабалдин Ю.Г. Шпилев А.М. / Трение, изнашивание и диагностика ре­жущего инструмента. // Наукоемкие технологии и проблемы их внедрения на машиностроительных и металлургических предприятиях дальнего вос­тока. Тезисы доклада международного научного симпозиума., Комсо­мольск - на - Амуре 19 - 24 сентября 1994г - Комсомольск - на - Амуре, 1994-с 132 - 133.
27. Каган Б.М., Сташин В.В. Основы проектирования микропроцессорных устройств автоматики. -М.: Энергоатомиздат, 1987. - 304 с.: ил.
28. Каминская В.В. Приближенный расчет несущих систем станков, находя­щихся под действием стационарных случайных возмущений. // Станки и инструмент. - 1989. № 6. - с. 10 - 14.
29. Каширин А.И. Исследование автоколебаний при резании металлов. М.- Л„ М., изд-во АН СССР, 1944.