

УДК 621.941.01

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ ТОКАРНОГО РЕЗЦА ПРИ ТОЧЕНИИ НЕЖЕСТКИХ СТАЛЬНЫХ ВАЛОВ

Бурцев Николай Васильевич⁽¹⁾, Газиев Ралиф Рамилевич⁽¹⁾

Студент 4 курса⁽¹⁾,

кафедра «Технологии машиностроения»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.В. Калмыков

старший преподаватель кафедры «Технологии машиностроения»

Автоколебаниями названы самовозбуждающиеся незатухающие колебания технологической системы, возникающие и поддерживаемые за счёт энергии процесса резания. Самовозбуждающиеся вибрации остаются одной из проблем современного машиностроения. Они приводят к образованию волнистости, ухудшению шероховатости обработанной поверхности, ускоренному износу режущего инструмента. Актуальность темы заключается в необходимости повышения качества обработки нежестких валов на токарных станках. Существующие методы расчета динамических характеристик часто требуют значительных затрат вычислительного времени. Получение результатов может занимать десятки минут даже на современной технике. Такая длительность расчетов делает невозможным использование сложных моделей на этапе проектирования технологии. Поэтому возникает потребность в выборе оптимального метода математического описания и решения системы уравнений. Применение быстрого метода позволит прогнозировать возникновение вибраций до начала обработки. Это поможет выбрать рациональные режимы резания. В результате обеспечивается требуемое качество детали и снижается себестоимость продукции за счет уменьшения брака. Кроме того снижается нагрузка на технологическую систему. Точное прогнозирование параметров колебаний позволяет избежать аварийных ситуаций и простоев оборудования в процессе эксплуатации.

Целью работы является анализ основных теорий возникновения автоколебаний, выбор метода их математического описания и решения, а также определение количества рассматриваемых факторов.

Существующие теории возникновения автоколебаний делятся на физические механизмы возбуждения [3, 7] и математические методы описания [2, 6]. К физическим механизмам относят: регенеративный эффект работы по следу от предыдущего оборота заготовки [3], запаздывание изменения силы резания относительно толщины среза [7], падающую характеристику силы от скорости резания [6]. Также выделяют координатную связь, учитывающую взаимное влияние колебаний по нескольким координатам через эллипс жёсткости системы [2, 6]. К математическим подходам относят: решение нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка с учётом координатно-скоростной связи [2], метод гармонической линеаризации для расчёта установившихся режимов [1, 6], анализ нормальных мод колебаний технологической системы [5]. Современные исследования комбинируют указанные теории, учитывая нелинейность силы резания и фрикционные явления в зоне обработки [7]. Однако комплексный учёт всех причин возникновения колебаний, а также их связь с вынужденными колебаниями в современных работах представлены недостаточно [1]. Преимуществом физических теорий является наглядность причин возникновения, недостатком — сложность учёта всех факторов одновременно. Математические методы позволяют прогнозировать колебания на этапе проектирования, но требуют экспериментального определения коэффициентов технологической системы [3, 1].

Для математического описания выбрана модель нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка с учётом координатной связи. Метод решения — гармоническая линейризация. Наиболее полно методика отражена в работе С.Л. Леонова и Е.Б. Белова [6], где представлен алгоритм поиска параметров через метод наименьших квадратов и подтверждена точность аппроксимации первой гармоникой для инженерных расчётов при точении. Решение дифференциальных уравнений такого типа наиболее точно отражено в методических указаниях Л.П. Котельниковой [4], где приведены классификация уравнений математической физики и методы их численного решения.

Для получения численного решения необходимо определить:

1. приведённые массы колебательной системы,
2. коэффициенты жёсткости по двум координатам,
3. коэффициенты демпфирования,
4. эмпирические коэффициенты силы резания

Таким образом, при решении системы нелинейных дифференциальных уравнений методом гармонической линейризации могут быть получены три основных параметра: амплитуда автоколебаний A (мкм), частота f (Гц) и постоянная составляющая смещения резца (мкм). На основе этих значений рассчитывается волнистость поверхности и строятся области устойчивости на плоскости режимов резания (глубина—скорость), что позволяет прогнозировать вибрации на этапе проектирования технологии.

Литература

1. Белов, Е. Б. Уменьшение волнистости поверхности при точении за счет прогнозирования и снижения уровня автоколебаний: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07 / Е. Б. Белов. – Севастополь, 2017. – 24 с.
2. Быкадор, В. С. Влияние значений технологических режимов процесса точения на возникновение автоколебаний / В. С. Быкадор, Е. С. Шаламов, О. В. Тетенко // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2018. – Т. 14, № 1. – С. 147-152.
3. Васин, С. А. Механизм возникновения автоколебаний в технологических системах обработки резанием / С. А. Васин, С. Н. Шевченко, О. А. Ерзин, Е. В. Пантюхина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26, № 3. – С. 5-9.
4. Котельникова, Л. П. Уравнения математической физики: методические указания к выполнению домашнего задания / Л. П. Котельникова, Л. Д. Покровский, С. И. Савельев, С. В. Синегуб; МГТУ им. Н. Э. Баумана. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 41 с. – ISBN 5-7038-1680-7.
5. Козочкин, М. П. Влияние нормальных мод колебаний технологической системы на качество обработки резанием // Вестник машиностроения. – 2015. – № 3. – С. 59-64.
6. Леонов, С. Л. Прогнозирование установившихся автоколебаний при точении металлов / С. Л. Леонов, Е. Б. Белов // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1/1. – С. 181-183.
7. Фадин, Д. М. Расчет вибраций режущей кромки инструмента при токарной обработке с автоколебаниями жаропрочных сплавов / Д. М. Фадин, А. В. Шуваев // СТИН. – 2010. – № 5. – С. 57-63.