

## УДК 621.91.01

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ ПРИ РЕЗАНИИ

*Газиев Ралиф Рамилевич<sup>(1)</sup>, Бурцев Николай Васильевич<sup>(1)</sup>*

*Студент 4 курса<sup>(1)</sup>,*

*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 [1]. Актуальность темы обусловлена следующими факторами: автоколебания являются ограничителем производительности и качества высокоскоростной и прецизионной обработки, а также, в условиях растущей цифровизации современного производства, возникает возможность активного подавления вибраций в режиме реального времени, поэтому присутствует потребность в наличии высокоскоростного и высокоточного метода измерения автоколебаний.

Целью работы является сравнительный анализ наиболее распространённых методов измерения автоколебаний при резании.

Существующие методы измерения можно разделить на две группы: контактные [2] и бесконтактные [3]. К контактным методам, то есть требующим физического прикрепления датчика к колеблющемуся объекту, можно отнести: методы с применением пьезоэлектрических акселерометров или динамометров, с применением тензорезисторов. К бесконтактным методам, то есть не требующим физического контакта с измеряемым объектом, можно отнести: методы с применением интерференционных или лазерных измерителей, с применением вихретоковых датчиков, с использованием емкостных и электретных измерителей, а также акустические, например, с использованием направленных микрофонов, радиоволновые, голографические и оптические. Также в последние годы, ввиду развития цифровизации промышленного оборудования, появились методы, не подходящие под эту классификацию. К ним относятся определение колебаний по электрическим сигналам привода шпинделя по колебаниям тока привода или потребляемой мощности шпинделя станка [3], метод с применением беспроводных датчиков вибрации, которые крепятся на колеблющийся объект, как в контактных методах, но передают сигнал не по проводам, а по беспроводной связи [5], определение автоколебаний по сигналам линейных датчиков обратной связи ЧПУ, то есть по анализу сигналов рассогласования позиции от встроенных энкодеров приводов осей [6].

Среди вышеперечисленных контактных методов, на сегодняшний день, наиболее распространённым является с применением пьезоэлектрических акселерометров, так как они имеют довольно низкую стоимость, просты в установке и обслуживании, при этом надёжны и легко интегрируются в современные системы ЧПУ, но поскольку метод контактный, он имеет характерные для таких методов недостатки: добавляют массу колеблющемуся элементу, уязвимы к изменению температуры и ударам, не подходят для установки на вращающийся объект [7].

Если рассматривать бесконтактные методы, то среди них наиболее популярным является применение лазерных измерителей, поскольку они обеспечивают высокую точность и скорость измерений, подходят для измерения вибраций вращающихся объектов и, так как метод бесконтактный, он не влияет на динамику системы. Но высокая стоимость измерительного оборудования и высокая чувствительность к внешним факторам (пыль в воздухе, загрязнённость измеряемой поверхности и другие) сильно ограничивают применимость этого метода в серийном промышленном производстве.

Среди нестандартных методов в последние годы высокую популярность получил мониторинг по сигналам привода шпинделя. Его изначальное наличие в конструкции станка исключает необходимость в дополнительном оборудовании, а также обеспечивает лёгкую интеграцию в систему ЧПУ станка и отсутствие влияния на динамику системы. Недостатками являются требование в наличии сложных алгоритмов обработки по переводу изменения силы тока или мощности в необходимые параметры автоколебаний.

Таким образом, в серийном промышленном производстве метод с применением пьезоэлектрических акселерометров остаётся наиболее популярным, ввиду их простоты и распространённости, но в последние годы в комбинации с ним активно применяется метод мониторинга автоколебаний по сигналам привода шпинделя, поскольку он легко интегрируется в систему ЧПУ и компенсирует недостатки пьезоэлектрических акселерометров. А в прецизионной обработке, опытных и лабораторных исследованиях применяют лазерные измерители, поскольку они обеспечивают высокую точность измерений. Незаслуженно обойдён стороной акустический метод с использованием направленных микрофонов, так как дешевизна его оборудования относительно других методов и готовые, легкоинтегрируемые в систему ЧПУ решения, при рациональной организации, метод не уступает современным популярным решениям.

## Литература

1. Грановский Э.Г., Камсюк М.С. О колебаниях инструмента в процессе алмазного выглаживания круглых цилиндрических поверхностей; Известия вузов. Машиностроение. – 1969 – № 6 – С. 155–160.
2. Ключев В.В. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара. Книга 1. – М.: Машиностроение, 1978 – 448 с.
3. Ключев В.В. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара. Книга 2. – М.: Машиностроение, 1978 – 439 с.
4. Судиловский М.С. Разработка комплексной методики определения технических характеристик малогабаритных станков: выпускная квалификационная работа / М.С. Судиловский; Тольяттинский государственный университет. – Тольятти, 2020, – 70 с.
5. Oliunik P. Разработка беспроводного датчика вибрации на основе MEMS-акселерометра / P. Oliunik // Науковий вісник, – 2016 – С. 1.
6. Блохин Д.А. Разработка методов испытаний фрезерных станков с ЧПУ с имитацией сил резания: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук – М.: МГТУ «СТАНКИН». – Москва, 2024 – 164 с.
7. Рягузов Д.Ю. Исследование влияния параметров упругой системы станка на динамику процесса обработки: выпускная квалификационная работа: Тольяттинский государственный университет. – Тольятти, 2021 – 84 с.