

## Список использованных источников

1. Теория ограничений Голдратта: Системный подход к непрерывному совершенствованию / Уильям Детмер; Пер. с англ. — 2-е изд. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. — 444 с.
2. Эли Шрагенхайм. Теория ограничений в действии: Системный подход к повышению эффективности компании. — М.: Альпина Паблишер, 2014. — 286 с.

## МЕТОД ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Чжан Сяоян<sup>1</sup>, Ларионова Л.В.<sup>1,2</sup>, Глиненко Е.В.<sup>1,2</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научные руководители:*

<sup>1</sup>*Мойзес Б.Б., к.т.н., доцент кафедры физических методов и приборов  
контроля качества,*

<sup>2</sup>*Гаврилин А.Н., к.т.н., доцент кафедры автоматизация и роботизация  
в машиностроении*

Вибрация, возникающая в производственном оборудовании, приводит как к положительному эффекту, полезному для решения различных технологических задач [1–5], так и отрицательному. В аспекте металлообработки вибрация может оказывать значительное влияние на правильность функционирования оборудования (точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей), надежность его эксплуатации, степень защиты установленного в непосредственной близости прецизионного технологического оборудования, безопасность рабочего персонала от последствий возможных аварийных ситуаций.

Развитие научно-технического прогресса и требований к точности обработки определило тенденции развития конструкций металлообрабатывающего оборудования, основными из которых стали:

- повышение производительности за счет повышения уровня автоматизации и интенсификации режимов резания (высокоскоростное резание);
- повышение точности обработки [6], в том числе посредством виброгашения [7] и выбора оптимальных режимов работы [7, 8];

- повышение надежности работы оборудования за счёт своевременной диагностики [6], включая вибрационную диагностику для определения виброактивности элементов технологической системы, негативно влияющих на точность обработки детали и стойкость инструмента.

Развитие конструкций металлообрабатывающего оборудования обусловило дальнейшее развитие информационно-измерительной техники [9-11] для проведения вибродиагностики технологической системы «станок-приспособление-инструмент-деталь».

Средства диагностики могут быть как мобильными, так и стационарными, но стационарность последних не допускает их применение для оперативной диагностики металлообрабатывающего оборудования. При этом надо отметить широкую гамму деталей применяемых приспособлений.

Известны конструкции мобильных диагностических комплексов зарубежного и отечественного исполнения, а также методики их применения [9-11]. Данные комплексы хорошо зарекомендовали себя, но относительная сложность их использования (требуется инструкция и специальные навыки) предопределила актуальность разработки компактного надежного и простого в использовании диагностического комплекса для проведения вибрационной диагностики.

Учеными Томского политехнического университета в сотрудничестве с ООО «ВиТэк Сибирь» (г. Томск) разработан и апробирован диагностический комплекс [12], состоящий из трех модулей (рис. 1): пьезоэлектрические датчики, виброизмерительный модуль, ноутбук с программным обеспечением.

Требование обеспечения конкурентоспособности разработки предопределили модернизацию программного обеспечения в аспекте:

- представления результатов анализа – добавлена возможность применения фильтров первого-пятого порядков нижних и верхних частот, полосового и заграждающего (режекторного), которые позволяют более оперативно адаптироваться к различным условиям (рис. 2);

обработки сигнала – упрощен выбор частотной зоны амплитудного спектра для анализа вибрационной картины (рис. 3).



Рис. 1. Модули диагностического комплекса

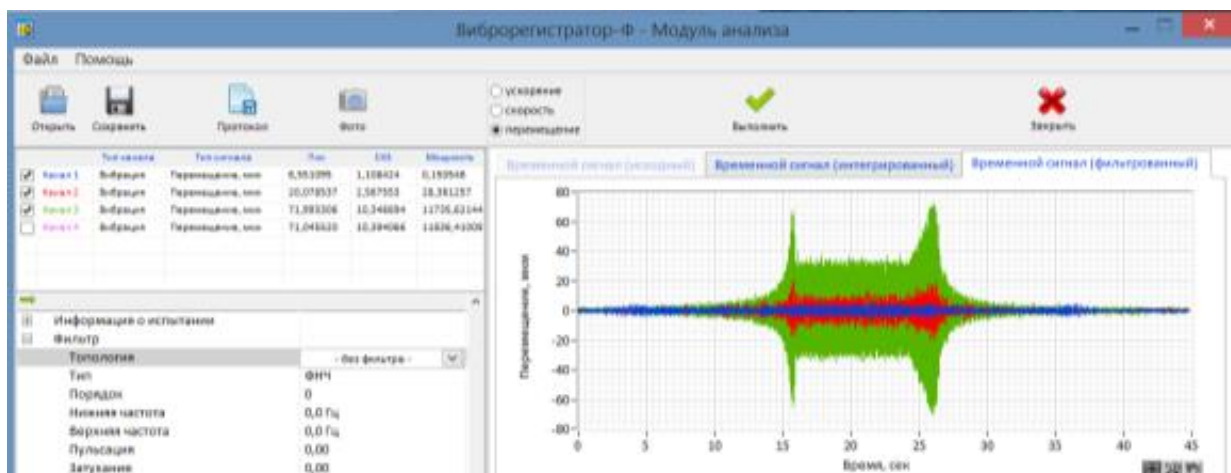


Рис. 2. Фрагмент окна программного обеспечения «Виброрегистратор-Ф»: слева – настройка параметров фильтрации; справа – временная диаграмма виброперемещений при разгоне до 2000 об/мин, «выстое» и останове

Для упрощения использования диагностического комплекса при проведении испытаний апробирование модернизированного диагностического комплекса и разработка методики была поручена студентам в рамках учебного процесса.

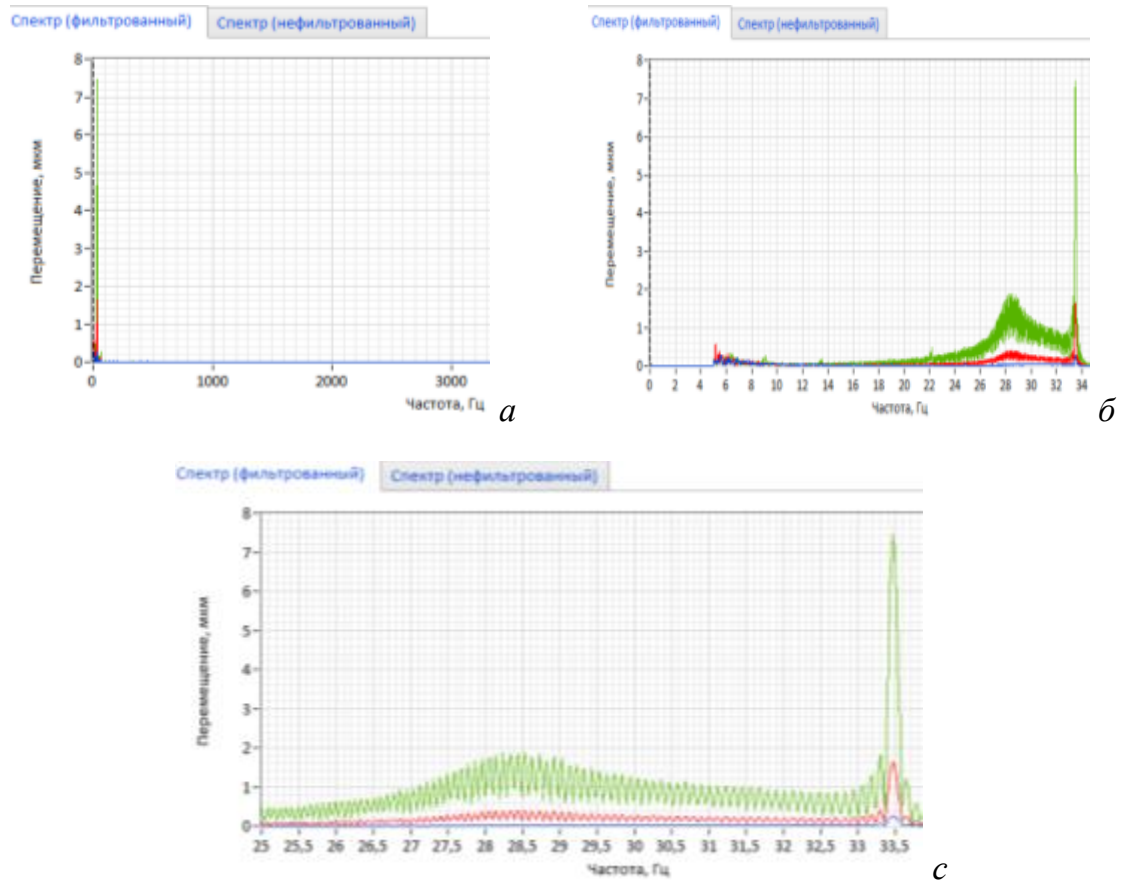


Рис. 3. Фрагменты окна программного обеспечения «Виброреги­стратор-Ф» для различных масштабов: *а* – 1000 Гц; *б* – 1 Гц; *с* – 0,5 Гц

### 1. Наладка диагностического комплекса (разработка принципиальной схемы диагностики).

Наладка комплекса заключается:

- в выборе узла диагностирования и направлений фиксации вибраций;
- в выборе способа крепления, мест установки датчиков;
- в подключении модулей комплекса между собой.

Для испытания выбран токарно-винторезный станок 16К20, объект диагностирования – шпиндельный узел (рис. 4).

Датчики размещены на резцедержателе (из-за невозможности установить их непосредственно на шпинделе станка), а направлениями фиксации вибрации стали оси  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  – направления действия составляющих возбуждающей силы резания  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ .

Возбуждение проводилось при вращении шпинделя за счет имеющегося эксцентриситета  $e$  упругим элементом 5

(подпружиненным штоком поршня), установленным в державке 2 и закрепленным в резцедержателе 6. Упругий элемент 5, воздействуя через подшипник 7 на вал 1, нагружает шпиндельный узел гармонически изменяющимся усилием.

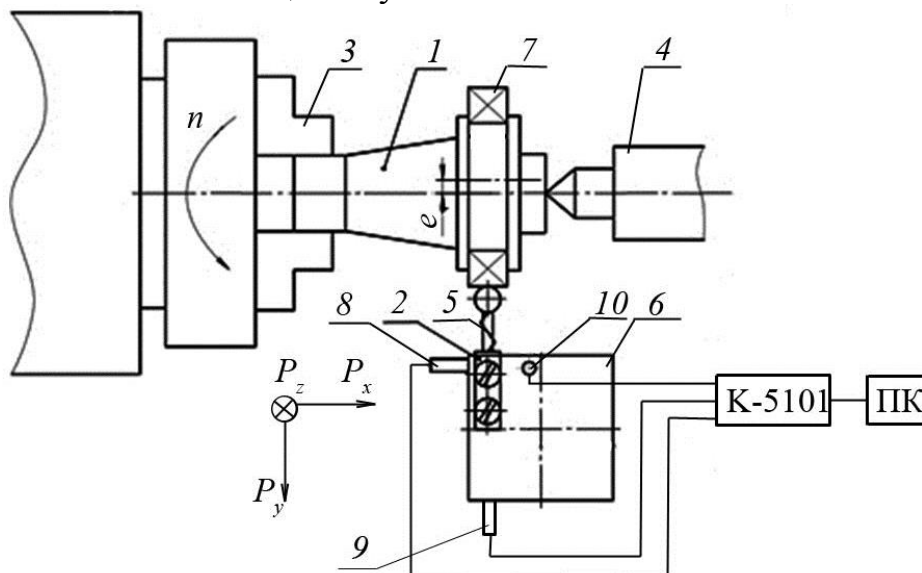


Рис. 4. Принципиальная схема наладки комплекса:

1 – эксцентриковый вал; 2 – державка; 3 – трехкулачковый патрон; 4 – задняя бабка; 5 – упругий элемент; 6 – резцедержатель; 7 – подшипник; 8–10– акселерометры; К-5101 – виброизмерительный модуль; ПК – персональный компьютер (ноутбук);  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  – направления действия составляющих силы резания

## 2. Настройка комплекса.

При настройке комплекса требуется:

- идентифицировать каналы датчика на компьютере;
- настроить программную оболочку: выбор фиксируемой величины (виброперемещение, виброскорости, виброускорение), инструмента, типа фильтра и его параметров и т.д.

## 3. Выбор режимов и плана проведения испытаний.

В качестве режимов были выбраны частоты вращения шпинделя 630 и 2000 об/мин (в середине и конце диапазона частот вращения).

План эксперимента: снять картину вибрации при разгоне, устоявшемся режиме и торможении.

## 4. Запуск объекта диагностирования и фиксирование результатов.

Картина вибраций, полученная в ходе эксперимента на частоте 2000 об/мин, приведена выше (рис. 2).

## 5. Анализ данных и выдача рекомендаций.

Вибрационная картина показывает наличие резкого скачка амплитуды колебаний на частоте 33,45 Гц, близкой к частоте возмущения при «выстое» шпинделя:

$$f_b = \frac{n_{\text{шп}}}{60} = \frac{2000}{60} = 33,3 \text{ Гц,}$$

где  $n_{\text{шп}}$  – частота вращения шпинделя, об/мин.

Таким образом, модернизация специального программного обеспечения позволила оптимизировать обработку сигнала в аспекте фильтрации и частотного анализа, а проведение исследований студентами продемонстрировало простоту использования комплекса.

### Список информационных источников

1. A. Nizhegorodov, A. Gavrilin, B. Moyzes. Hydraulic Power of Vibration Test Stand with Vibration Generator Based on Switching Device Key Engineering Materials, **685** (2015). DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.685.320.
2. A. Nizhegorodov, A. Gavrilin, B. Moyzes. Hydrostatic Vibratory Drive of the Test Stand for Excitation of the Amplitude-Modulated Vibrations. Journal of Physics: Conference Series, **671** (2016). DOI: 10.1088/1742-6596/671/1/012037.
3. B. Moyzes, A. Gavrilin, X. Zhang, K. Mel'kov, A. Fayngerts. Actuators of the Seismic Vibrations Sources. Mechanical Engineering, Automation and Control Systems: proceedings of the International Conference, Tomsk, 1-4 December, 2015, IEEE. (2015). DOI: 10.1109/MEACS.2015.7414967.
4. B. Moyzes, A. Gavrilin, X. Zhang, A. Hajrullin, A. Fayngerts. The System of Clamping the Base Plate of the Seismic Vibrations Sources to the Ground. Mechanical Engineering, Automation and Control Systems: proceedings of the International Conference, Tomsk, 1-4 December, 2015. IEEE. (2015). DOI: 10.1109/MEACS.2015.7414968.
5. A. Gavrilin, A. Chuprin, B. Moyzes, E. Halabuzar. Land-based sources of seismic signals. Proceedings of International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems: proceedings of the International Conference, Tomsk, 16-18 October, 2014, IEEE. (2014). DOI: 10.1109/MEACS.2014.6986947.
6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского [и др.]. – 5-е изд., испр. – Москва: Машиностроение, 2003.

7. A. Gavrilin, B. Moyzes, O. Zharkevich Constructive and processing methods of reducing vibration level of the metalworking machinery elements. Journal of Vibroengineering, 17 (7), pp. 3495-3504.

8. A. Gavrilin, B. Moyzes, A. Cherkasov. Research Methods of Milling Technology Elements. Applied Mechanics and Materials: Scientific Journal. Vol. 756 (2015). DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.756.35

9. Григорьев С.Н., Козочкин М.П., Сабиров Ф.С., Синопальников В.А. Проблемы технической диагностики станочного оборудования на современном этапе развития // Вестник МГТУ Станкин. – 2010. – № 4. – С. 27-36.

10. Козочкин М.П., Порватов А.Н. Разработка переносного и интегрированного диагностического комплекса для анализа технологических процессов обработки деталей на металлорежущих станках // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2013. – № 2. – С. 18-24.

11. Козочкин М.П., Сабиров Ф.С. Оперативная диагностика при металлообработке – проблемы и задачи // Вестник МГТУ Станкин. – 2008. – № 3. – С. 14-18.

12. Гаврилин А.Н., Виноградов А.А., Серебряков К.В. Виброрегистратор-Ф. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014661189. Заявка № 2014618793, 02.09.2014.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ОБРАЗЦАХ ГОРНЫХ ПОРОД**

*Чжан Жуйчжи*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Яворович Л.В., к.т.н., с.н.с. ПНИЛ ЭДиП*

В Томском политехническом институте в начале 70-х годов в лабораторных условиях под руководством профессора А.А. Воробьева при механическом воздействии на диэлектрические материалы были зарегистрированы электромагнитные сигналы [1]. Обнаруженное явление получило название механоэлектрических преобразований. Позже было установлено, что переход механической энергии в электромагнитную зависит от свойств исследуемых материалов. А.А. Воробьев указывал [2, 3], что все виды энергии могут переходить в механическую. Для такого перехода необходимо наличие заряженных частиц или свободных зарядов. Следовательно, причиной появления