

РАЗДЕЛ 2. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.01.015
УДК 62-531.7

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ПУТЁМ СНИЖЕНИЯ УДАРНО-ВИБРАЦИОННЫХ НАГРУЗОК

С.Е. Иванов, А.Н. Гаврилин, А.Н. Козырев, Б.Б. Мойзес

Цель работы – развитие методов вибродиагностики фрезерных металлорежущих станков и повышение их надежности посредством подбора оптимальных режимов работы. Одним из критериев повышения эффективности металлорежущих станков является увеличение их производительности за счет расширения технологических возможностей – диапазонов режимов резания. В связи с этим увеличивается вероятность назначения режимов резания, приводящих к работе металлорежущих станков в резонансных частотах. Данный аспект актуализирует вопросы проведения вибродиагностики металлорежущих станков для уменьшения вероятности появления резонансных режимов. Данное исследование направлено на развитие методов вибродиагностики фрезерных металлорежущих станков. Предложена принципиальная схема вибродиагностики и описана методика проведения испытаний, разработан план эксперимента. Проведен трехфакторный эксперимент при изменении в заданных диапазонах частоты вращения шпинделя, подачи и глубины резания. Получены диаграммы уровня вибрации в зависимости от назначенных режимов резания, позволившие выбрать оптимальные режимы, обуславливающие работу технологической системы «станок-приспособление-инструмент-деталь» при меньшем уровне вибрации. Сделан вывод о перспективности применения разработанной методики вибродиагностики для повышения эффективности работы фрезерного металлорежущего станка. Методика испытаний позволяет определять крест-фактор, по значению которого можно сделать вывод о неисправности элементов привода.

Ключевые слова: металлообработка, фрезерный станок, вибродиагностика, снижение уровня вибраций, качество обработки, надежность, режимы резания, крест-фактор

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность применения металлорежущих станков характеризуется рядом показателей, основные из которых показатели производительности, точности и надежности. В связи с этим, основными направлениями развития металлообработки стало расширение технологических возможностей станков за счет увеличения диапазона регулирования режимов резания (частоты вращения и подачи) и применения высокоизносостойкого инструмента. Это позволило вести обработку на высоких скоростях и (или) с большей глубиной резания.

Возможность более широкой регулировки режимов резания и интенсификация режимов резания привели к увеличению вероятности назначения режимов резания, обуславливающих работу технологической системы (ТС) «станок-приспособление-инструмент-деталь» в резонансе [1–3].

При работе фрезерных станков значительное влияние на возникновение колебаний оказывает не просто процесс резания, а его ударный характер. Поэтому важным для обеспечения работоспособности станков является

проведение их испытаний на виброустойчивость в процессе резания.

Интенсивное развитие в настоящее время получили эксперименты по вибродиагностике в процессе резания, по результатам которых строятся амплитудно-частотные характеристики (АЧХ). Данные АЧХ позволяют установить взаимосвязь между назначенными режимами резания и уровнем вибрации элементов ТС, тем самым устанавливать технологические режимы с учетом динамических характеристик ТС [4, 5].

АКТУАЛЬНОСТЬ

Одна из перспективных методик проведения виброиспытаний фрезерных станков основана на применении мобильных диагностических комплексов [6]. В работах [7, 8] продемонстрировано применение одного из разработанных мобильных диагностических комплексов (К-5101) со специальным программно-математическим обеспечением (СПМО) «Вибро-регистратор-Ф» [9] при вибрационной диагностике токарных станков. В дальнейшем, после апробирования диагностического комплекса в реальных производственных условиях, СПМО было модернизировано в рабочую версию

«Виброрегистратор-У» [10], доработанную в зарегистрированную версию «Виброрегистратор-М2» [11, 12].

Работы продемонстрировали перспективность их продолжения при диагностике станков других технологических типов.

Цель работы повысить эффективность применения металлорежущего станка фрезерной технологической группы путем снижения ударно-вибрационных нагрузок при обработке заготовок, а также отработать применение модернизированного СПМО «Виброрегистратор-М2» мобильного диагностического комплекса при вибрационной диагностике.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Методика проведения эксперимента заключается в следующем.

1. Выбор объекта вибродиагностики и диагностического комплекса

Для проведения эксперимента выбраны следующие элементы ТС (рис. 1):

- фрезерный станок модели 675П;
- концевая фреза диаметром $d=26$ мм с числом зубьев $z=5$;
- заготовка призматической формы из материала – Сталь 45;
- приспособление для закрепления заготовки – тиски.

— В качестве информационно-измерительного комплекса использован мобильный диагностический комплекс К-5101, в состав которого входят:

- датчики – акселерометры AP2037 (чувствительностью 10...100 мВ/г, частотным

диапазоном 0,5...15 000 Гц);

— измерительный модуль AP2037-100 - выполнение функции аналогово-цифрового преобразователя;

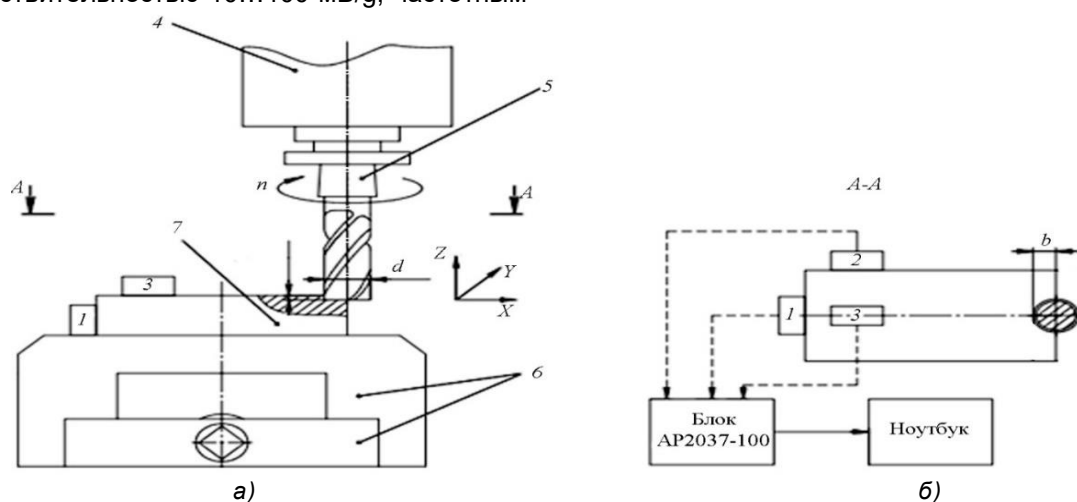
— ноутбук с установленным СПМО «Виброрегистратор-М2», позволяющим визуализировать временной сигнал, строить спектрограммы, формировать отчетность о виброиспытаниях в формате документа Microsoft Word.



Рисунок 1 – Фотография ТС с датчиками

2. Разработка принципиальной схемы эксперимента

Принципиальная схема эксперимента и блок схема информационно-измерительной системы показана на рисунке 2.



а – принципиальная схема обработки;

б – блок схема информационно-измерительного комплекса;

1–3 – датчики; 4 – шпиндель; 5 – фреза; 6 – тиски; 7 – заготовка

Рисунок 2 – Принципиальная схема эксперимента

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ПУТЁМ СНИЖЕНИЯ УДАРНО-ВИБРАЦИОННЫХ НАГРУЗОК

Для проведения эксперимента (вибродиагностики) проведена наладка ТС, в ходе которой:

- тиски 6 устанавливаются на столе фрезерного станка и закрепляются в Т-образных пазах стола крепежными элементами;
- в тисках 6 базируется и закрепляется заготовка 3;
- в шпинделе станка 4 устанавливается инструмент – концевая фреза 5;
- датчики 1–3 мобильного диагностического комплекса при помощи магнитов устанавливаются на заготовку по осям регистрации вибраций; дополнительный датчик (рис. 1) установлен на шпиндельной бабке.

3. Наладка мобильного диагностического комплекса

Наладка комплекса заключается в подключении датчиков к измерительному модулю, модуля к ноутбуку, комплекса к питанию.

Подключение осуществляется через типовые разъемы, поэтому производится удобно и быстро.

4. Настройка мобильного диагностического комплекса

При настройке мобильного комплекса производится:

- цветовая идентификация каналов датчиков на ноутбуке посредством вынужден-

ного возбуждения ударной нагрузки (постукиванием) на чувствительной поверхности акселерометра;

— настройка программной оболочки СПМО, заключающаяся в:

- выборе регистрируемого параметра (виброускорения, виброскорости, виброперемещения);
- назначении инструмента и описании его параметров, например, фреза концевая, диаметр, число зубьев, угол наклона винтовой линии и т.д.;
- выбор типа фильтра (Баттерворта, Чебышева и др.) и установка его характеристик (частота пропускания и задерживания, порядок).

5. Разработка плана эксперимента

Для вибродиагностики фрезерного станка принято решение провести трехфакторный эксперимент, план которого представлен в ниже (табл. 1).

6. Проведение эксперимента

Цель эксперимента – определение оптимальных режимов процесса резания в выбранных диапазонах (табл. 1) варьирования:

- частоты резания n ;
- глубины резания t ;
- подачи s .

Под оптимальностью понимается работа на режимах резания с относительно низким уровнем вибрации.

Таблица 1 – План эксперимента

№ пп	n , об/мин	t , мм	s , мм/мин	№ пп	n , об/мин	t , мм	s , мм/мин	№ пп	n , об/мин	t , мм	s , мм/мин
1	400	0,5	20	10	500	0,5	20	19	630	0,5	20
2			40	11			40	20			40
3			63	12			63	21			63
4		1	20	13		20	22	20			
5			40	14		40	23	40			
6			63	15		63	24	63			
7		1,5	20	16		20	25	20			
8			40	17		40	26	40			
9			63	18		63	27	63			

Первичной задачей эксперимента стала регистрация такого параметра процесса резания, как виброскорости, а именно ее пикового и среднеквадратичного значений (СКЗ).

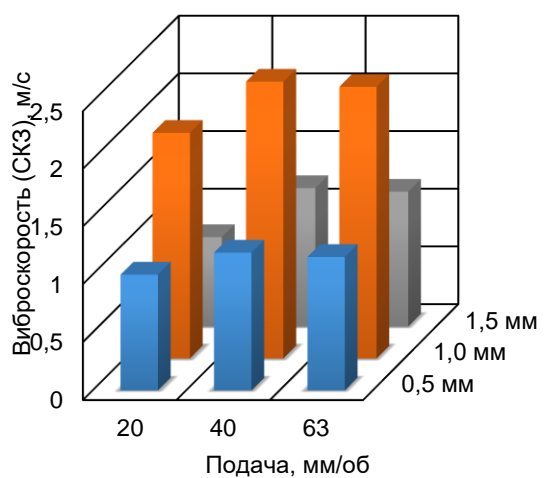
Для наглядности результатов эксперимента построены диаграммы (рис. 3)

Крест-фактор несет информацию о количестве ударов во временном сигнале, которые могут быть следствием чрезмерного износа подшипников качения, кавитацией и износом зубьев [13, 15, 16].

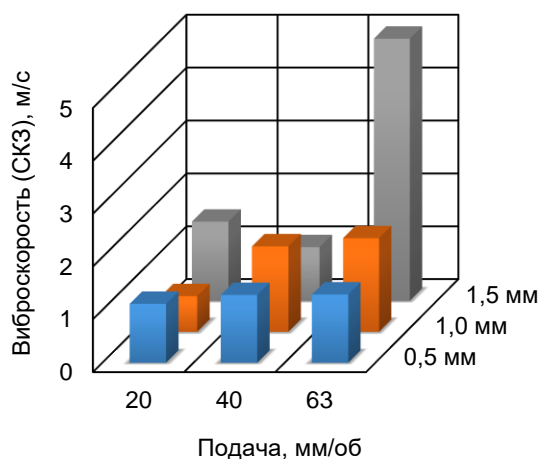
Параллельно СПМО фиксирует пиковое значение регистрируемого параметра. Это позволяет рассчитать значение крест-фактора [13, 14]:

$$CF = \frac{Peak}{RMS}, \quad (1)$$

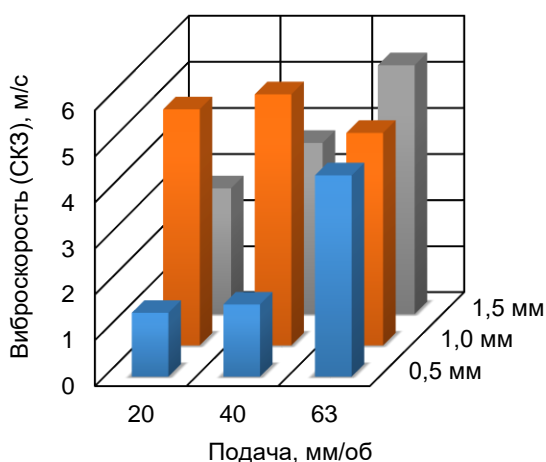
где Peak – пиковое значение временного сигнала (в нашем случае виброскорости), RMS – СКЗ сигнала.



а)



б)



в)

а) $n=400$ об/мин; б) $n=500$ об/мин;
в) $n=630$ об/мин

Рисунок 4 – СКЗ виброскорости (датчик №1)

Важность информации такого рода обусловлена тем, что при анализе получаемых спектрограмм разница между ударами и «белым шумом» отсутствует, а также применением крест-фактор для мониторинга для за увеличением/уменьшением числа ударов в зависимости от факторов технологического процесса. В таблице приведены результаты расчета значений крест-фактора (1) для 27 вариантов (табл. 1).

Таблица 2 – Значение крест-фактора

№	CF	№	CF	№	CF
400 об/мин		500 об/мин		630 об/мин	
1	4,9	10	4,12	19	4,34
2	4,33	11	3,87	20	3,80
3	4,01	12	3,57	21	2,55
4	3,55	13	5,22	22	2,45
5	3,16	14	5,23	23	2,45
6	3,78	15	4,97	24	3,19
7	5,09	16	5,67	25	2,80
8	4,08	17	4,03	26	2,35
9	3,92	18	2,80	27	3,07

7. Анализ данных и рекомендации

Анализ вибрационных диаграмм (рис. 4) для выбранных значений режимов резания (табл. 1) позволяет сделать выводы.

Чистовое фрезерование заготовки на частоте 400 об/мин при глубине резания $t=1$ мм является не обоснованным не зависимо от величины подачи (рис. 4, а), т.к. СКЗ виброскорости возрастает в зависимости от величины подачи в 1,95...2,04 раза, чем при $t=0,5$ мм. В связи с этим, если при назначении на основе рекомендаций [15, 17] глубины $t=1$ мм расчеты приводят к необходимости выбора на фрезерном станке частоты 400 об/мин, есть смысл подобрать другие режимы резания.

Категорически запрещается назначать сочетание режимов (рис. 4, б): $s=63$ мм/мин, $t=1$ мм, $n=500$ об/мин (вариант №18, табл. 1) – уровень вибрации возрастает в 3,3 раза по сравнению с подачей в 20 мм/мин и в 4,87 раза – с подачей в 40 об/мин.

Для третьей вибрационной диаграммы (рис. 4, в) с точки зрения качества получаемой поверхности – предпочтительнее варианты сочетания режимов резания №19, 20 (табл. 1).

Дополнительную информацию об эксперименте получаем из таблицы 2.

Относительно высокие показатели крест-фактора 2,80...5,67 позволяет сделать вывод о вероятном чрезмерном износе подшипников качения, являющимся следствием наличия ударов.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ПУТЁМ СНИЖЕНИЯ УДАРНО-ВИБРАЦИОННЫХ НАГРУЗОК

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика проведения вибрационных испытаний фрезерных станков [18] на основе мобильного диагностического комплекса «Виброрегистратор-М2».

Применение данного комплекса:

— перспективно при вибродиагностике элементов технологической системы для обработки призматических заготовок;

— позволяет определить режимы обработки с наименьшим уровнем вибрации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болдин Л.А. Металлорежущие станки. Вопросы эксплуатации/ Л.А. Болдин. – М.: МАШГИЗ – 1957. – 260 с.

2. Синопальников В.А., Григорьев С.Н. Надежность и диагностика технологических систем. – М.: Высшая школа, 2005. – 343 с.

3. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б. Диагностика технологических систем: учебное пособие. Часть 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 120 с.

4. Болсуновский С.А., Вермель В.Д., Губанов Г.А. Кажан А.В. Опыт изготовления лопаток модели турбокомпрессора с повышенной точностью в условиях опытного производства // САПР и графика. 2009. – № 3. – С. 80-82.

5. Болсуновский С.А., Вермель В.Д., Губанов Г.А., Качарова И.Н., Леонтьев А.Е. Расчетно-экспериментальная оценка рациональных технологических параметров высокопроизводительной фрезерной обработки в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства аэродинамических моделей самолетов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. – Т. 14, №4 (2). – С. 374-379.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2009613214 Российская Федерация. Программный комплекс сбора, обработки и анализа вибрационных сигналов nkRecorder / Кочинев Н.А., Сабиров Ф.С., Козочкин М.П. – ОБПБТ № 4 (69), 2009 – 1 с.

7. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б. Метод оперативной диагностики металлорежущего станка для обработки заготовок типа тел вращения // Контроль. Диагностика. – 2013. – №9 – С. 81-84.

8. Гаврилин А.Н. Метод снижения уровня вибраций при механической обработке // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 11. – С. 23-26.

9. Gavrilin A., Moyzes B., Cherkasov A., Mel'nov K., Zhang X. Mobile complex for rapid diagnosis of the technological system elements // MATEC Web of Conferences (2016), 7, 01078.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014661189 Российская Федерация. Виброрегистратор-Ф / Гаврилин А.Н., Виноградов А.А., Серебряков К.В. – №2014618793; поступл. 02.09.2014; зарегистр. 24.10.2014. – 1 с.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614049 Российская Федерация. Виброрегистратор-М2 / Гаврилин А.Н., Серебряков К.В., Мельнов К.В., Хайруллин А.Р., Мойзес Б.Б. – №2017611112; поступл. 13.02.2017; зарегистр. 05.04.2017. – 1 с.

12. Гольдштейн А.Е., Вавилова Г.В. Технологический контроль погонной емкости электрического кабеля в условиях значительных изменений солености воды // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 9. – С. 57-60.

13. Alan Friedman. Что такое «крест-фактор» и почему он используется? // Вибрационная диагностика. – 2005. – №1. – С.30-31.

14. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б. Диагностика технологических систем. Часть 2: учебное пособие / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 128 с.

15. Справочник технолога-машиностроителя в 2 т. Т.2 / под ред. А. М. Дальского [и др.]. – 5-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2003. – 944 с.

16. Starikova N.S., Redko V.V., Vavilova G.V. Comparison of Cable Insulation Control in Weak and Strong Electric Fields // Applied Mechanics and Materials: Scientific Journal. – 2015. –Vol. 756. – pp. 486-490. doi: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.756.486>

17. Кокорева А.Е., И.В. Плотникова И.В., Гальцева О.В., Китаева М.В. Контроль точности результатов измерений // Ползуновский вестник / Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (АлтГТУ). – 2016. – Т. 2, № 4. – С. 84-87

18. Глазырина Е.Д., Мустафина Р.М., Плотникова И.В., Чичерина Н.В. Устойчивое развитие и экологическая компетентность студентов технических специальностей // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 4-1. – С. 89-92

Гаврилин Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент отделения материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», e-mail: tom-gawral@list.ru.

Мойзес Борис Борисович, канд. техн. наук, доцент отделения контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», e-mail: mbb@tpu.ru.

Иванов Сергей Евгеньевич, магистрант отделения материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», e-mail: ivanov_94_94@inbox.ru.

Козырев Александр Николаевич, магистрант отделения материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», e-mail: kozyrev_alexandr@mail.ru.