

(кроме случая начального состояния $\text{pump}=0$). Когда счетчик достигает значения 255 вновь происходит переход на стадию update.

Заключение. Таким образом, с помощью современных технологий многократно облегчаются процессы, которые раньше требовали высокого напряжения человеческих сил, ведь процесс затирания требует: перемешивания приготавливаемого сула, контроля температуры. Для всего этого нужно постоянное присутствие человека, а HERMS пивоварня осуществляет все процессы приготовления сула в автоматическом режиме. Еще одним плюсом является то, что работу установки можно задать с помощью сравнительно несложной программы. Модель реализуется в современных средах программирования, что и было описано в данной статье.

Список литературы:

1. Я. Дворский, К. Лензе. Катехизис пивоваренной практики. – ВАИ, Москва, 1928. – 278 с.
2. Teterin E.A., Stolov E.A. Automated water heating process with LabVIEW // Applied Mechanics and Materials (in press).
3. Магда Ю.С. Практический курс для инженеров и разработчиков – ДМК Пресс, 2012 – 208 с.
4. Сергиенко А.М. VHDL для проектирования вычислительных устройств – ТИД «ДС» – 208 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

А.Н. Гаврилин, к.т.н., доц.,

Б.Б. Мойзес, к.т.н., доц.

Р.М. Фасхутдинов, студент гр. 8НМ31

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

тел.(3822)-419-674

E-mail: tom-gawral@list.ru

Основная тенденция развития технологий механической обработки – повышение производительности при увеличении (сохранении) уровня качества обработки. В связи с этим активно развиваются технологии высокоскоростного резания, в условиях которого явление резонанса, которое может возникнуть в технологической системе (ТС) [1], приведет к увеличению бракованных изделий, снижению качества обработки, интенсификации износа инструмента, сокращению долговечности элементов ТС. В связи с этим требуется применение специальных методик и оборудования по определению частотных зон, в которых вероятно проявление резонанса [1-5].

Подход, рассматриваемый в данной работе, основан на моделировании процессов в ТС при обработке заготовки. Моделирование процессов позволит

построить спектральные и амплитудно-частотные характеристики элементов технологической системы, тем самым определить диапазоны частот с повышенным уровнем вибрации и избежать работы в них при реальной механической обработке.

Рассмотрим моделирование процессов в ТС на примере токарной обработки (рис. 1). ТС представлена в виде дискретной упругомассовой системы (рис. 2), элементы которой описываются следующими параметрами: масса, коэффициент упругого демпфирования и коэффициент жесткости [9].

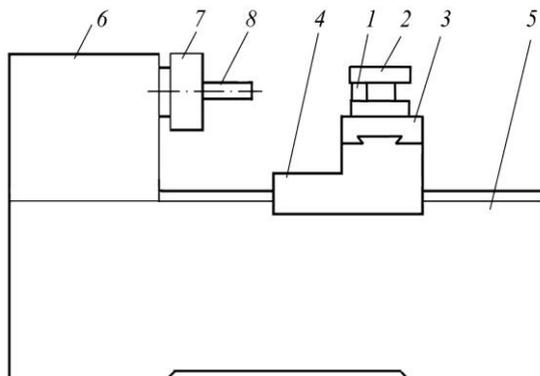


Рис. 1. Компоновка ТС: 1 – инструмент; 2 – резцедержатель;
3, 4 – поперечные и продольные салазки; 5 – станина; 6 – шпиндельная бабка;
7 – кулачковый патрон; 8 – заготовка

При этом исследовалось поведение ТС в направлении действия проекции силы резания на ось $x - P_x(t)$ (горизонтальная проекция силы резания перпендикулярная оси обработки). Данная проекция выбрана по двум причинам: 1) проекция силы в данном направлении в первую очередь влияет на точность обработки; 2) для того, чтобы иметь возможность сравнить результаты теоретических и экспериментальных исследований [2].

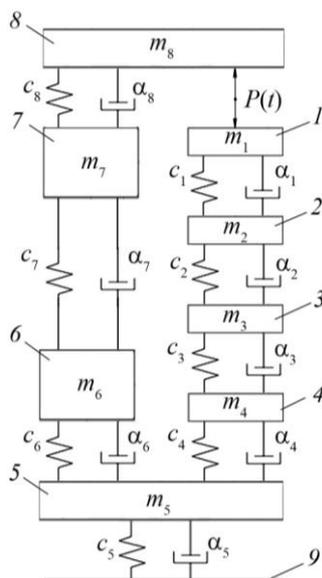


Рис. 2. Расчетная схема ТС: 1 – 9 – блоки системы; 1 – инструмент; 2 – резцедержатель; 3, 4 – поперечные и продольные салазки; 5 – станина; 6 – шпиндельная бабка; 7 – кулачковый патрон; 8 – заготовка; 9 – фундамент
 m_i, c_i, α_i – масса, коэффициенты жесткости и демпфирования.

При моделировании принят гармонический закон изменения силы $P(t)$, которая содержит постоянную P_{0x} и переменную P_0 составляющие [2]

$$P(t) = P_{0x} + P_0 \cos(\omega \cdot t) \quad (1)$$

где P_0 – амплитудное значение переменной возмущающей силы; $\omega = 2 \pi f$ – угловая частота (частота), рад/с, f (Гц); t – время, с; P_{0x} – составляющая силы резания в радиальном направлении к оси обрабатываемой заготовки.

Данная проекция выбран из соображений, что она формирует отклонения режущей кромки резца, которые максимально отражаются на точности и качестве обрабатываемой заготовки: волнистость, шероховатость. Закон изменения силы достаточно «близкий» к гармоническому получается, например, при точении заготовки имеющей некоторый эксцентриситет, возникающий из за погрешностей закрепления или геометрических погрешностей патрона или заготовки и т.п., более сложные законы изменения силы резания будут рассмотрены в дальнейших работах.

Система линейных неоднородных дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} m_1 a_1 + \alpha_1 \Delta V_{1-2} + c_1 \Delta x_{1-2} &= P(t); \\ m_2 a_2 - \alpha_1 \Delta V_{1-2} + \alpha_2 \Delta V_{2-3} - c_1 \Delta x_{1-2} + c_2 \Delta(x_2 - x_3) &= 0; \\ m_3 a_3 - \alpha_2 \Delta V_{2-3} + \alpha_3 \Delta V_{3-4} - c_2 \Delta x_{2-3} + c_3 \Delta(x_3 - x_4) &= 0; \\ m_4 a_4 - \alpha_3 \Delta V_{3-4} + \alpha_4 \Delta V_4 - \alpha_5 \Delta V_{4-5} - c_3 \Delta x_{3-4} + \\ + c_4 x_4 - c_5 \Delta x_{4-5} &= 0; \\ m_5 a_5 - \alpha_5 \Delta V_{4-5} + \alpha_6 \Delta V_{5-6} - c_5 \Delta x_{4-5} + c_6 \Delta x_{5-6} &= 0; \\ m_6 a_6 - \alpha_6 \Delta V_{5-6} + \alpha_7 \Delta V_{6-7} - c_6 \Delta x_{5-6} + c_7 \Delta x_{6-7} &= 0; \\ m_7 a_7 - \alpha_7 \Delta V_{6-7} + \alpha_8 \Delta V_{7-8} - c_7 \Delta x_{6-7} + c_8 \Delta x_{7-8} &= 0; \\ m_8 a_8 - \alpha_8 \Delta V_{7-8} - c_8 \Delta x_{7-8} &= P(t); \end{aligned} \quad (2)$$

где m_i , x_i , V_i , a_i , c_i , α_i – соответствующие узлам ТС (рис. 1, 2) массы, виброперемещение, виброскорости, и виброускорения, коэффициенты жесткости и упругого демпфирования (рис. 2); $\Delta x_{i-1} - i \Delta V_{i-1} - i$ – разница соответствующих значений перемещений и виброскоростей.

По результатам моделирования рассчитываются спектрограммы, пример одной из которых приведен ниже (рис. 3).

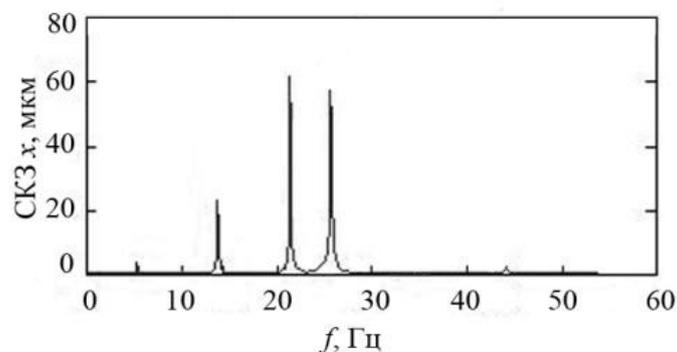


Рис. 3. Спектрограмма СКЗ вибро-перемещения резцедержателя при частоте вращения шпинделя 1500 об/мин (25 Гц).

По результатам моделирования (рис. 3) можно выделить частоты, на которых прослеживается явление резонанса: 14, 21,8 и 25 Гц.

Для сравнения результатов теоретических и эмпирических исследований приведены результаты эксперимента [2], а именно, спектрограмма СКЗ резцедержателя станка на частоте 1500 об/мин по показаниям датчика, установленного на резцедержателе в направлении действия составляющей силы резания P_x (рис. 4).

Следует отметить, что при моделировании численные значения масс, коэффициентов жесткости и упругого демпфирования элементов ТС принимались равными экспериментальным параметрам, т.к. были определены опытным путем.

Уровень вибросигнала по результатам теоретических и экспериментальных исследований на частотах 14, 21,8 и ~25 Гц соответственно: 19, 62, 60 мкм и 23, 56, 55 мкм. Таким образом, относительная погрешность исследований не превышает 13-15 %.

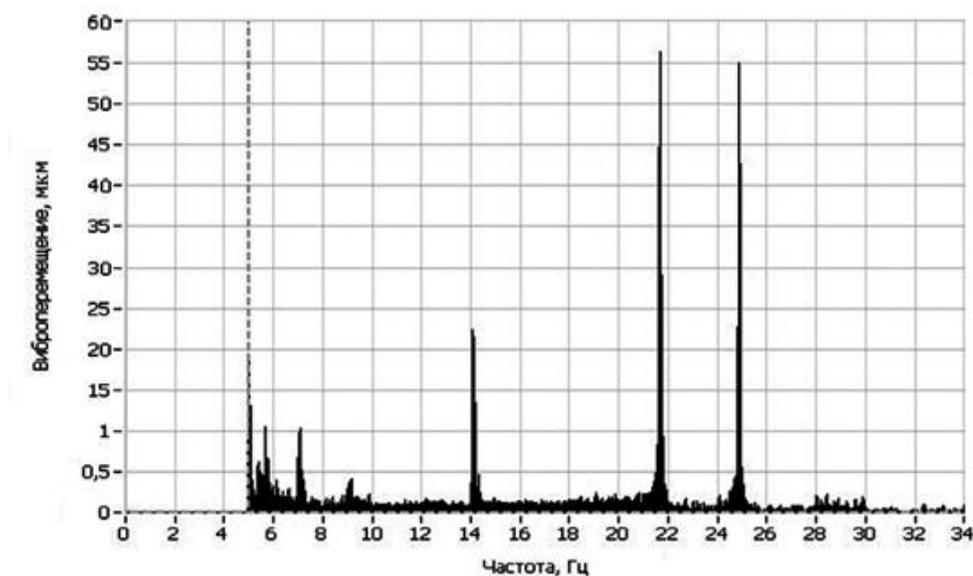


Рис. 4. Экспериментальная спектрограмма СКЗ резцедержателя станка на частоте 1500 об/мин (25 Гц).

Различие результатов теоретических и экспериментальных исследований объясняется тем, что при моделировании не учитывалась нелинейность реальной ТС, не учитывались также неизбежные при эксперименте шумы от работы узлов ТС: подшипников, ходового винта и т.д., а также, что при моделировании принят гармонический закон изменения силы $P(t)$. Таким образом, рассмотренная математическая модель может с достаточной для инженерных расчетов точностью [10] применяться для проведения исследований поведения работающей ТС посредством моделирования процессов, происходящих в ней. Это позволяет при проектировании техпроцесса назначать такие режимы технологического процесса, при которых уровень вибрации в элементах ТС, определяющих точность и качество обработки, будет минимальным.

Работа выполнена при поддержке Фонда В. Потанина, исследовательский проект № GK140000513.

Список литературы:

1. Болсуновский С.А., Вермель В.Д., Губанов Г.А., Качарава 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 РАН. – 2012. – Т. 14. – №4 (2). – С. 374–379.
2. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б. Метод оперативной диагностики металлорежущего станка для обработки заготовок типа тел вращения // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 9. – С. 81–84.
3. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б., Черкасов А.И. Конструктивные методы повышения виброустойчивости металлорежущего оборудования // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 13. – С. 82–87.
4. Гаврилин А.Н. Метод снижения уровня вибраций при механической обработке // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 11. – С. 23–26.
5. Гаврилин А.Н., Рожков П.С., Ангаткина О.О. Инновационная разработка в области повышения производительности и точности лезвийной обработки на станках с ЧПУ // Контроль. Диагностика. – 2011. – № 2. – С. 52–55.
6. Лукьянов А.В., Алейников Д.П. Исследование пространственной вибрации обрабатываемого центра в режиме фрезерования // Системы. Методы. Технологии. – 2014. – № 1. – С. 96–101.
7. Городецкий Ю.И., Стребуляев С.Н., Майорова Ю.Е. Исследование автоколебаний динамической системы фрезерного станка с нелинейным элементом // Вестник научно-технического развития. – 2009. – № 9 (25). – С. 18–25.
8. Колокольцев В.А. Расчет несущих систем машин при случайных стационарных колебаниях: автореферат дисс. кандидата технических наук. – Саратов, 2000. – 32 с.
9. Григорьев Н.В. Вибрация энергетических машин. – Л: Машиностроение, 1974. – 464 с.
10. Н.А. Самойлов. Основы применения ЭВМ в химической технологии: Учеб. Пособие. – Уфа: Уфим. нефт. ин-т., 1988. – 92 с.

**ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*А.В. Иоппа, к.т.н., доц.,
А.Е. Чуприн, студент гр. 8НМ31
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
тел. (3822)-419-674
E-mail: chuprin.antonkie@mail.ru*

Диагностика гидравлических систем подразумевает определение характера состояния какого-либо элемента системы по косвенным признакам или параметрам