

**Методическое обеспечение системы мониторинга  
технологического процесса чистового шлифования****Methodical maintenance of the monitoring system  
of the technological process finish grinding**

**Аннотация.** Рассмотрена структура системы мониторинга технологического процесса шлифования на основе анализа динамики изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы. Предложен алгоритм обработки информационных потоков и высокоэффективного управления на основе мониторинга процессов круглого наружного шлифования.

**Abstract.** The article describes the structure of the system of monitoring the technological process of grinding on the basis of the analysis of the dynamics of change of the output variables and parameters of the state of the technological system. Algorithm for processing of information flows and highly efficient management on the basis of the monitoring process round outer grinding is proposed.

**Ключевые слова:** чистовое шлифование; мониторинг; диагностика; управление; алгоритм.

**Key words:** finish grinding; monitoring; diagnostics; control; algorithm.

**Постановка проблемы.** Характеристикой современного машиностроительного производства является существенное повышение требований к качеству и точности изготовленных деталей. Это в свою очередь требует оснащения металлообрабатывающих станков высокоэффективными управляемыми приводами, специальными информационными системами и другими функциональными устройствами с улучшенными техническими характеристиками.

На операциях круглого наружного шлифования, которое является наиболее широко распространенным методом окончательной обработки, одним из направлений обеспечения качества изготовления деталей является применение системы мониторинга процесса резания и технологического оборудования.

Мониторинг технологического процесса объединяет в себе диагностику, идентификацию, прогнозирование и управление состоянием технической системой на основе анализа полученной информации, а также принятие решения о введении коррекции [11].

**Анализ литературы.** Существует множество методов диагностики и управления, обеспечивающих максимальную производительность и качество изготовления детали. На практике исследователи при диагностике процесса шлифования пользуются определенными методами и набором диагностических параметров в зависимости от поставленных задач.

Первые системы диагностики и адаптивного управления были разработаны под руководством Б. С. Балакшина [3] и получили дальнейшее развитие в работах Б. М. Базрова [2], В. Н. Подураева [9], В. Н. Михелькевича [4], Ю. М. Соломенцева, В. Г. Митрофанова, В. А. Тимирязева [1], М. Д. Узуняна [12], Ю. В. Петракова [8], Е. С. Пуховского [10] и др.

Рассмотренные системы диагностики и управления позволяют найти пути их совершенствования. Однако данные системы не могут обеспечить полное использование возможностей оборудования с программным управлением, так как не полностью учитывают фактическое состояние технологической системы или частично отражают изменение параметров системы с большим запаздыванием.

Мониторинг технологического процесса охватывает оборудование, процесс обработки и изготавливаемые детали (до и после обработки) [5].

Несмотря на значительный объем известных работ в области мониторинга, существующие методы не полностью учитывают особенности технологического процесса шлифования. Это связано с большим влиянием на производительность и качество параметров технологической системы, изменяющихся в процессе обработки.

**Цель работы** – совершенствование системы мониторинга процесса круглого наружного шлифования по динамики изменения выходных переменных.

**Изложение основного материала.** Для построения эффективной системы мониторинга необходимо разработать научное обоснование технических решений и методологию системы и принципы ее функционирования.

При проектировании автоматизированных систем должны учитываться особенности операций обработки резанием [6]:

1. Металлорежущие системы работают в циклическом режиме, при обработке каждой новой заготовки система возвращается в состояние, близкое к начальному.

2. Наблюдается тесная связь выходных переменных с входными переменными, алгоритмом управления и параметрами технологической системы. Параметры качества детали зависят от условий выполнения не только заключительной части процесса, но и всего цикла обработки.

3. На процесс обработки оказывает воздействие большое число возмущающих факторов, что нарушает функциональные связи выходных переменных с входными, а также параметрами технологической системы.

4. В процессе резания изменяются параметры не только обрабатываемой детали, но и технологической системы. При обработке каждой новой заготовки система приобретает новое исходное состояние.

Как правило, учитываются первые три особенности операций обработки резанием, и недостаточно внимания уделяется четвертой особенности. Изменения же параметров состояния системы могут быть столь значительны, что при обработке некоторой  $j$ -й заготовки она становится непригодной и требует реставрации или замены.

Исследования, проведенные в работе [7], показывают, что при изменении вектора параметров состояния технологической системы не только изменяются численные значения выходных переменных, но в общем случае может измениться и функционал, отражающий закон преобразования параметров объекта. Если руководствоваться стратегией оптимального управления, это означает, что алгоритм изменения управляющих воздействий должен корректироваться для каждого  $j$ -го цикла работы системы. Таким образом, при проектировании автоматизированных систем становится актуальной задача мониторинга, то есть диагностики и управления на основе динамики изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы.

Системы мониторинга по характеру применяемой информации можно разделить на использующие априорную, текущую и апостериорную. При этом возможны и комбинированные методы.

В процессе эксплуатации технологических систем, как правило, необходимо реализовывать все методы. Это связано с тем, что одни параметры состояния системы меняются медленно и могут считаться постоянными в течение нескольких циклов, другие меняются быстро и требуют учета в течение всего цикла. К первым, например, относятся параметры оборудования, смазочно-охлаждающих технологических средств, ко вторым – параметры режущего инструмента.

При построении алгоритма системы мониторинга процессов круглого наружного шлифования (рис. 1) используем комбинированный метод. Алгоритм системы мониторинга использует априорную информацию и изменения текущей информации выходных переменных.

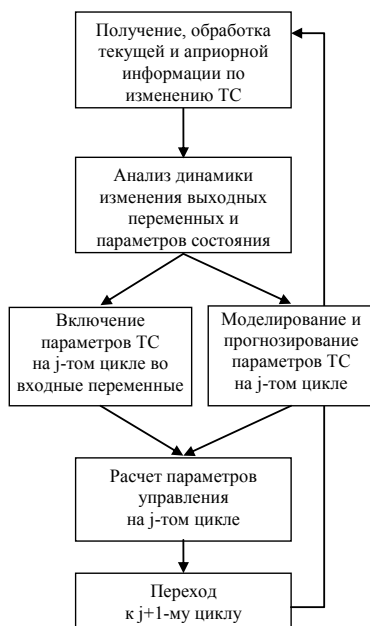


Рис. 1. Алгоритм мониторинга процессов шлифования по априорной информации и динамике изменения текущей информации

Априорная информация о состоянии технологической системы включает результаты изучения процесса формообразования на основе использования математических моделей операций резания, а также результаты, полученные на основе аппроксимации изменений параметров системы по результатам замеров в моменты времени  $t-k$ ,  $k=1,2,\dots,t-1$  с последующей интерполяцией данных на момент времени  $t$ . Алгоритм дополняется блоком прогнозирования состояния системы в момент времени  $t$ . Текущая информация включает этапы получения и обработки информации о состоянии технологической системы по результатам измерений обрабатываемой детали  $j$ -го цикла обработки и от диагностических датчиков. Алгоритм дополняется блоком анализа

динамики изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы.

К основным параметрам состояния технологической системы отнесем: точность станка, его жесткость, точность приспособления, свойства СОТС, параметры режущего инструмента. Учитывая, что параметры станка, приспособления и СОТС могут быть замерены и в течение одного цикла изменяются несущественно, они при обработке  $j$ -й заготовки могут быть отнесены к входным переменным. Из параметров режущего инструмента выделим диаметр круга и параметры состояния его рабочей поверхности. В процессе эксплуатации диаметр круга изменяется в 1,5–2 раза (например, с 750 мм до 400 мм). С уменьшением диаметра уменьшается скорость резания, снижается производительность процесса, увеличиваются силы резания и шероховатость поверхности. Диаметр круга в процессе его эксплуатации уменьшается вследствие износа инструмента и в результате его правки. Величина износа инструмента составляет от 10 до 20 % от общего его расхода, остальная часть приходится на правку. Размерный износ инструмента при обработке одной поверхности, как правило, не превышает 20...40 мкм. Следовательно, изменением диаметра круга в процессе реализации  $j$ -го цикла при шлифовании с прибором активного контроля можно пренебречь. Информацию об исходном размере круга в начале  $j$ -го цикла можно получить от путевого датчика приспособления для правки круга либо рассчитать по начальному диаметру, числу правок круга до  $j$ -го цикла, толщине слоя, снимаемого с рабочей поверхности круга при одной правке.

Состояние рабочей поверхности шлифовального круга изменяется в процессе реализации каждого цикла. На вершинах режущих кромок возникают площадки износа, изменяется число и распределение зерен на рабочей поверхности инструмента, что приводит к снижению режущей способности инструмента, увеличению сил резания, отклонений формы детали, шероховатости обрабатываемой поверхности. Состояние рабочей поверхности инструмента необходимо отнести к группе параметров, изменениями которых нельзя пренебречь за период  $j$ -го цикла. Кроме того, эти параметры не поддаются непосредственному контролю и изменению. Следовательно, влияние параметров состояния на управляющее воздействие может быть учтено по априорной информации.

**Выводы.** Рассмотренный пример показывает, что для создания эффективной системы мониторинга технологических процессов шлифования на основе динамики изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы необходимо:

- провести классификацию изменений параметров состояния технологической системы;
- установить функциональные или статистические связи выходных переменных от изменений параметров состояния технологической системы;
- разработать методику определения изменений параметров состояния технологической системы по динамике изменения выходных переменных.

#### **Список литературы**

1. *Адаптивное* управление технологическими процессами / Ю. М. Соломенцев, В. Г. Митрофанов, К. В. Рыбкин, В. А. Тимерязев. Москва: Машиностроение, 1980. 536 с.
2. *Базров Б. М.* Повышение точности деталей путем управления процессом их обработки / Б. М. Базров // *Машиностроитель*. 1979. № 3. С. 11–12.
3. *Балакишин Б. С.* Основы технологии машиностроения / Б. С. Балакишин. Москва: Машиностроение, 1969. 358 с.
4. *Михелькевич В. Н.* Автоматическое управление шлифованием / В. Н. Милькевич. Москва: Машиностроение, 1975. 304 с.
5. *Мониторинг* станков и процессов шлифования в подшипниковом производстве / А. А. Игнатьев, М. В. Виноградов, В. В. Горбунов [и др.]. Саратов: СГТУ, 2004. 124 с.
6. *Новоселов К. Ю.* Анализ возмущений при обработке заготовок на станках с ЧПУ / К. Ю. Новоселов // *Оптимизация производственных процессов: научно-технический сборник*. Севастополь: [б. и.], 1997. Вып. 6. С. 87–93.
7. *Новоселов Ю. К.* Диагностика операций чистового шлифования по динамике изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы / Ю. К. Новоселов, Э. Э. Ягьяев, Н. Р. Кириенко // *Вестник Севастопольского национального технического университета: сборник научных трудов*. 2010. Вып. 107. С. 170–173.
8. *Петраков Ю. В.* Теория автоматического управления технологическими системами / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. Москва: Машиностроение, 2009. 336 с.
9. *Подураев В. Н.* Технология физико-механических методов обработки / В. Н. Подураев. Москва: Машиностроение, 1988. 264 с.
10. *Пуховский Е. С.* Технологические основы гибкого автоматизированного производства / Е. С. Пуховский. Киев: Высшая школа, 1989. 240 с.
11. *Пуш А. В.* Моделирование и мониторинг станков и станочных систем / А. В. Пуш // *СТИН*. 2000. № 9. С. 12–20.
12. *Узунян М. Д.* Алмазно-искровое шлифование твердых сплавов / М. Д. Узунян. Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. 359 с.