

УДК 621.91-52

В. Ц. ЗОРИКТУЕВ

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕХАТРОННЫЕ СТАНОЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

Рассматриваются проблемы создания интеллектуальных систем управления процессами механообработки. Анализируются результаты и направления решения задач оптимизации, адаптации, самодиагностики процессов резания в мехатронных станочных системах, проводимых на кафедре АТС УГАТУ. *Мехатронные интеллектуальные станочные системы; регуляторы температуры резания; оптимизация температурно-силовых режимов резания; адаптивные системы*

Современные станочные системы в своем развитии становятся мехатронными. Управляемая механика (движение исполнительных органов машин, технологические процессы механообработки) сочетается с электронными устройствами управления, оптимальное управление технологическим процессом формируется компьютерными системами.

Основная масса изделий современного машиностроения производится с использованием механообрабатывающих процессов в станочных модулях и комплексах. Так, доля механообработки по трудоемкости при изготовлении деталей авиадвигателей составляет от 40 до 60% от общего времени изготовления этих изделий.

Высокие требования на мировом рынке к качеству выпускаемой продукции, тенденция к созданию технологического оборудования с высокими скоростями движения (например, в станочных модулях скорости резания, по прогнозам, возрастут в ближайшее время до 1500–2000 м/мин), многономклатурность современного машиностроительного предприятия, требования освобождения людей от работы в вечернее и ночное время суток, безопасность труда и другие социально-экономические требования современного общества обуславливают необходимость перехода к безлюдной технологии, гибкому и автоматизированному производству.

Система управления металлорежущими станками в таких условиях должна обладать высокими интеллектуальными свойствами по самоприспосабливаемости к изменениям внешних условий функционирования, дрейфу характеристик и параметров объекта и устройств управления. Интеллектуальность предопределяет и способность системы самодиагностировать свое текущее состояние.

**1. ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МЕХАНООБРАБОТКИ И ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ИХ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Автоматическое управление станочной системой требует, прежде всего, полностью управляемого технологического процесса (ТП). Он вместе со станком и его приводом образует нижний уровень в иерархической системе управления автоматизированным производством. Важность автоматизации этого уровня обусловлена тем, что основной поток силовой энергии и информации проходит через него. Теория многоуровневых систем доказывает необходимость в первую очередь создания управляемого нижнего уровня. Какими бы совершенными по управляемости ни были верхние уровни, при неуправляемом нижнем уровне не будет эффективно работать вся система управления производством. Верхние уровни должны иметь возможность воздействовать на нижние, а последние — реагировать на это воздействие.

При управляемом процессе должны быть определены все основные входные воздействия, выходные переменные, которые необходимо контролировать в реальном времени, установлены зависимости (детерминированные, стохастические) между входными воздействиями и выходными переменными (математическая модель), разработаны методы их автоматического измерения и направленного изменения (преобразователи информации, исполнительные органы), алгоритмы и каналы (системы) управления.

Проблемы создания систем управления процессом механообработки обусловлены сложностью технологического процесса резания (ПР) как объекта управления — его

стохастичностью, нелинейностью, нестационарностью, многорежимностью, малым объемом априорной информации о его внутренних и внешних связях. Для достижения требуемых критериев эффективности обработки (производительности, себестоимости, качества деталей) необходимо не только применение замкнутых контуров регулирования, когда можно оптимально сочетать объемы имеющейся в наличии априорной и организуемой по каналам обратной связи апостериорной (текущей) информации, но и создание самоприспосабливающихся систем управления, позволяющих оптимизировать процесс обработки в МСС при существенном воздействии возмущений.

Известно, что основными физическими величинами, характеризующими протекание ПР, являются силовые координаты и температура резания. Исследования, проводимые на кафедре автоматизированных технологических систем (АТС) УГАТУ в течение более 30 лет, позволили теоретически обосновать и практически подтвердить возможность формирования требуемых технико-эксплуатационных показателей качества деталей авиадвигателей за счет оптимального управления температурой и силой резания в зоне обработки. Разработанные на базе этих исследований системы управления (СУ) температурно-силовым режимом металлообработки прошли многолетний опыт эксплуатации в промышленности и создали основу для анализа и дальнейшего развития этих систем.

Широкое внедрение на машиностроительных предприятиях страны разработанной на кафедре АТС УГАТУ системы управления механообработкой первого поколения в различных вариантах технической реализации позволили выявить ее достоинства и недостатки, определить пути их устранения. Уже на этом этапе своего развития СУ ПР позволяет увеличить производительность обработки резанием на 15–40%, повысить стойкость и исключить поломки режущего инструмента, поднять точность изготовления деталей и их эксплуатационный ресурс.

Наиболее успешным является создание семейства регуляторов температуры резания (РТР): РТР-1, РТР-2, РТР-4М. Наличие этих регуляторов позволяет на порядок уменьшить время технологической подготовки производства, связанное с определением рациональных режимов обработки, и существенно поднять производительность оборудования и надежность его работы. Созданные на базе этих регуляторов системы обладают свой-

ствами инвариантности к широкому изменению коэффициента передачи объекта управления, возможностью работы в условиях прерывистого резания. РТР нашли широкое применение на предприятиях авиационной, оборонной и других отраслей промышленности страны. Дальнейшим развитием идей РТР является разработанная на кафедре микропроцессорная адаптивная система управления температурно-силовым режимом обработки на базе устройства ЧПУ типа CNC для станков токарной группы (рис. 1).

## 2. ОПТИМИЗАЦИЯ И АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МЕХАНООБРАБОТКИ

Оптимизация управления процессом механообработки решается в два этапа:

1) внешняя оптимизация по статическим моделям объекта управления (процесса резания) при постоянных возмущающих воздействиях. На этом этапе определяют предварительные значения параметров процесса резания (глубина, подача, скорость резания), задающие значения управляемых параметров, ограничения на контролируемые параметры и допустимые предельные значения управляющих параметров (например, подача инструмента, скорость резания);

2) внутренняя (непрерывная) оптимизация процесса с использованием методов и средств автоматического управления ПР. Здесь управление идет в оперативном режиме, и без текущей информации о процессе резания обойтись нельзя. Алгоритмы управления должны строиться на основе динамической интерпретации процесса резания и с учетом изменяющихся во времени возмущающих воздействий.

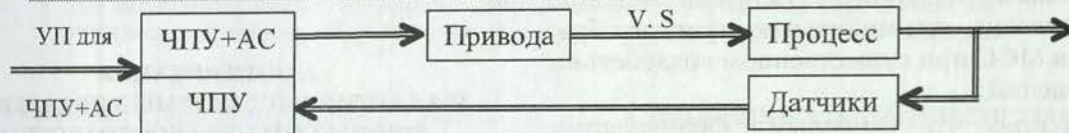
Для развития адаптивных систем, создание интеллектуальных мехатронных станочных систем требуют наличия динамических модулей процесса резания. Они необходимы при управлении по моделям и при проектировании технологии изготовления деталей в станочных системах.

При управлении и исследовании динамики ПР актуальным является создание моделей процессов изнашивания инструмента. Износ инструмента является сосредоточением проблем обрабатываемости материалов, отсюда важность определения основных факторов, определяющих условия формирования процесса изнашивания контактных поверхностей инструмента.

### Адаптивная система управления на базе устройства ЧПУ типа CNC

Адаптивная система управления АдСУ температурно-силовым режимом обработки выполнена на базе ЧПУ и состоит из программного обеспечения, входящего в состав СПО и датчиков регулируемых параметров. Предназначена для использования на станках токарной группы.

**Цель создания системы** - уменьшение возможности появления брака и повышение производительности обработки за счет адаптации к конкретным условиям обработки



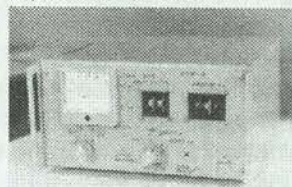
#### АдСУ поставляется в следующих вариантах:

##### 1. АдСУ температурой резания.

Служит для стабилизации температурного режима обработки. Управляет скоростью резания. Источником информации о температуре резания является естественная термопара "инструмент-деталь". Ориентирована на чистовую и получистовую виды обработки.

Достоинства:

- задание и контроль (стабилизация) температурного режима обработки;
- повышение стойкости режущего инструмента;
- улучшение качества поверхностного слоя;
- снижение вероятности появления температурных деформаций деталей;
- повышение производительности за счет адаптации режимов обработки к конкретным условиям (10-15 %).



##### 2. АдСУ силой резания.

Предназначена для стабилизации силового режима обработки. Управляет контурной скоростью подачи. Источником информации о силе резания является датчик тока привода главного движения. Рекомендуются при черновых операциях.

Достоинства:

- повышение производительности обработки на 15–25 %;
- снижение вероятности поломки режущего инструмента;
- диагностика аварийных ситуаций в зоне обработки;
- уменьшение степени наклепа обработанной поверхности детали.

#### Авторы разработки:

Уфимский государственный авиационный технический университет  
кафедра автоматизированных технологических систем  
научный руководитель д-р техн.наук, проф. Зориктуев В.Ц.

Рис. 1

На основе исследований, проведенных в УГАТУ, синтезированы модели процесса изнашивания твердосплавного инструмента при точении жаропрочных сплавов на никелевой основе и уточнены механизмы изнашивания инструмента, роль тепловых и механических процессов при этом.

Структурные схемы моделей (рис. 2, 3) получены на основе следующих допущений и условий, учитывающих физику контактных процессов, протекающих в зоне резания.

1. Рассматривается диапазон температур резания  $\Theta$  когда  $\Theta_k > \Theta \geq \Theta_0$ .  $\Theta_k$ ,  $\Theta_0$  — температура резания, относящаяся к режимам обработки соответственно с критическим износом и с минимальной интенсивностью износа инструмента. В этом диапазоне температур резания можно принять, что силы резания, оказав свое влияние через механические процессы на формирование условий приработки, влияют на износ инструмента в период его нормального изнашивания через температуру резания

$$\Theta = K_{\Theta} \cdot P_z \cdot V, \quad (1)$$

где  $P_z$  — главная (тангенциальная) составляющая силы резания;  $V$  — скорость резания;  $K_{\Theta}$  — коэффициент, определяющий величину нагрева зоны резания на единицу затраченной мощности резания.

2. Полагая, что в диапазоне температур резания ( $\Theta_k > \Theta \geq \Theta_0$ ) и соответствующем ему диапазоне скоростей резания ( $V_k > V \geq V_0$ ) фаска износа по задней поверхности инструмента играет роль стока тепла из инструмента в заготовку. Количество тепла в зоне резания уменьшается пропорционально величине ширины фаски износа инструмента  $h_3$ :

$$\Delta\Theta = K_4 \cdot \Delta h_3, \quad (2)$$

где  $K_4$  — коэффициент передачи канала обратной связи по температуре резания.

3. Износ инструмента по задней поверхности инструмента вызывает рост сил резания (ее составляющих), характер этой зависимости принимается линейным:

$$\Delta P_z = K_3 \cdot \Delta h_3, \quad (3)$$

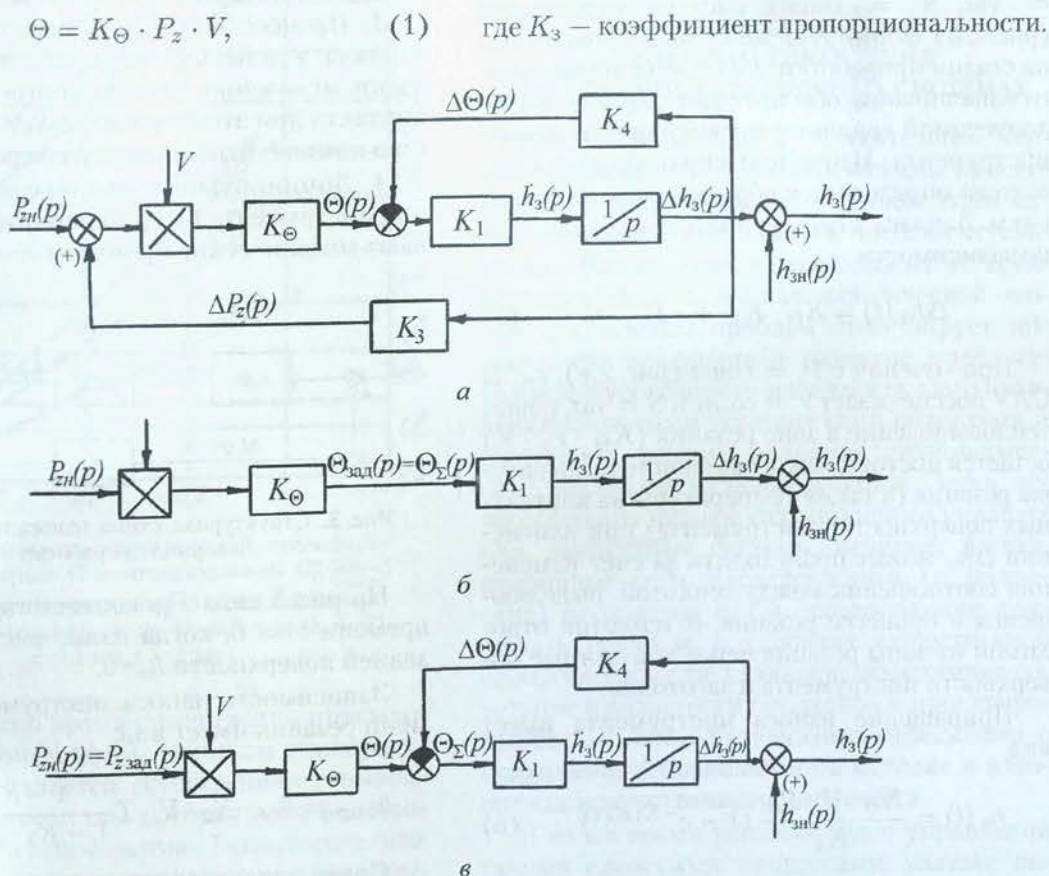


Рис. 2. Структурная схема модели износа инструмента из твердого сплава (ВК6М) при точении жаропрочных сплавов: а —  $v = \text{const}$ ,  $S = \text{const}$ ; б —  $\Theta = \text{const}$ , ( $v = \text{var}$ ,  $S = \text{const}$ ); в —  $P_z = \text{const}$ , ( $S = \text{var}$ ,  $v = \text{const}$ )

4. Каналы обратной связи по температуре и силам резания принимаются безынерционными, так как постоянная времени ПР как объекта управления ( $T_{\text{ПР}} \cong \cong 0,008$  с) существенно меньше постоянных времени приводов движения современных станков ( $T_{\text{привода}} \cong 0,04 \div 0,02$  с).

При резании с постоянными скоростями резания  $V$  и подачи инструмента  $S$  (рис. 2, а) зависимость приращения износа  $\Delta h_3(t)$  от времени резания имеет вид:

$$\Delta h_3(t) = \frac{P_{\text{ZH}} \cdot K_{\Theta} \cdot V}{K_3 \cdot K_{\Theta} \cdot V - K_4} \times \left[ e^{(K_1 \cdot K_3 \cdot K_{\Theta} \cdot v - K_1 \cdot K_4)t} - 1 \right], \quad (4)$$

где  $K_1$  — коэффициент, определяющий нормированную величину интенсивности износа инструмента по отношению к уровню температуры резания;  $P_{\text{ZH}}$  — сила  $P_z$  в конце процесса приработки.

При точении с постоянной температурой резания ( $\Theta = \text{const}$ ), когда управление  $\Theta$  достигается изменением скорости резания ( $V = \text{var}$ ,  $S = \text{const}$ ), система управления (рис. 2, б) формирует желаемый уровень  $h_{\text{ZH}}$  на стадии приработки, а в период нормального изнашивания обеспечивает формирование допустимой величины интенсивности износа инструмента. Износ при управлении с  $\Theta = \text{const}$  определяется обратным преобразованием Лапласа структурной схемы (рис. 2, б) по зависимости

$$\Delta h_3(t) = K_{\Theta} \cdot K_1 \cdot V \cdot P_{\text{ZH}} \cdot t. \quad (5)$$

При точении с  $P_z = \text{const}$  (рис. 2, в), когда САУ обеспечивает  $V = \text{const}$  и  $S = \text{var}$ , общее тепловыделение в зоне резания ( $K_{\Theta} \cdot P_z \cdot V$ ) остается постоянным, а изменение температуры резания (а также температуры на контактных поверхностях инструмента) при изменении  $\Delta h_3$  может происходить за счет изменения соотношения между теплотой, выделяющейся в процессе резания, и теплотой отводимой из зоны резания через контактные поверхности инструмента и заготовки.

Приращение износа инструмента имеет вид

$$h_3(t) = \frac{K_{\Theta} \cdot V \cdot P_{\text{ZH}}}{K_4} (1 - e^{-K_1 K_4 t}). \quad (6)$$

При точении с обеспечением одновременно  $\Theta = \text{const}$  и  $P_z = \text{const}$  модель износа определяется выражением (5), и в данном случае появляется возможность формировать уже в

конце периода приработки инструмента силу  $P_{\text{ZH}}$ , равным заданному  $P_{\text{зад}}$ , т. е. система управляет и механическими процессами в период приработки.

При синтезе структуры модели износа инструмента в период приработки приняты следующие положения и допущения.

1. Процесс приработки рассматривается как структурная приспособляемость контактируемых поверхностей к условиям резания. Структурная приспособляемость является результатом изменения энергетического состояния контактируемых пар за счет изотермического поглощения или выделения ими энергии. Поэтому температуру резания в период приработки можно принять неизменной.

2. Интенсивный рост сил резания при изотермическом поглощении (или выделении) энергии на контактируемых поверхностях должен приводить в конце приработки к формированию такого температурно-силового режима контактирования, который определяет интенсивность износа инструмента в период его нормального изнашивания.

3. Процесс «пластического течения» материала в зоне контакта наступает практически мгновенно. Возникающая сложность контакта при этом препятствует проникновению компонентов внешней среды.

4. Доминирующее влияние на изнашивание инструмента в период приработки оказывают механические процессы.

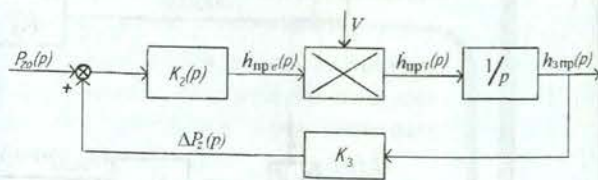


Рис. 3. Структурная схема износа инструмента в период приработки

На рис. 3 сила  $P_{z0}$  соответствует моменту времени  $t = 0$ , когда износ инструмента по задней поверхности  $h_3 = 0$ .

Зависимость износа инструмента от времени резания имеет вид:

$$h_{3\text{ПР}} = P_{z0} \cdot K_2 \cdot V \cdot T \frac{1 - e^{-\frac{t}{T}}}{1 - K_2 \cdot K_3 \cdot T}. \quad (7)$$

Совпадение расчетных и экспериментальных значений износа инструмента показывает корректность принятых положений и допущений в рассматриваемых условиях ведения ПР.

Обратная связь по температуре  $\Delta\Theta$  (см. рис. 2, а) меняет свой знак на противоположный, когда  $\Theta \geq \Theta_k$ , что является причиной повышенного износа инструмента для этих условий обработки из-за резкого возрастания температуры резания и быстрого удаления ее от зоны оптимальных температур.

Автоматическое управление ТП требует информационного обеспечения систем управления. Для СУ процессом резания (ПР) необходимо прежде всего решать проблемы создания датчиков текущей информации о температуре и силе резания, износе инструмента. Качество информационного обеспечения определяется точностью, быстродействием и надежностью преобразователя (датчика) информации. Современные датчики силы резания не удовлетворяют указанной совокупности требований.

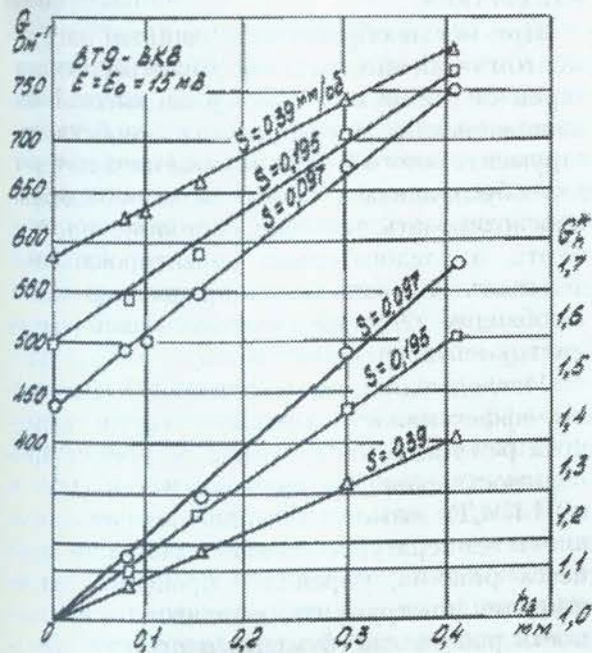


Рис. 4. Зависимость электрической проводимости (абсолютной  $G$  и относительной  $G_n \frac{G}{G_{h=0}}$ ) КИД от износа  $h_n$  инструмента по задней поверхности,  $E = \text{const}$  ( $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$ ,  $\gamma = \lambda = 0^\circ$ ,  $r = 1 \text{ мм}$ ,  $t = 1 \text{ мм}$ )

В настоящее время единственно приемлемым для производства датчиком температуры резания является естественная термопара инструмент-деталь, которая пока не находит широкого применения. Технологические и электрофизические исследования позволили обосновать условия и области применения естественной термопары в качестве датчика температуры резания при чистовой и получистовой обработке деталей. Эти датчики

эффективно используются в разработанных и внедренных автоматизированных системах управления температурой резания в условиях стационарного и нестационарного резания.

На основе выявленных корреляционных зависимостей между силой резания и электропроводностью (ЭП) контакта инструмент-деталь (КИД) [2] созданы и реализованы новые способы определения силы резания и ее функциональные преобразователи. Точность и быстродействие последних на порядок выше, чем у существующих преобразователей; для их установки не требуется изменять конструкцию узлов станка, кроме того, они отличаются высокой технологической надежностью. Обоснована возможность использования электропроводности КИД для контроля износа инструмента (рис. 4), а преобразователи, реализующие эту возможность, позволяют контролировать не только его текущий износ, но и определять моменты окончания приработки и наступления катастрофического износа при чистовом и черновом точении.

### 3. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ В МЕХАТРОННЫХ СТАНОЧНЫХ СИСТЕМАХ

Как уже отмечалось, отличительной чертой развития СУ технологическими процессами и машинами на современном этапе является повышение степени интеллектуальности. Накопление неразрешимых и трудноразрешимых в рамках классической теории управления проблем стимулирует интенсивное внедрение и развитие идей, методов искусственного интеллекта для управления сложными техническими объектами и системами, какими являются технологические процессы механообработки. Здесь целесообразны методы ситуационного управления, экспертные системы, нечеткая логика, нейронные сети, наследственные (генетические) алгоритмы и т. д., позволяющие принимать решение в условиях существенной неопределенности. Особенно эффективно сочетание классических подходов к проектированию СУ технологическими процессами с подходами, основанными на методах и алгоритмах искусственного интеллекта.

В то же время решение задач управления такими сложными процессами, какими являются процессы механообработки, возможно лишь при применении многоуровневых иерархических систем. Один из вариантов интеллектуальной СУ технологическим про-

цессом механообработки подразумевает трехуровневую структуру к задачам нижнего (I) уровня управления относятся задачи адаптивной стабилизации основных выходных координат ПР температурных и силовых – и слежения за ними. Данный уровень наиболее приближен к управляемому процессу, его датчикам и исполнительным механизмам. Точность (четкость) команд управления здесь наибольшая во всей системе. Основными методами управления при этом являются методы оптимального и адаптивного управления. На среднем (II) уровне управления осуществляется определение и назначение задающих воздействия (уставок) и ограничительный для I уровня (уставок силы, температуры, интенсивности износа и т. д.). Алгоритмы управления здесь строятся на основе нечеткой логики с широким использованием экспертной информации. На этом этапе происходит координация управления подсистемами нижнего уровня, осуществляются процессы обучения и самообучения. На верхнем (III) уровне определяются виды обработки, прогнозируются управление, алгоритмы выхода из аварийных ситуаций и др. Данный уровень является организующим в интеллектуальном управлении. Здесь происходит преобразование сложных качественных (но неточных) команд в последовательность более детальных и более конкретных распоряжений для второго уровня системы. Естественным аппаратом для обработки такой информации являются лингвистические методы.

Таким образом, алгоритмы управления вторым и третьим уровнем должны разрабатываться с использованием средств и методов искусственного интеллекта. Не исключено их применение и при разработке подсистем первого уровня. По мере перехода от нижнего уровня к верхнему растет степень интеллектуальности принимаемых решений и уменьшается точность задания команд управления.

Для управления температурно-силовым режимом обработки в условиях существенной неопределенности на базе нейронной сети прямого распространения создана быстрорасчетная модель системы знаний [1].

Используя методику проектирования быстрорасчетной модели, можно повысить быстродействие вычисления на несколько порядков (в 100–200 раз) по сравнению с классическим max-min способом. Применение быстрорасчетной модели при управлении сложным мехатронным станочным объектом позволяет определить степень достоверности и дефицита информации об объекте, а также

за счет оперативного оценивания показателей качества обработанной поверхности деталей и состояния технологического оборудования снизить априорную неопределенность.

Система автоматического управления процессом механообработки предполагает решение задачи оперативного контроля инструмента при непрерывном резании (например, при точении труднообрабатываемых материалов) и может быть использована в перспективных технологиях.

Текущее состояние технологического оборудования и процесса, осуществляемого с его помощью должны быть наблюдаемыми и прогнозируемыми.

Наиболее слабым звеном в станочной системе является инструмент, работающий в условиях сложных температурно-силовых режимов нагружения и априорной неопределенности изменения внешних и внутренних воздействий.

При механообработке лезвийным инструментом особенно труднообрабатываемых материалов инструмент подвержен высокой изнашиваемости. Нестабильность свойств инструментального и обрабатываемого материала обуславливает невозможность надежно прогнозировать текущее состояние инструмента, а следовательно, гарантировать надежность осуществления процесса резания. Необходим текущий контроль изнашивания инструмента, его целостности.

Исследования на кафедре АТС показали эффективность контроля текущего износа режущего инструмента по электропроводимости контура инструмента и детали (ЭП КИД), возможность одновременно управлять температурно-силовым режимом процесса резания, управлять процессом изнашивания инструмента, обеспечить стабильность работы инструмента и процесса резания, сформировать алгоритмы оперативной диагностики инструмента, обеспечивающие требуемые быстродействие и точность контролирующей системы, создать математические модели, которые в сочетании с системой текущей идентификации процесса изнашивания инструмента позволят обеспечить высокоточное прогнозирование состояния инструмента и на его базе обеспечить высокую производительность и надежность всей станочной системы при обработке сложных изделий и ответственных деталей, таких как, например, авиационные двигатели. Разработаны методики для проектирования преобразователей информации текущего износа ин-

струмента ЭП КИД для чистового и чернвого точения.

Разработан и создан промышленный образец устройства для измерения ЭП КИД. Для устройства измерения ЭП КИД разработаны алгоритмы и модернизирован источник тока, имеющий стабильные выходные характеристики. Основой разработанного источника тока служит преобразователь электрической энергии, содержащий резонансный LC-контур.

При достаточном быстродействии применяемой микро-ЭВМ удастся дополнительно обработать информацию, поступающую с других датчиков (например, термоЭДС). Кроме того, важным достоинством является возможность исключения, применяемой при использовании других источников и датчиков электрической изоляции обрабатываемой детали, режущего инструмента и станочного оборудования.

На стадии внутренней (текущей) оптимизации технологического процесса необходимы модели, определяющие износ и состояние инструмента в функции времени или пути резания. Возможно, управление изнашиванием инструмента, оперативное прогнозирование на основе использования эталонных моделей.

Проведенные исследования по совместному использованию термоЭДС и электропроводности как диагностических параметров при контроле состояния режущего инструмента для труднообрабатываемых материалов, показали возможности разделения на классы различных состояний инструмента в процессе механообработки. Для аппроксимации функции, характеризующей состояние объекта диагностики, предлагается использовать метод потенциальных функций, модифицированный введением функций распределения плотности вероятности, совмещенных с базовыми функциями. На основе предлагаемого метода разработан алгоритм для нахождения решающей функции. Алгоритм легко реализуется программно, что позволило ав-

томатизировать процесс экспериментальных исследований. Следует отметить универсальность алгоритма и возможность диагностирования не только режущего инструмента, но и сложного оборудования при наличии известных диагностических параметров.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На кафедре АТС УГАТУ развивается научная школа по созданию автоматизированных и интеллектуальных мехатронных станочных систем, в рамках которой разрабатываются научные и практические основы по формированию технологического, информационного, математического, алгоритмического обеспечений систем управления технологическими процессами механообрабатывающего производства.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зориктуев, В. Ц. Интеллектуальное управление сложным мехатронным объектом с использованием быстрорасчетной нейронечеткой модели / В. Ц. Зориктуев, А. Г. Лютов, С. Г. Гончарова, И. Ф. Месягутов // Мехатроника. М. : Машиностроение, 2001. № 6. С. 24–28.
2. Зориктуев, В. Ц. Электропроводимость контакта «инструмент–деталь» — физический и информационный параметр в станочных системах / В. Ц. Зориктуев, И. С. Хузин, М. : Машиностроение, 1998. 176 с.

### ОБ АВТОРЕ



**Зориктуев Вячеслав Цыденович**, проф., зав. каф. автоматиз. технологич. систем. Дипл. инж.-механик (УАИ, 1963). Д-р техн. наук по технол. машиностроения и АСУ ТП (защ. в Мосстанкин, 1990). Заслуж. деятель науки РБ. Иссл. в обл. управления технологич. процессами в машиностроении.