

Принципы концептуального подхода к созданию подсистемы ИНСТРУМЕНТ в смарт-паспорте многооперационного станка*

А. К. Тугенгольд, А. И. Изюмов

Описаны принципы построения и функционирования системы наблюдения за станками в компьютеризированном производстве. В центре внимания — состояние инструментов и управление инструментальным обеспечением. Предложенный подход ориентирован на создание условий для эффективного функционирования и управления состоянием инструментов с помощью системы знаний блока ИНСТРУМЕНТ смарт-паспорта станка. Архитектура блока представлена совокупностью модулей, в число которых входят регистрирующий модуль, модуль наблюдений за изменениями состояний инструментов и управления, модуль мониторинга и др. Новация данной работы — введение понятий нечёткой границы и пограничных полос размерного износа и общей стойкости инструментов на базе представлений теории нечётких знаний. Использование этих понятий связано с необходимостью адаптации режимов резания и принятия решений в зависимости от состояния инструмента и его влияния на точность обработки детали.

Ключевые слова: смарт-паспорт, многооперационный станок, мониторинг инструментов, система знаний, управление инструментальным обеспечением, нечёткая граница стойкости.

Введение. Многооперационные станки с ЧПУ, или обрабатывающие центры, — типичные образцы современных технологических объектов автоматизированного производства. Эти станки предназначены для комплексной механической обработки большого числа поверхностей за одну установку детали. В их состав входят инструментальные магазины с механизмами автоматической смены инструментов. В инструментальном магазине размещаются инструменты, необходимые для обработки партии деталей, на которую налажен станок в определённый период времени.

Как показано в монографии [1], создание интеллектуальной электронной технической документации станка — смарт-паспорта (СП) [2] — важный этап в формировании единой среды эксплуатации, программирования и обслуживания станков, в том числе многооперационных, и другого мехатронного технологического оборудования. Смарт-паспорт реализуется как программный модуль, встраиваемый в УЧПУ с открытой архитектурой управления, или как модуль в виде автономного устройства с возможностью подключения к системе ЧПУ. Это позволяет вносить коррективы непосредственно в УЧПУ за счёт информационной и интеллектуальной поддержки на базе собственной системы знаний (СЗ) СП о состоянии станочной технологической системы.

Основой интеллектуальной платформы СП является система знаний [3, 4], включающая совокупность подсистем или блоков, в число которых входят ПРОЦЕСС, СТАНОК, ЗАГОТОВКА и ИНСТРУМЕНТ. В настоящей статье подробно рассматривается блок ИНСТРУМЕНТ. Другим блокам было уделено достаточно внимания в работе [2].

Изучение процессов и оценка износа инструмента, его диагностирование актуальны уже не менее века. Известно, что для поддержания текущей работоспособности, поднастройки технологической системы и устранения причин возможных отказов операторам, обслуживающим станки с ЧПУ, приходится вмешиваться в работу станка по управляющей программе каждые 6–22 минуты [5]. По результатам исследований [6, 7], проведённых японской службой *Takeyama*, простой оборудования с ЧПУ из-за отказов в связи с незапланированным износом и поломкой режущего инструмента составляют от 39 до 50 процентов времени работы.

* Работа выполнена по теме 2.5.13 в рамках тематического плана ДГТУ.

В настоящее время многие производства компьютеризированы, оснащены многооперационными станками с ЧПУ, оператор удалён от работающего станка. Такая модернизация технологии механической обработки поставила вопросы диагностики и оценки состояния инструмента на новый уровень. С 90-х годов прошлого века экономически развитые государства мира принимают участие в реализации проекта SIMON (Sensor Fused Intelligent Monitoring System for Machining), который является частью международной программы развития интеллектуальных производственных систем [8]. В публикациях отчётов о выполнении проекта отмечено, что введение знаний экспертов и интеллектуальных алгоритмов в управление станками и другими технологическими мехатронными объектами будет играть ключевую роль в достижении высокой точности и высокой производительности обработки при минимальных неисправностях.

Актуальная проблема — разработка систем мониторинга для поддержания надёжного функционирования инструмента в обрабатывающих центрах. Эти системы должны обеспечить минимизацию ущерба от серьёзных нарушений в работе инструмента и своевременную его замену. С этой целью станки и/или системы ЧПУ оснащаются сенсорами и различными контрольными устройствами [8]. Разрабатывается также соответствующая стратегия предупреждения каких-либо нарушений процесса обработки и отказов инструмента и реагирования на них.

Таким образом, очевидна необходимость использования автоматизированных систем мониторинга и управления состоянием инструмента при работе многооперационных станков. Если раньше возможностью **знаний** о состоянии инструментов на станке обладал только оператор, обслуживающий станок, то в настоящее время созданы условия для эффективного функционирования и управления состоянием инструментов с помощью **системы знаний станка** (Intelligent Monitoring System for Tools).

Структура блока ИНСТРУМЕНТ. Проблема мониторинга и управления состоянием инструмента представляется совокупностью задач автоматизации, ориентированных на:

- отслеживание состояния инструментов на станке;
- своевременную замену инструментов;
- управление состоянием инструментов для экономии соответствующих затрат.

Основные задачи автоматизации:

- минимизация времени на обслуживание инструментов;
- контроль износа по стадиям обработки деталей и/или при непрерывном наблюдении и оценке;
- управление режимами резания, их адаптация для обеспечения обработки поверхности без прерывания на замену инструмента;
- рациональная организация и управление оперативной сменой инструментов.

Перечень задач может быть дополнен или изменён в соответствии со спецификой технологических условий и оснащения станков.

Блок ИНСТРУМЕНТ в СП станка и в соответствующей подсистеме СЗ паспорта включает совокупность данных и знаний о состоянии режущих инструментов S_T , предназначенных для выполнения всех переходов операции обработки определённой партии деталей:

$$S_T = (S_1, S_2, S_3, \dots, S_n, U_s), \quad (1)$$

где $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ — векторы состояния n инструментов, находящихся в станочной системе для выполнения текущей операции; U_s — вектор управлений состоянием инструментов.

Каждый вектор S_i формируется совокупностью наследуемых и оперативных данных и знаний в соответствии с введёнными ранее представлениями [2]:

$$S_i = (F_i, K_i), \quad (2)$$

где F_i — множество данных, соответствующих наследуемым и оперативным факторам (параметрам); K_i — знания о текущем состоянии i -го инструмента и прогнозе.

$$F_i = (F_{hi}, F_{oi}),$$

$$\begin{aligned} F_h &= (f_1^h, f_2^h, \dots, f_n^h), \\ F_o &= (f_1^o, f_2^o, \dots, f_n^o). \end{aligned} \quad (3)$$

Под наследуемым множеством F_h подразумевается совокупность параметров по n инструментам, данные по которым получают при наладке станка или при обслуживании инструментального магазина и станка оператором. Совокупность факторов по n инструментам, измеряемых и/или оцениваемых непосредственно в процессе обработки, отнесена к оперативному множеству F_o .

Блок ИНСТРУМЕНТ (рис. 1) состоит из шести модулей.

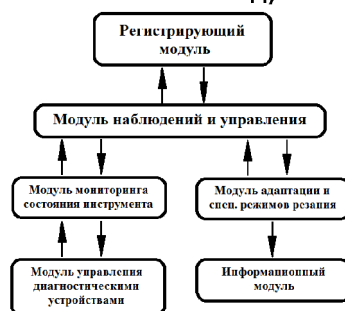


Рис. 1. Структура блока ИНСТРУМЕНТ

Назначение представленных модулей — тем или иным способом отслеживать состояние инструментов и управлять им:

- **регистрирующий модуль** с БД по инструментам, данными по выполняемой на станке обработке каждым инструментом, формирует совокупность наследуемых данных F_h ;
- **модуль наблюдений** за изменениями состояний инструментов F_o на стадиях их использования и управления U_s ;
- **модуль мониторинга** состояния инструментов предназначен для оценки поведения инструмента и прогнозирования параметров износа и стойкости;
- **модуль управления диагностическим оборудованием** с выбором соответствующих стратегий и алгоритмов работы устройств диагностики;
- **модуль адаптации и специальных режимов резания** при использовании инструментов в периоды, близкие к порогам их стойкости;
- **информационный модуль** для обмена данными с другими модулями, блоками СЗ станка, УЧПУ, оператором и сетью технологического обеспечения.

Функции модулей блока ИНСТРУМЕНТ. Для входящих в блок модулей сформированы совокупности данных и знаний, необходимых для их функционирования. Эти совокупности могут быть изменены в зависимости от перечня задач, решаемых блоком ИНСТРУМЕНТ конкретных моделей станков, от их оснащённости измерительными и диагностическими устройствами. Программная реализация блока предусматривает отображение данных и знаний с использованием фреймовых моделей знаний [9].

Регистрирующий модуль в блоке ИНСТРУМЕНТ содержит БД с совокупностями данных, включающими следующие разделы.

1. Операция: наименование / код операции обработки партии деталей на станке.
2. Количество деталей в партии.
3. Номер детали: порядковый номер обрабатываемой детали.
4. Заготовка обрабатываемой детали: материал, твёрдость, геометрическое состояние поверхностей, подлежащих обработке, физическое состояние поверхностей (наличие корки, включений, неравномерность твёрдости и пр.).
5. Данные об инструментах, предназначенных для обработки заданной партии деталей и находящихся в магазине станка и (F_{hi} по каждому i -му инструменту). Заполняются при начальном

считывании УЧПУ станка программы обработки и/или оператором. Корректируются в процессе функционирования блока:

- а) имя инструмента, код;
- б) материал режущей части;
- в) начальные геометрические параметры;
- г) общая стойкость (до износа), размерная стойкость: данные фирмы-поставщика / данные испытаний — T_i , T_{ri} ;

е) период использования перед установкой на станок / после заточки — t_{0i}

6. Параметры обработки (например, ширина и глубина фрезерования) и режимы резания по каждому проходу и инструменту:

- время резания,
- применяемая смазочно-охлаждающая жидкость,
- v_i — скорость резания,
- n_i — частота вращения шпинделя,
- S_z — подача на зуб фрезы,
- S_{mi} — минутная подача,
- B_i — ширина удаляемого слоя материала,
- t_{ri} — радиальная глубина удаляемого слоя материала,
- t_i , l_i — время и длина пути резания на поверхностях обрабатываемой детали i -м инструментом в течение одной операции, т. е. за один цикл обработки.

7. Положение в системе координат станочной системы — данные настройки положения вершины инструмента / режущих пластин.

Модуль наблюдений за инструментами на стадиях использования и **управления** в процессе обработки партии деталей.

Прежде чем перейти к основному перечню данных и знаний модуля наблюдений, приведём некоторые используемые в работе понятия и их обозначения. Они основываются на принятых в отечественной и зарубежной практике [10–12] технической терминологии и методах представления нечётких знаний. Стойкость инструмента в различных случаях оценивается временем T или путём резания L , площадью обработанной поверхности A , объёмом снятого с заготовки материала Q . При этом используются показатели оценки стойкости: размерная стойкость T_r , размерный износ по передней h_r и задней h_s поверхности, общая стойкость до затупления или поломки T .

Из-за существенного разброса значений общей стойкости, оцениваемых временем наступления катастрофического износа, количественные данные могут быть неточными. Как показывает практика [6], фактическая стойкость инструмента может колебаться в широких пределах (изменяться в 1,5–3 раза). Причинами этого являются нестабильность качества инструмента и заготовки, а также нестационарный характер процесса резания. Величина периода стойкости T зависит от механических и теплофизических свойств обрабатываемого материала и инструмента, его геометрических параметров и режимов резания, от динамических свойств станка.

В связи с многочисленностью и нестационарностью действующих факторов стойкость инструмента является случайной величиной. Статистические методы позволяют оценить стойкость T с некоторой долей вероятности при проведении специальных исследований и в специфических условиях обработки. В производственных условиях эксплуатации многооперационных станков с ЧПУ такая возможность отсутствует. Доверительность оценки T становится весьма приблизительной, даже если в условиях эксперимента и на производстве заготовки из одного материала обрабатываются инструментами одной модели. Возможное решение в таком случае — применение диагностики состояния инструмента на станке и экспертных знаний специалистов на основе полу-

ченного опыта с использованием методологии искусственного интеллекта, в том числе нечётких знаний и нечёткой логики.

В настоящей работе вводится понятие условной **границы стойкости**, используемое в дальнейшем при решении задач управления состоянием инструментов. Это условное значение в периоде стойкости, на некотором интервале времени / пути / объёма удалённого материала при резании до начала катастрофического износа инструмента. В соответствии с теорией нечётких знаний используются представления нечёткой границы и нечёткой пограничной полосы стойкости, показанные на рис. 2.

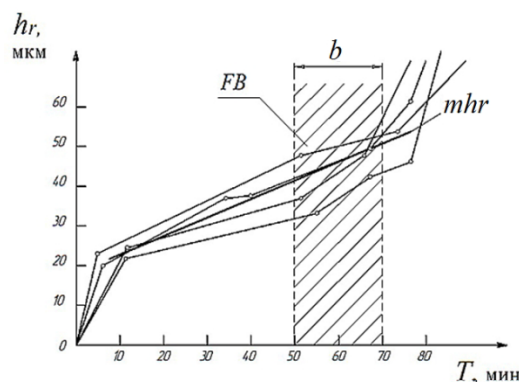


Рис. 2. Нечёткая граница стойкости инструмента FB до износа

В работе введены следующие термины:

- **ширина пограничной полосы** — *Width of the fuzzy boundary (WFB, WFBS)* характеризуется доверительным интервалом (например, b и b_s), который на основе экспертных оценок отображает наступление рассматриваемого вида износа, а также соответствующей функцией принадлежности;
- **нечёткая граница общей стойкости инструмента** (до затупления) — *Fuzzy boundary of the tool life (FB)*;
- **нечёткая граница размерной стойкости инструмента** — *Fuzzy boundary of the tool wear size (FBS)*, представленная на рис. 3.

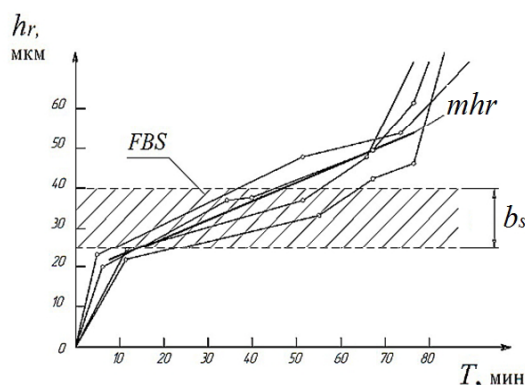


Рис. 3. Нечёткая граница размерной стойкости инструмента

Знание нечёткой границы размерного износа инструмента при обработке поверхности детали необходимо в период использования тех инструментов, радиальный износ которых h_r непосредственно влияет на погрешность размеров поверхности (см. рис. 3). Назначаемая нечёткая граница FBS и ширина b_s пограничной полосы WFBS зависят от начального радиального износа инструмента, интенсивности износа и допустимого отклонения размера обрабатываемой поверхности.

Введение указанных представлений связано ещё и со следующим фактом. Нецелесообразно прерывать резание и заменять инструмент при наступлении граничного состояния FB, если обработка поверхности не завершена. Адаптация режимов обработки для снижения интенсивности износа инструмента (модуль адаптации и специальных режимов резания), непрерывный контроль процесса резания и состояния инструмента дают возможность исключить снижение точности обрабатываемой поверхности и возможный брак детали.

Совокупность данных и знаний модуля наблюдений, а также принятия решений по управлению представлена в следующем перечне:

1. Значения времени T_i / пути резания L_i / обработанной площади поверхностей A_i / объёма Q_i материала, снимаемого с заготовки i -м инструментом по переходам операции обработки детали и в течение процесса обработки.

2. Знания о состоянии инструмента по соотношению определённых параметров п. 1 с периодом стойкости i -го инструмента и FB нечёткой границы стойкости. Так, например, время остаточной стойкости инструмента T_{ni} к моменту начала резания на n -м переходе использования i -го инструмента определяется зависимостью

$$T_{ni} = T_{FBi} - \sum_{j=1}^{n-1} t_{ji}, \quad (4)$$

где T_{FBi} — период времени до наступления нечёткой границы стойкости, t_{ji} — время резания инструментом при выполненном j -м технологическом переходе.

3. Определение допустимой величины размерного износа инструментов при выполнении переходов обработки детали, ограниченной допуском по размерной точности поверхности.

4. Оценка величины размерного износа инструмента, скорости (интенсивности) износа и нечёткой границы FBS.

5. Принятие решений о проведении измерений / диагностирования и мониторинга состояния инструмента.

6. Принятие решений о необходимости коррекции положения инструмента, о его замене.

7. Принятие решений об изменении режимов обработки с помощью модуля адаптации и специальных режимов резания при переходе к работе в пограничных полосах WFBS и WFB.

8. Принятие решений об оперативной смене инструментов.

Модуль мониторинга состояния инструментов предназначен для выявления таких специфических характеристик, как износ инструмента, интенсивность износа, отклонения в работе инструмента, вибрации и поломка.

Для оценки состояния инструментов применяются различные типы диагностических устройств, например датчики: силы резания и крутящего момента, тока двигателя и эффективной мощности, вибраций, акустической эмиссии, звукового давления, перемещений и пр. [7, 13].

Для мониторинга технологической системы в промышленности эффективным методом считается использование сигнала обработки звука. Он позволяет получить полезную информацию, связанную с явлениями резания и вибраций станков с ЧПУ. Наблюдение звука в процессе резания уже используется на станках, выпускаемых рядом станкостроительных фирм для мониторинга режущих инструментов.

Получаемые от датчиков сигналы обычно содержат различную неточную информацию. Поэтому система мониторинга использует необходимые методы обработки результатов наблюдений (в том числе фильтрацию и обучение) для вывода заключений о состоянии инструмента.

Блок мониторинга выполняет следующие функции.

1. Принятие решения о необходимости использования устройств станка и внешних устройств для диагностирования i -го инструмента.

2. Подача диагностическими устройствами команд на модуль управления для выполнения функций.

3. Обработка данных по результатам, полученным от диагностических устройств станка и внешнего оборудования. Мониторинг состояния инструмента.

4. Прогнозирование остаточной размерной стойкости до FBS.

5. Прогнозирование остаточной стойкости по периоду нормального износа до FB.

Для решения задач прогнозирования остаточной стойкости инструментов до FB, например, используется нейро-нечёткое моделирование процессов их износа на базе нейронной сети. Её архитектура предусматривает 7 входных нейронов, два скрытых слоя и один выходной нейрон. Сеть обучается так, что при изменении выходного сигнала от 0 до 1 коэффициенты принадлежности к нормальному износу инструмента составляют от 0,5 до 1,0, к пограничному MFB — от 0,2 до 0,5, а к изношенному — от 0 до 0,2.

Модуль управления диагностическими устройствами позволяет планировать действия, необходимые для выполнения процедур, получения результатов диагностирования оперативных данных F_0 и подачи команд на станочные и внешние устройства. К числу необходимых функций отнесены следующие.

1. Выбор стратегий и тактики диагностирования при использовании возможностей диагностических устройств станка и (или) внешнего оборудования по прямым и/или косвенным измерениям.

2. Принятие решений по управлению диагностическими устройствами станка и регулирование контролирующих алгоритмов.

3. Выработка решений по управлению внешним диагностическим оборудованием.

4. Информационная связь с модулями мониторинга и наблюдения за состоянием инструмента.

Устройства, используемые для диагностирования, а также других функций модуля, планируется проанализировать в следующих публикациях.

Модуль адаптации и специальных режимов резания изменяет режимы резания для инструмента на стадии его работы, близкой к риску, определяемой границей стойкости FB или FBS. Блок выполняет следующие функции.

1. Оценка близости периода использования i -го инструмента к «границе стойкости» на базе прогнозирования критической ситуации его состояния.

2. Принятие решений по адаптации режимов резания (скорости резания V и (или) подачи S) в зависимости от складывающейся ситуации при работе i -го инструмента для бесперебойного выполнения операции на детали в процессе обработки (т. е. без остановки процесса для замены инструмента).

3. Разработка изменений программы управления в УЧПУ станка.

Не останавливаясь в этой статье на содержании каждой функции, поясним лишь, что для изменения, например, скорости резания $V(T)$ в зависимости от желаемого периода стойкости T можно воспользоваться известными зависимостями [10, 11] и данными производителей инструментов, например [14]:

$$V(T) = V_a k_r(T), \quad (5)$$

где V_a — табличное значение скорости резания, $k_r(T)$ — коэффициент коррекции, принимаемый по рекомендациям фирмы.

Информационный модуль выполняет следующие функции.

1. Передача сообщений между сетью технологического обеспечения УЧПУ и блоком ИНСТРУМЕНТ об операциях и инструменте, который должен быть использован, трансляция программ и пр.

2. Информационная связь с оператором.

3. Обмен данными с другими модулями блока ИНСТРУМЕНТ и блоками СЗ станка, в том числе по процедурам и результатам диагностирования инструмента, мониторинга и пр.

Заключение. Автоматизированные системы управления состоянием инструментов на станках играют важную роль в современном компьютеризированном производстве. В основе данного исследования — принципы построения подсистемы ИНСТРУМЕНТ в составе смарт-паспорта многооперационного станка. Эта подсистема состоит из совокупности модулей с разными функциями — от накопления исходной информации по инструментам, предназначенным для обработки конкретной партии деталей, до диагностики их состояния и управления. Таким образом, проводимые исследования представляются актуальными и значимыми с точки зрения их применения в производственных условиях.

Методы искусственного интеллекта позволяют:

- выполнять функции наблюдения за состоянием инструментов,
- формировать знания оценки этих состояний,
- принимать решения о необходимости проведения возможных оперативных диагностических процедур,
- наблюдать за результатами обследования,
- осуществлять мониторинг решений по управлению.

На базе представлений нечётких знаний введены новые понятия: нечёткой границы, пограничных полос размерного износа и общей стойкости инструментов. Введение этих понятий вызвано необходимостью адаптации режимов резания в зависимости от ситуации по состоянию инструмента и его влиянию на точность обработки детали.

Следующие публикации планируется посвятить вопросам экспертной оценки нечётких границ стойкости инструментов, формирования алгоритмов и программной реализации представленных модулей блока ИНСТРУМЕНТ в составе смарт-паспорта станка.

Библиографический список

1. Тугенгольд, А. К. Интеллектуальные функции и управление автономными технологическими мехатронными объектами / А. К. Тугенгольд, Е. А. Лукьянов. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2013. — 203 с.
2. Тугенгольд, А. К. Smart-Passport открытой мехатронной технологической системы. Контент / А. К. Тугенгольд // Интеллектуальная электронная документация. — Saarbrücken : Lambert Academic Publishing, 2013. — 83 с.
3. Принципы построения интеллектуальной электронной документации станка / Г. В. Самодуров [и др.] // Станки, инструмент. — 2012. — № 7. — С. 15–20.
4. Тугенгольд, А. К. Smart-паспорт мехатронного технологического объекта. Концепт / А. К. Тугенгольд, А. А. Бердичевский // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2012. — № 7. — С. 33–41.
5. Палей, С. М. Некоторые особенности эксплуатации токарных станков с ЧПУ на участке АСВ-20 / С. М. Палей // Автоматизированные участки из станков с ЧПУ, управляемые ЭВМ: сб. ст. — Москва : ЭНИМС, 1998. — С. 27–31.
6. Григорьев, С. Н. Повышение производительности фрезерования с помощью диагностирования состояния инструмента с учётом достоверности отображения состояния объекта по критерию его отказа / С. Н. Григорьев, В. Д. Гурин, Н. Ю. Черкасова // Вестник Моск. гос. техн. ун-та «СТАНКИН». — 2011. — № 3 (15). — С. 44–48.
7. Кочеровский, Е. В. Диагностика состояния инструмента по силовым характеристикам процесса резания. Обзор / Е. В. Кочеровский, Г. М. Лихцер. — Москва : ВНИИТЭМР, 1988. — Вып. 7. — 40 с.

8. Sensor Fused Intelligent Monitoring System for Machining (SIMON) project from Intelligent Manufacturing Systems (IMS). Final Report [Электронный ресурс] / J. Hernandez [et al.] ; European IMS-SIMON consortium. — Режим доступа: <http://www.ims.org/wp-content/uploads/2012/11/2.4.32.2-Final-Report-SIMON.pdf> (дата обращения: 03.03.2014).

9. Тугенгольд, А. К. Моделирование базы знаний системы управления мехатронным объектом / А. К. Тугенгольд, А. А. Кузьмин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. Специальный выпуск «Мехатроника. Современное состояние и тенденции развития». — 2009. — С. 69–73.

10. Макаров, А. Д. Износ и стойкость режущих инструментов / А. Д. Макаров. — Москва : Машиностроение, 1976. — 278 с.

11. Синопальников, В. А. Надёжность и диагностика технологических систем: учебник / В. А. Синопальников, С. Н. Григорьев. — Москва : Высшая школа, 2005. — 343 с.

12. Vallejo, A.-J. On-line Cutting Tool Condition Monitoring in Machining Processes using Artificial Intelligence / A.-J. Vallejo, R. Morales-Menéndez, J.-R. Alique // Robotics, Automation and Control / edited by Pavla Pecherková, Miroslav Flidr, Jindřich Duník. — Vienna : I-Tech, 2008. — 494 p.

13. Bagci, E. Monitoring and analysis of MRR-based feedrate optimization approach and effects of cutting conditions using acoustic sound pressure level in free-form surface milling / E. Bagci // Scientific Research and Essays. — 2011. — Vol. 6 (2). — Pp. 256–277.

14. Высокопроизводительная обработка металлов резанием / AB Sandvik Coromant, ОАО «Сандвик-МКТС». — Москва : Полиграфия, 2003. — 301 с.

Материал поступил в редакцию 12.03.2014.

References

1. Tugengold, A. K., Lukyanov, E. A. Intellectualnyye funktsii i upravleniye avtonomnymi tekhnologicheskimi mekhatronnymi obyektami. [Intellectual functions and management of autonomous mechatronic technological objects.] Rostov-on-Don: DSTU Publ. Centre, 2013, 203 p. (in Russian).

2. Tugengold, A. K. Smart-Passport otkrytoy mekhatronnoy tekhnologicheskoy sistemy. Kontent. [Smart-Passport of open mechatronic technological objects. Content.] Intellectualnaya elektronnyaya dokumentatsiya. [Intelligent electronic documentation.] Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2013, 83 p. (in Russian).

3. Samodurov, G. V., et al. Printsipy postroyeniya intellektualnoy elektronnoy dokumentatsii stanka. [Design concept of machine intelligent electronic documentation.] Stanki, instrument. 2012, no. 7, pp. 15–20 (in Russian).

4. Tugengold, A. K., Berdichevskiy, A. A. Smart-pasport mekhatronnogo tekhnologicheskogo obyekt. Kontsept. [Smart-passport of mechatronic production facility. Concept.] Vestnik of DSTU, 2012, no. 7, pp. 33–41 (in Russian).

5. Paley, S. M. Nekotoryye osobennosti ekspluatatsii tokarnykh stankov s ChPU na uchastke ASV-20. [Some operation features of CNC lathes on site ASV-20.] Avtomatizirovannyye uchastki iz stankov s ChPU, upravlyayemye EVM: sb. statey. [Automated computer-controlled areas of CNC machines: coll. of papers.] Moscow: ENIMS, 1998, pp. 27–31 (in Russian).

6. Grigoriev, S. N., Gurin, V. D., Tcherkasova, N. Y. Povysheniye proizvoditelnosti frezerovaniya s pomoshchyu diagnostirovaniya sostoyaniya instrumenta s uchetom dostovernosti otobrazheniya sostoyaniya obyekt po kriteriyu yego otказа. [Increase of milling efficiency by means of diagnosis of the cutting tool's conditions into account reliability of display of an object state by failure criteria.] Vestnik MSTU "STANKIN", 2011, no. 3 (15), pp. 44–48 (in Russian).

7. Kocherovskiy, E. V., Likhtser, G. M. Diagnostika sostoyaniya instrumenta po silovym kharakteristikam protsessa rezaniya. Obzor. [Diagnostics of tool state by spower characteristics of cutting process. Overview.] Moscow: VNIITEMR, 1988, iss. 7, 40 p. (in Russian).
8. Hernandez, J., et al. Sensor Fused Intelligent Monitoring System for Machining (SIMON) project from Intelligent Manufacturing Systems (IMS). Final Report. European IMS-SIMON consortium. Available at: <http://www.ims.org/wp-content/uploads/2012/11/2.4.32.2-Final-Report-SIMON.pdf> (accessed: 03.03.2014).
9. Tugengold, A. K., Kuzmin, A. A. Modelirovaniye bazy znaniy sistemy upravleniya mekhatronnym obyektom. [Modeling knowledge base of mechatronic object management system.] Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskiye nauki. Spetsialnyy vypusk «Mekhatronika. Sovremennoye sostoyaniye i tendentsii razvitiya». [Technical sciences. Special iss. "Mechatronics. Modern state and development trends."] 2009, pp. 69–73 (in Russian).
10. Makarov, A. D. Iznos i stoykost rezhushchikh instrumentov. [Wear and durability of the cutting tools.] Moscow: Mashinostroyeniye, 1976, 278 p. (in Russian).
11. Sinopalnikov, V. A., Grigoryev, S. N. Nadezhnost i diagnostika tekhnologicheskikh sistem: uchebnik. [Reliability and diagnostics of technological systems: textbook.] Moscow: Vysshaya shkola, 2005, 343 p. (in Russian).
12. Vallejo, A.-J., Morales-Menéndez, R., Alique, J.-R. On-line Cutting Tool Condition Monitoring in Machining Processes using Artificial Intelligence. Robotics, Automation and Control, ed. by Pavla Pecherková, Miroslav Flídr, Jindřich Duník. Vienna: I-Tech, 2008, 494 p.
13. Bagci, E. Monitoring and analysis of MRR-based feedrate optimization approach and effects of cutting conditions using acoustic sound pressure level in free-form surface milling. Scientific Research and Essays, 2011, vol. 6 (2), pp. 256–277.
14. Vysokoproizvoditelnaya obrabotka metallov rezaniyem. [High-performance metal cutting.] AB Sandvik Coromant, «Sandvik-MKTS», JSC. Moscow: Poligrafiya, 2003, 301 p. (in Russian).

PRINCIPLES OF CONCEPTUAL APPROACH TO CREATING TOOL SUBSYSTEM FOR MULTIOPERATION MACHINE SMART-PASSPORT*

A. K. Tugengold, A. I. Izyumov

The basic principles of the construction and operation of the machine monitoring system in the computer-integrated manufacturing are described. The tool condition and the tooling backup control are the focus of attention. The proposed approach is aimed at creating conditions for the effective functioning, and the tool state management using a knowledge system of TOOL unit of the machine Smart-passport. The unit architecture is presented by a set of modules including a data acquisition module, a module for observing changes in the tool state and control, a monitoring module, and others. The significant innovation of the research is the introduction of the concepts of fuzzy boundary and border lines of sizing wear, and of overall tool life based on the theory of fuzzy knowledge concepts. The introduction of these concepts is related to the necessity to adapt modes of cutting and decision making depending on the tool state and its effect on the part accuracy.

Keywords: Smart-passport, multioperation machine, tool state monitoring, knowledge system, tool software management, fuzzy boundary resistance.

* The research is done on theme no. 2.5.13 of DSTU thematic research plan.