

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.89+621.518.2

УПРАВЛЕНИЕ ТОЧНОСТЬЮ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ЗНАНИЙ СТАНКА

А.К. ТУГЕНГОЛЬД

(Донской государственный технический университет)

Представлена стратегия подхода к созданию интеллектуальных систем управления точностью станков как мехатронных технологических систем, которая основана на использовании современных представлений в области образования погрешностей, управления точностью обработки с использованием возможностей GKM и электронного документирования промышленных объектов.

Ключевые слова: *точность обработки деталей, интеллектуальное управление, система знаний станка, обобщенные знания технологической системы.*

Введение. В статье рассматриваются мехатронные объекты и устройства, предназначенные для выполнения технологических функций, в первую очередь, металлорежущие станки. Главный аспект подхода – решение актуальных проблем управления для обеспечения высокой точности изделий, получаемых в результате выполнения операций обработки.

Вопросам исследования точности металлорежущих станков и обработки деталей посвящались работы многих выдающихся ученых, в том числе А.П. Соколовского, А.Н. Гаврилова, Б.С. Балакшина, В. С. Корсакова, А.А. Маталина, К.С. Колева, Ю.М. Соломенцева, В.Г. Митрофанова, Д.Н. Решетова, В.Э. Пуша, В.Т. Портмана, В.А. Ратмирова. Эти работы, выполненные во второй половине XX в., до сих пор имеют научную ценность.

В настоящее время вопросы точности обработки продолжают оставаться актуальными, так как возрастают требования к точности деталей и машин, сохранению точности под нагрузкой и во времени. Они отражены в работах отечественных ученых В.В. Бушуева, В.Ц. Зориктуева, А.Н. Полякова, В.П. Серебрякова, В.В. Юркевича, С.В. Биленко и др., а также зарубежных исследователей. При этом акценты сместились с проблем внесения коррекций при обработке партий деталей на станках-автоматах и автоматических линиях в массовом и крупносерийном производстве к проблемам управления станками с ЧПУ (или в широком толковании – технологическим мехатронным оборудованием) при мелкосерийном и единичном производстве.

Компьютеризация технологического оборудования создала возможность использования современных достижений в области искусственного интеллекта для управления оборудованием. В статье рассматривается методология управления точностью обработки, сформированная на основе применения интеллектуальных систем управления.

Постановка задачи. Под точностью обработки понимается степень приближения действительных значений геометрических параметров деталей к заданным величинам. Точность характеризуется погрешностью, которая определяется разностью между действительным и заданным или расчетным значениями параметра.

Погрешности размеров и формы являются основными характеристиками геометрической точности деталей. Они оказывают существенное влияние на сборку и правильное функционирование машин и приборов. Отклонения от правильной геометрической формы вызывают неравномерность зазоров и натягов в соединениях. Это приводит, в свою очередь, к повышенному и неравномерному износу деталей и снижению точности работы в подвижных соединениях, искаже-

нию характера посадки и неравномерному распределению напряжений в посадках с натягом и т.п. [1].

Классификация погрешностей, возникающих при обработке на станках с ЧПУ, выполнена по следующим характерным признакам [2]:

- виды погрешностей детали;
- источник возникновения погрешностей;
- причины, порождающие погрешности обработки;
- характер погрешностей;
- период возникновения;
- длительность действия.

Доказано, что в процессе обработки, и в основном через этот процесс, источники образования погрешностей (факторы) находятся в сложной совокупности динамических взаимосвязей [2].

Совокупность основных возмущающих факторов, влияющих на погрешность обработки, образует вектор возмущений, к этим факторам относятся геометрические и кинематические погрешности станка, колебания припуска на обработку, нестабильность твердости обрабатываемого материала заготовки, износ инструмента, нестабильность процесса резания по вектору усилия резания и тепловыделением, нестабильность процессов трения в передачах, направляющих и опорах, переменная жесткость технологической системы станка (ТСС), колебания параметров силового питания, помехи в системе управления и преобразования информации, погрешности датчиков и внешние воздействия.

Как показывают экспериментальные исследования, погрешности контурной обработки и позиционирования представляют собой нестационарные функции, в ряде случаев с негауссовскими законами распределения [3]. Достоверное установление закона распределения само по себе представляет непростую задачу. Вид закона распределения погрешностей различен не только для станков разных типов, но и отдельных станков одной модели. Более того, он изменяется и на одном станке в зависимости, например, от длины перемещения.

Программное управление станками не предусматривает автоматическую компенсацию погрешностей обработки от различных факторов. Соответствующие коррекции, а также первоначальная настройка станка с ЧПУ на заданный размер осуществляется оператором по результатам измерений традиционными средствами, что препятствует осуществлению полностью автоматизированного процесса управления точностью при обработке на станках с ЧПУ. Общий недостаток подобных систем состоит в том, что программы измерений и преобразования результатов измерений в сигналы коррекции закладываются в структуру устройства ЧПУ. Они не изменяются при переходе от одной обрабатываемой детали к другим, имеющим различные требования к точности обработки, а также при переходе от обработки единичных деталей к серийной работе [4].

Современные тенденции развития станкостроения делают задачу обеспечения автоматического управления точностью на станках с ЧПУ особенно актуальной, так как создается возможность использования наиболее эффективных интеллектуальных систем управления (ИСУ) и алгоритмов. На этих станках не требуются специальные исполнительные устройства, так как сигналы коррекции от ИСУ могут быть введены непосредственно в управляющую программу. При этом в качестве измерительной системы используют возможности самого станка, в том числе его датчики обратной связи. Функционирование ИСУ включает процедуры выбора оптимальной последовательности операций управления для конкретного станка. ИСУ может с достаточной полнотой учитывать возможности станка и его системы ЧПУ, что позволит в полном объеме осуществлять автоматическое управление точностью обработки.

Погрешности обработки. Управление точностью можно осуществлять по любому из признаков геометрических параметров или их комбинации. Примером может служить показатель точности формы детали в ее поперечном сечении, в качестве которого принимают наибольшее отклонение

реального профиля от прилегающей геометрической линии, заданной чертежом (для деталей цилиндрической формы это окружность).

Погрешности формы во многих случаях оказываются соизмеримыми с отклонениями размеров [4, 5]. Это обстоятельство делает целесообразным рассмотрение погрешностей обработки цилиндрической детали как отклонений текущего размера $r(\varphi, x)$ от радиуса $r_0 = \text{const}$ цилиндра, не имеющих отклонений геометрических параметров,

$$\Delta r(\varphi, x) = r_0 - r(\varphi, x),$$

где φ – угловая координата (полярный угол); x – координата, направленная вдоль оси цилиндра.

Вероятностной моделью отклонений текущего размера $r(\varphi, x)$ от идеального цилиндра с радиусом r_0 является случайное двухразмерное поле неровностей поверхности обработанных деталей (случайная функция двух независимых координат x и φ). Поверхность каждой отдельной (цилиндрической) детали можно рассматривать как двухразмерную реализацию указанного поля.

Для того чтобы изготовленная деталь удовлетворяла заданным требованиям по точности, значения текущего радиуса должны оставаться внутри объема, ограниченного цилиндрическими поверхностями минимального и максимального допускаемых радиусов. Вероятность этого при устойчивом законе распределения неровностей связана с дисперсией неровностей и их математическим ожиданием.

Поэтому основная цель управления точностью обработки в большинстве случаев состоит в уменьшении дисперсии неровностей детали. При этом используются результаты прямого или косвенного измерения значений факторов, порождающих неровности поверхности.

Формирование критериев точности формы и размера возможно на основе использования показателя отклонения текущего размера. Определим отклонения текущего размера поверхности для детали

$$\Delta r(\varphi, x) = \tilde{r}(\varphi, x) + \dot{r}(\varphi, x), \quad (1)$$

где $\tilde{r}(\varphi, x)$ – низкочастотная составляющая неровностей поверхности детали; $\dot{r}(\varphi, x)$ – отклонения неровностей от низкочастотной составляющей.

Обычно при аппроксимации ограничиваются первыми двумя гармониками [6]. При этом отклонения $\dot{r}(\varphi, x)$ от аппроксимирующего полинома можно рассматривать как реализацию однородного случайного поля со средним значением $M \{ \dot{r}(\varphi, x) \}$ равным нулю и выборочной дисперсией, которую обозначим через $\sigma_{\dot{r}}^2$.

Среднее по множеству значений неровностей поверхности, исходя из (1), может быть приведено к виду:

$$M \{ \Delta r(\varphi, x) \} \approx \tilde{r}(\varphi, x).$$

Средний квадрат отклонений текущего размера:

$$\sigma_{\Delta r}^2 = \sigma_{\tilde{r}}^2 + [M \{ \Delta r(\varphi, x) \}]^2 + \sigma_{\dot{r}}^2. \quad (2)$$

Выражение (2) в общем виде характеризует точность конкретной поверхности детали.

Будем считать, что совокупность возмущающих факторов порождает входные переменные. Перечень входных переменных должен быть практически целесообразным, т. е. включать важнейшие факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на точность обработки [5]. Это требование вытекает из того, что при моделировании необходимо абстрагироваться от влияния несущественных факторов, модель должна быть простой и наглядной. Факторы, характеризующие погрешности обработанной детали, определяют выходные переменные технологического процесса.

В связи со стохастической природой входных и выходных переменных они рассматриваются как случайные величины или случайные функции. При построении статической модели процесса обычно ограничиваются рассмотрением входных и выходных переменных как случайных величин, а при построении динамической модели – как случайных функций. Если одну из выходных переменных обозначить через Y , принимая ее как случайную величину, а входные переменные,

которые также являются случайными величинами, обозначить через X_1, X_2, \dots, X_n , то уравнение связи для статической модели

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

дает возможность определить Y в зависимости от фиксированных значений X_1, X_2, \dots, X_n .

Для динамической модели входная и выходная переменные рассматриваются как случайные функции, которые обозначим $Y(t)$ – выходная случайная функция, а $X_1(s), X_2(s), \dots, X_n(s)$ – входные случайные функции. Тогда уравнение связи для динамической модели имеет вид

$$Y(t) = F(X_1(s), X_2(s), \dots, X_n(s)), s \in S,$$

т.е. в этом случае устанавливается связь выходной переменной для любого значения аргумента со значениями входных переменных для всей области S их изменения.

Очевидно, что статическую модель можно рассматривать как частный случай динамической модели при фиксированных значениях аргументов t и S_0 . В связи с тем, что при построении стохастической модели практически не представляется возможным учесть все факторы, влияющие на выходную переменную, уравнения связи для Y и $Y(t)$ вероятностные, а не детерминированные, т. е. считается, что эти соотношения устанавливаются для числовых характеристик или законов распределения Y или $Y(t)$.

Соответствие между входными $X(s)$ и выходной $Y(t)$ функциями, устанавливаемое оператором A_t , может быть записано сокращенно

$$Y(t) = A_t X(s). \quad (3)$$

Под построением динамической модели технологического процесса понимают нахождение оператора, ставящего в соответствие входную $X(s)$ и выходную $Y(t)$ функции ТСС. При этом существенно, что при идентификации оператор A_t ТСС в формуле (3) можно найти по результатам измерений $X(s)$ и $Y(t)$, полученным в процессе нормального функционирования. Результаты измерений $X^*(s)$ и $Y^*(t)$ рассматриваются как реализация случайных функций $X(s)$ и $Y(t)$. По реализациям $X^*(s)$ и $Y^*(t)$ ставится задача определения не самого оператора A_t , а его оценки A_t^* , которая и используется в качестве характеристики неизвестного истинного оператора A_t .

Оператор A_t^* устанавливает связь между входом $X^*(s)$ и выходом $Y^*(s)$ модели:

$$Y^*(t) = A_t^* X^*(s). \quad (4)$$

Очевидно, что при построении модели, т. е. при определении A_t^* , естественно потребовать близости A_t^* к истинному оператору A_t , чтобы выход модели $Y^*(t)$ был близок к выходу объекта технологического преобразования $Y(t)$.

При обработке деталей динамические характеристики изменяются в связи с изменениями условий ведения процесса, износом станков и оснастки, нагревом, изменениями жесткости, внешней среды и т. д. Решение задач управления точностью на базе динамических моделей может принести максимальную пользу в случае, когда получение и обработка информации, необходимой для построения модели, а также решение задач на базе построенной модели будут осуществляться оперативно.

Подход к управлению точностью обработки. При управлении точностью используются результаты прямого или косвенного измерения значений факторов, порождающих погрешности обработки поверхности. Поэтому можно говорить о том, что в статистическом смысле задача управления точностью обработки сводится к задаче перехода от наблюдаемого распределения погрешностей при отсутствии управления $Y^*(t)$ к их условному распределению при выбранном управлении $Y_c(t)$:

$$Y_c(t) = A_{ct} X^*(s), \{Y_c(t) \leq Y_{\text{доп}}\}, \quad (5)$$

где A_{ct} – оператор преобразования, получаемый при управлении точностью; $Y_{\text{доп}}$ – погрешность, определяемая допустимыми отклонениями размеров и формы обрабатываемой поверхности по техническим условиям.

При этом дисперсия $Y_c(t)$ остаточных погрешностей (неровностей поверхности) в зависимости (5) определяет достижимую в результате управления точность обработки.

Для оценки качества управления по набору реализаций случайного процесса, называемого ансамблем, целесообразно определить следующие коэффициенты:

- коэффициент точности процесса обработки как отношения поля допуска к размаху варьирования для наблюдаемого размера;
- коэффициент настройки процесса как отношения величины смещения центра настройки от среднего значения наблюдаемого размера к полю допуска, определяемого обычно в процентах.

При первичном обучении ИСУ и накоплении опыта целесообразно руководствоваться известными методиками и стандартами, в том числе [7 – 9]. В типовой ситуации, которая при этом возникает, количество экспериментальных данных ограничено и могут приниматься допущения, в том числе, что корреляция между отдельными составляющими погрешностей отсутствует, функции распределения переменных влияющих факторов принимаются нормальными.

Индивидуальная система знаний станка. Построение ИСУ станком основывается на следующих базовых концептуальных положениях.

Для информационной и интеллектуальной поддержки управления технологическим процессом обработки и сопровождения в жизненном цикле металлорежущие станки наделяются системой знаний (СЗ) о своих особенностях, в том числе индивидуальных преимуществах и недостатках, отличающих конкретный станок от ему подобных. Иначе, каждый станок имеет отличия от станков других типоразмеров и станков того же типоразмера по действительной геометрической точности, жесткости, динамическим характеристикам и пр.

СЗ станка в виде интеллектуального узла создается для планирования и программирования процесса обработки. Планирование предполагает обеспечение экономически эффективной обработки при условии удовлетворения конструкторских требований к точности детали, которое основывается на использовании технологии искусственного интеллекта в формировании предложенного метода – Generalized Knowledge Mining for Technological System (GKM TS) – «обнаружение обобщенных знаний для технологической системы» [10].

Подход предусматривает создание для каждой единицы технологического оборудования интеллектуального электронного документа (паспорта). Это дает возможность использования СЗ, формализуемой в разработанной документации, и интеграции электронного паспорта в информационную инфраструктуру станка и технологической системы предприятия. Таким путем создается информационное и интеллектуальное обеспечение для управления процессом обработки на станке, накопления и обмена информацией на всех стадиях жизненного цикла, включая обслуживание, ремонт.

Следующие положения стали отправными в формировании предложенного инновационного подхода.

Стохастичность протекания самого технологического процесса обработки, изменения погрешности исходных и текущих положений рабочих органов и инструмента, состояния заготовки и режущей части инструмента, отсутствие возможности получения достаточно точной информации о положении вершины инструмента относительно заготовки вносят неопределенность, существенно затрудняя моделирование с помощью известных математических выражений. При этом существует большое количество переменных и параметров, а измерение отдельных переменных и определение их влияния на погрешности обработки поверхностей аналитическими методами сильно затруднено или недостижимо.

Применение методов и алгоритмов интеллектуального управления станком позволяет сформировать оценки складывающейся ситуации, в том числе состояния системы и достигаемых параметров качества изготавливаемой детали, а также сделать правильный выбор из вариантов управлений [10]. Это открывает возможности современного подхода к проблеме обеспечения

точности обработки на основе динамической самообучаемости и приспособляемости системы управления станка к реальным условиям.

Электронный интеллектуальный паспорт (ЭИП) состоит из двух частей:

- базовая часть содержит основную техническую информацию о станке;
- интеллектуальная надстройка включает собственную СЗ с соответствующими базой данных (БД) и базой знаний (БЗ), интерфейсы связей с УЧПУ и оператором. Связи между СЗ и УЧПУ станка предусматривают возможность использования принимаемых ИСУ решений для составления или коррекции управляющей программы, а также пополнения БД и БЗ паспорта.

Базовая техническая информация содержит регистрационные документы, совокупность руководств по эксплуатации станка, протоколы приемо-сдаточных испытаний и освидетельствования на заводе, эксплуатирующем станки. В результате этих испытаний ряд индивидуальных параметров ТСС, необходимых для автоматического управления точностью обработки, становится априорно известным. Они составляют наследуемую часть информационного обеспечения, к ним относятся данные об отклонениях от плоскостности столов, непараллельности перемещения суппортов относительно оси шпинделя, отклонениях от взаимной перпендикулярности направлений перемещений рабочих органов и пр.

Регламентированная часть наследуемой информации загружается в БД второй части ЭИП, в его СЗ.

Множество факторов, или наблюдаемых входных воздействий $X^*(t)$, влияющих на общую погрешность $Y^*(t)$ из (3), (4), в зависимости от возможности получения знаний о них может быть представлено в виде совокупности из «наследуемого» множества H и «оперативного» множества O :

$$\begin{cases} X^* = (X_h^*, X_o^*); \\ X_h^* = (x_1^h, x_2^h, \dots, x_m^h); \\ X_o^* = (x_1^o, x_2^o, \dots, x_n^o). \end{cases} \quad (6)$$

Наследуемое множество X_h^* – совокупность m факторов, знания о которых получают при приемо-сдаточных или тестовых измерениях, а совокупность n факторов, измеряемых непосредственно в процессе обработки, отнесена к оперативному множеству X_o^* . Одна из причин такого деления факторов заключается в ограниченной возможности получения оперативной информации от средств контроля непосредственно в процессе обработки детали. К оперативным факторам относятся, например, ошибки перемещений, погрешность наименьших номинальных перемещений рабочего органа при последовательных дискретных перемещениях, погрешности привода, изменяемые при рабочем ходе во время обработки и др.

В собственную СЗ станка кроме БЗ по факторам погрешностей входят совокупности правил принятия решений по различным ситуациям в обработке, видам обработки и требуемым параметрам точности готовой детали. Оценка ситуации и принятие решений выполняется многоуровневой ИСУ [2, 11]. Программа синтеза решений по количеству и параметрам проходов определяется, исходя из наследуемых и оперативных данных и знаний. К функциям этой системы управления относят прогнозирование точности обработки, принятие решений и программы действий и накопление знаний.

Формирование обобщенных знаний. Предлагаемый подход предусматривает, что оценки ситуаций и принятие решений в ИСУ станком производится на базе формируемых обобщенных знаний. Решения, соответствующие требованиям точности обработки, принимаются ИСУ станка при использовании обобщенных знаний, синтезируемых в БЗ на основе наследуемой информации из имеющейся совокупности X_h^* в БД и оперативной информации из совокупности X_o^* . Для синтеза обобщенных знаний используются возможности технологии data mining как интеллектуальной системы поддержки принятия решений, осуществляющей поиск функциональных и логических закономерностей в накопленных данных, построение моделей и ассоциативных правил выводов. Найденные правила описывают зависимости между входными и выходными факторами (результаты

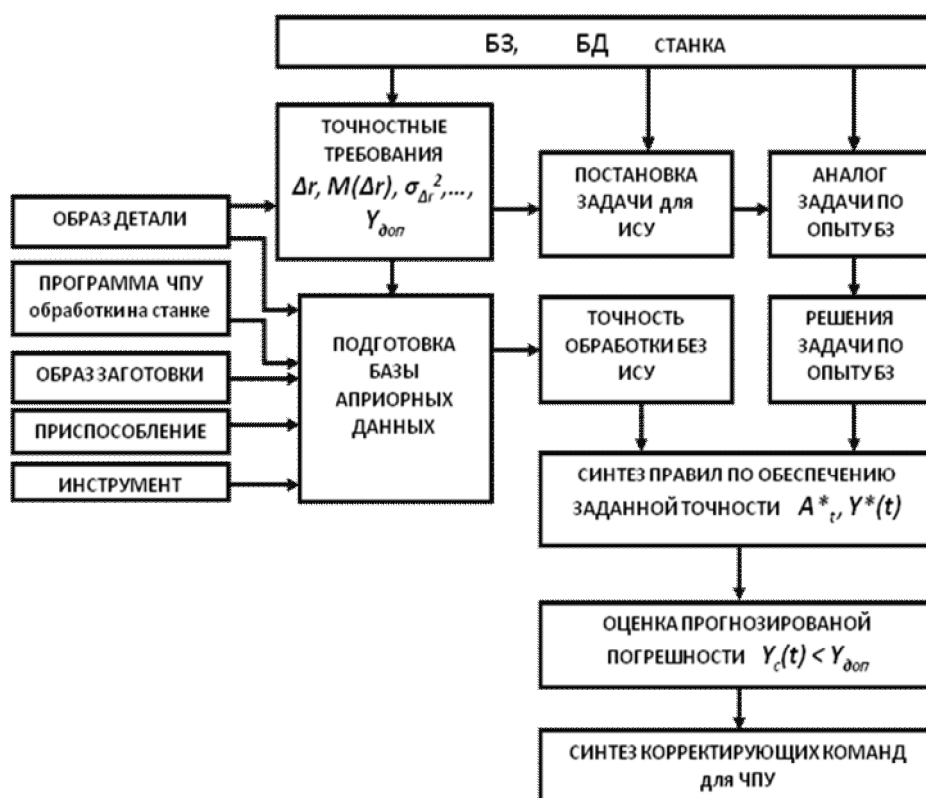
рующими погрешностями обработки) и могут быть использованы для предсказания появления погрешностей, сравнения их с допустимыми отклонениями (5).

Инструментарий data mining представляет возможности для формирования нового обобщенного подхода GKM TS к построению ИСУ технологическими объектами – интерпретации практически полезных и доступных данных в производственных условиях о состоянии элементов станочной системы и формировании целостной СЗ, необходимых для управления процессами.

В программу испытаний и обработки данных измерений включаются процедуры обнаружения знаний о влиянии совокупного многообразия факторов X^* на результирующие погрешности обработки детали Y с помощью технологии data mining и обучения ИСУ конкретного станка.

На основании совокупности примеров входных и выходных данных удастся получить некоторую совокупность функций, которая аппроксимирует корреляцию между входными воздействиями и результирующей погрешностью, обеспечивая формирование БЗ в ИСУ станка. Кроме этого определяются оценочные характеристики влияния каждого фактора множеств X_h^* и X_o^* . Совокупный учет факторов с помощью системы нечетких отношений, которые установлены методом data mining, создает возможность отображения и прогнозирования точности обработки.

На основе описанных концептуальных положений сформирована и реализована структура системы принятия решений ИСУ станка (см. рисунок).



Структура системы принятия решений

Образ детали – цифровое представление изготавливаемой детали, включающее технические требования к ней.

Образ заготовки – цифровое представление состояния заготовки перед операцией обработки на станке с ИСУ.

Приспособление – погрешности базирования и закрепления приспособления на станке и заготовки/инструмента в приспособлении.

Инструмент – погрешности, связанные с геометрией инструмента и его установкой.

Точностные требования – постановка задач по обработке поверхностей (точность размеров и формы поверхностей) или выполнению функций (точность глубины отверстий, точность сопрягаемых поверхностей и углов, взаимная точность расположения отверстий, точность обработки глубоких отверстий, точность поверхностей при врезании и выходе инструмента и т. д.), находящихся на пределе или превышающих индивидуальные возможности станка (без ИСУ) по точности, т. е. лимитирующих.

База априорных данных – сведения по компонентам станочной технологической системы и наследуемой индивидуальной информации о самом станке, необходимые для принятия решений.

Постановка задачи для ИСУ – задачи выбора лимитирующего перехода или последовательности лимитирующих переходов; выборка из БД множества значений наследуемых факторов для характерной задачи или аналога.

Синтез правил по обеспечению заданной точности – принятие решений на основе наследуемой X_h^* , оперативной информации X_o^* , обобщенного подхода GKM и прогноза по возможности достижения условия $Y_c(t) < Y_{доп}$.

Заключение. В основных положениях концептуального подхода представлена методология использования возможностей искусственного интеллекта для управления металлорежущими станками с целью достижения высокой точности обработки деталей. Управление строится на основе разработанной структуры многоуровневой интеллектуальной системы и методе обобщенного анализа составляющих погрешностей обработки, выделения наследуемых и оперативных факторов.

Интеллектуальное электронное документирование металлорежущего станка создает возможность непосредственного внесения коррекций в УЧПУ за счет информационной и интеллектуальной поддержки на базе собственной системы знаний о состоянии элементов станочной системы.

Библиографический список

1. Решетов Д.Н. Точность металлорежущих станков / Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
2. Тугенгольд А.К. Интеллектуальное управление мехатронными технологическими системами / А.К. Тугенгольд, Е.А. Лукьянов. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004. – 117 с.
3. Ратмиров В.А. Управление станками гибких производственных систем / В.А. Ратмиров. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
4. Невельсон М.С. Автоматическое управление точностью металлообработки / М.С. Невельсон. – Л.: Машиностроение, 1973. – 176 с.
5. Точность производства в машиностроении и приборостроении / под ред. А.Н. Гаврилова. – М.: Машиностроение, 1973. – 567 с.
6. Дунин-Барковский И.В. Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении / И.В. Дунин-Барковский, А.Н. Журавлев, В.П. Коротков. – М.: Машиностроение, 1972. – 615 с.
7. МИ 2232-2000. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации.
8. ГОСТ 8.009-84. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерения.
9. МИ 1317-2004 ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Нормы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.
10. Тугенгольд А.К. Оценка ситуации и принятие решений интеллектуальной системой управления технологическим объектом / А.К. Тугенгольд // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 10, №6. – С. 860–867.

11. Интеллектуальные системы в управлении производственными и технологическими процессами / А.К. Тугенгольд, И.В. Богуславский, Е.А. Лукьянов [и др.]; под ред. А.К. Тугенгольда. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 182 с.

Материал поступил в редакцию 06.09.11.

References

1. Reshetov D.N. Tochnost` metallovezhushhix stankov / D.N. Reshetov, V.T. Portman. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 336 s. – In Russian.
2. Tugengol`d A.K. Intel'ektual`noe upravlenie mexatronny`mi texnologicheskimi sistemami / A.K. Tugengol`d, E.A. Luk`yanov. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2004. – 117 s. – In Russian.
3. Ratmirov V.A. Upravlenie stankami gibkix proizvodstvenny`x sistem / V.A. Ratmirov. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 272 s. – In Russian.
4. Nevel`son M.S. Avtomaticheskoe upravlenie tochnost`yu metalloobrabotki / M.S. Nevel`son. – L.: Mashinostroenie, 1973. – 176 s. – In Russian.
5. Tochnost` proizvodstva v mashinostroenii i priborostroenii / pod red. A.N. Gavrilova. – M.: Mashinostroenie, 1973. – 567 s. – In Russian.
6. Dunin-Barkovskij I.V. Vzaimozamenyaemost` i texnicheskie izmereniya v mashinostroenii / I.V. Dunin-Barkovskij, A.N. Zhuravlyov, V.P. Korotkov. – M.: Mashinostroenie, 1972. – 615 s. – In Russian.
7. MI 2232-2000. Obespechenie e`ffektivnosti izmerenij pri upravlenii texnologicheskimi processami. Ocenivanie pogreshnosti izmerenij pri ogranichennoj ishodnoj informacii. – In Russian.
8. GOST 8.009-84. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij. Normiruemy`e metrologicheskie xarakteristiki sredstv izmereniya. – In Russian.
9. MI 1317-2004 GSI. Rezul`taty` i xarakteristiki pogreshnosti izmerenij. Normy` predstavleniya. Sposoby` ispol`zovaniya pri ispy`taniyax obrazczov produkcii i kontrole ix parametrov. – In Russian.
10. Tugengol`d A.K. Ocenka situacii i prinyatie reshenij intellektual`noj sistemoy upravleniya texnologicheskim ob`ektom / A.K. Tugengol`d // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2010. – T. 10, #6. – S. 860–867. – In Russian.
11. Intel'ektual`ny`e sistemy` v upravlenii proizvodstvenny`mi i texnologicheskimi processami / A.K. Tugengol`d, I.V. Boguslavskij, E.A. Luk`yanov [i dr.]; pod red. A.K. Tugengol`da. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2010. – 182 s. – In Russian.

PROCESSING ACCURACY CONTROL USING CAPABILITIES OF MACHINE TOOL KNOWLEDGE SYSTEM

A.K. TUGENGOLD

(Don State Technical University)

The strategic approach to the development of the intellectual control systems of the machine tool accuracy as mechatronic technological systems is presented. It is based on the present-day ideas in the field of the error formation, processing accuracy control with the use of GKM capabilities and electronic manufacturing facilities documentation.

Keywords: working accuracy, intellectual control, knowledge system of machine tool, general knowledge of technological system.