

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.896 + 681.518.5

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМЕ PLM

**А.К. ТУГЕНГОЛЬД, А.С. ТИШИН, А.Ф. ЛЫСЕНКО, З.А. ЦИШКЕВИЧ**

(Донской государственный технический университет)

*Представлен инновационный подход к документированию технологических объектов, даны рекомендации и методики создания интеллектуального паспорта технологического объекта в системе PLM, его базы знаний, организации, представления и обработки данных и знаний.*

**Ключевые слова:** интеллектуальный электронный паспорт, электронное документирование, технологические объекты, станки, база данных, база знаний, жизненный цикл изделия.

**Введение.** Необходимость повышения качества выпускаемой продукции и возросшая конкуренция привели к заметному ужесточению требований, предъявляемых к технологическим машинам. Для того чтобы сохранить конкурентоспособность и вести эффективную экономическую деятельность, необходимо применять результативные системы контроля и управления этими машинами на всех этапах жизненного цикла. В статье предлагается инновационный подход к решению задач повышения эксплуатационных качеств технологических машин, в том числе металлорежущих станков. Подход основывается на следующих базовых концептуальных положениях.

1. Технологические машины как сложные мехатронные системы наделяются системой знаний (СЗ) о своих особенностях, в том числе преимуществах и недостатках, отличающих машину-индивидуум<sup>1</sup> от себе подобных. Этим обеспечивается информационная и интеллектуальная поддержка управления технологическим процессом обработки и сопровождения в жизненном цикле. Так СЗ в виде интеллектуального узла или блока УЧПУ станка используется для планирования и программирования процесса обработки конкретной детали. Планирование предполагает обеспечение экономически эффективной обработки при условии удовлетворения конструкторских требований к точности детали. Обеспечение точности обработки основывается на использовании технологии искусственного интеллекта в формировании предложенного в [1] обобщенного подхода – Generalized Knowledge Mining for Technological System (GKM TS) – «Обнаружение обобщенных знаний для технологической системы».

Повышение эффективности функционирования в производственных условиях в течение жизненного цикла открывает новые возможности в соответствии с подходом PLM (Product Lifecycle Management – технология управления жизненным циклом изделий) и системой электронного документирования сложных технических объектов. Электронное представление информации о сложном техническом объекте стало нормой на мировом рынке высокотехнологичной продукции. Процессы в PLM в современных условиях немислимы без применения интерактивных электронных технических руководств, технической и эксплуатационной документации, обучающих систем. Это особенно важно для станкостроительных предприятий, представляющих свои изделия на мировой рынок.

<sup>1</sup> Имеется в виду, что каждая технологическая машина-индивидуум, например станок-индивидуум, имеет отличительные особенности не только среди станков других типоразмеров, но и среди станков того же типоразмера по действительной геометрической точности, жесткости, динамическим характеристикам и пр.

2. Подход предполагает реализацию указанных концептуальных положений путем создания для каждой единицы технологического оборудования интеллектуального электронного паспорта. Это дает возможность использования СЗ, формализуемой в разработанной документации, и возможность интеграции электронного паспорта в информационную инфраструктуру станка и технологической системы предприятия. Таким путем создается информационная и интеллектуальная поддержка управления процессом обработки на станке и, в целом, эксплуатации станка, включая обслуживание, ремонт и утилизацию.

**Постановка задачи.** Стоит обратить внимание на следующие положения, ставшие отправными моментами в формировании предложенного инновационного подхода.

1. В проблеме повышения точности обработки деталей на металлорежущих станках внимание специалистов сосредоточено на двух аспектах [2]: анализ причин, вызывающих погрешности, и их устранение в процессе конструирования и изготовления станков; синтез методов учета составляющих погрешностей и методов управления процессом обработки, обеспечивающих заданную точность.

Несмотря на значительное количество исследований, выполненных по этой проблеме, актуальность продолжения разработок не ослабевает в связи с востребованностью и повышением значимости их результатов [3–5]. Однако геометрические погрешности получаемых поверхностей и особенно погрешности контурной обработки представляют собой нестационарные функции, в ряде случаев с негауссовскими законами распределения. В общем случае для такой сложной технологической системы, как станок, существенно затрудняется ее моделирование с помощью известных математических выражений. Велико число переменных и параметров, измерение отдельных переменных и определение их влияния на погрешности обработки поверхностей аналитическими методами сильно затруднено или недостижимо. Можно полагать, что создание полностью адекватной модели поведения такой системы в процессе обработки практически невозможно.

При традиционных системах управления станками стохастичность протекания самого технологического процесса, изменение внешних условий, погрешности исходных и текущих положений рабочих органов и инструмента, состояние заготовки и режущей части инструмента, отсутствие возможности получения достаточно точной информации о положении вершины инструмента относительно заготовки вносят неопределенность в формирование управлений рабочими органами станка. Применение методов интеллектуального управления станком позволяет сформировать оценки складывающейся ситуации, в том числе оценку состояния системы и оценку достигаемых параметров качества изготавливаемой детали, а также сделать правильный выбор из альтернативных вариантов управлений.

Использование алгоритмов искусственного интеллекта открывает возможности современного подхода к проблеме обеспечения точности обработки и основывается на принципе динамической самообучаемости и приспособляемости системы управления станка к реальным условиям.

2. Документирование мехатронных технологических объектов. В сложившейся системе документального сопровождения технологического оборудования основную роль играет паспортизация. Паспорт – это технологический документ, содержащий сведения об основном назначении и особой применимости оборудования, которые определяют области его рационального использования. Например, в паспорте станка приводятся его кинематическая схема, перечень и характеристика применяемых инструментов и приспособлений, характеристика системы управления, электрическая схема привода и другие данные.

К недостаткам существующей системы ведения паспортной и другой документальной информации многие станкостроительные предприятия относят:

- отсутствие возможности организованного документооборота технологических данных; несистемное хранение данных;

- практически полное отсутствие информационного обмена данными, содержащими результаты испытаний на геометрическую точность станков и точность обработки образцов изделий. Такие данные должны быть в сопроводительной документации в соответствии с существующими ГОСТами, устанавливающими показатели качества станков и методы испытаний (контроля) для их определения, в том числе ГОСТ 8-82, ГОСТ 27843-2006 и др.;

- невозможность оперативного поиска данных из-за отсутствия в электронном виде паспортной и другой документальной информации.

Специфические особенности, которыми обладает каждый станок, не учитываются при программировании обработки, практически паспорт станка и другая сопроводительная информация при этом не используются.

Для решения подобных задач при эксплуатации наукоемкого оборудования всё большее применение получают интерактивные электронные технические руководства, позволяющие осуществлять накопление и обмен информацией на всех стадиях жизненного цикла каждого конкретного технологического объекта.

3. PLM-подход. PLM – это организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с проектирования и производства до снятия с эксплуатации. К таким изделиям относятся различные сложные технические объекты, например корабли и автомобили, самолёты и ракеты, различные машины и др. Информация об объекте, содержащаяся в системе PLM, является цифровым макетом этого объекта.

Сам термин «управление жизненным циклом изделия» появился как результат почти двадцатилетней эволюции соответствующих рынков и технологий. В последние годы система сформировалась и постоянно расширяется как по степени охвата, так и по мощности предлагаемых решений. Система PLM ныне используется для решения задач:

- создание интеллектуальной базы знаний и информации, относящихся к изделию – техническому объекту;
- управление этими составляющими;
- адресное использование знаний и информации на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Сочетание PLM с другими областями приносит новые возможности и открывает такие сферы, где потенциал связанного с объектом интеллектуального капитала реализуется внутри расширенной сферы.

Среди областей применения PLM важными для мехатронных технологических объектов и прежде всего для металлорежущих станков является управление интеграцией электронных устройств и программного обеспечения, управление техническими характеристиками, анализ и управление моделированием и пр. Подготовка информации в структурированной среде гарантирует ее доступность и управляемость на всем протяжении жизненного цикла [6]. Интерактивные электронные технические руководства для станков в системе PLM помогут решать задачи такого рода с большим эффектом.

**Системная архитектура интеллектуального электронного паспорта технологического объекта.** Для решения проблемы информационного обеспечения интеллектуального электронного документирования технологического оборудования, в том числе станков, предлагается создание для каждой единицы оборудования интеллектуального электронного паспорта (ИЭП) в системе PLM. Архитектура ИЭП состоит из двух частей: базовой, содержащей основную техническую информацию объекта, и интеллектуальной надстройки с СЗ и интерфейсами связей с УЧПУ и оператором (рисунок). Кратко остановимся на содержании каждой из частей.



Источники информации в интеллектуальном электронном паспорте

## ЧАСТЬ 1. БАЗОВАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1.1. Регистрационное документирование. В число обычно представляемых заказчику документов входит паспорт станка. Это документ с идентификационным номером и наименованием станка, содержащий сведения, удостоверяющие гарантии изготовителя, значения основных параметров и характеристик (свойств) изделия, а также сведения о сертификации и утилизации изделия. Прочие документы:

- гарантийное обслуживание производителем;
- сведения о капитальных ремонтах, техническом обслуживании и пр.;
- специальные эксплуатационные инструкции;
- другая необходимая информация по станку.

1.2. Информация по станку, включает следующие руководства:

- по транспортировке и установке станка,
- по эксплуатации станка,
- о стойке ЧПУ и программированию на станке,
- по сервисному обслуживанию.

Руководство по эксплуатации содержит сведения об особенностях конструкции, принципе действия, характеристиках (свойствах) станка, его составных частях и указания, необходимые для правильной и безопасной эксплуатации (использования по назначению, техническому обслуживанию, текущему ремонту, хранению и транспортированию).

1.3. Протоколы приемосдаточных испытаний станка. В электронном паспорте станка приводятся его кинематическая схема, перечень и характеристика применяемых инструментов и приспособлений, характеристика системы управления, электрическая схема привода и другие данные. Главный результат применения электронного отображения этой базовой части паспорта – организация легкого, оперативного, территориально-распределенного доступа к данным. С помощью него создается единая база данных, содержащая полную информацию об оборудовании. Для поиска и работы с информационной документацией не потребуется пользоваться сложными организованными бумажными архивами и постоянно возвращаться к ним во время выполнения планово-профилактических работ. Поэтому эффективность работы эксплуатационного персонала возрастает как минимум на 20% (по зарубежным оценкам). Это важно в связи с тем, что мероприятия по совершенствованию технологии и интенсификации режимов обработки требуют систематического

пересмотра паспортных данных. Поэтому корректировка паспорта проводится частично на месте установки станка, данные уточняются после капитального ремонта и модернизации.

Первая базовая часть ИЭП станка функционально реализована как интегрированная база данных, представляющая собой совокупность графической, текстовой и табличной информации. Она содержит следующие данные: общие данные; заводские данные; сведения о техническом состоянии станка; результаты приемосдаточных испытаний; технико-экономические показатели; автоматический расчёт наработки станка; сведения об отказах и проводимых ремонтах; сведения об обследованиях станка и модернизации; результаты освидетельствования станка. Кроме того, предполагается наличие прогноза ремонтных работ.

Вторая часть представляет собой интеллектуальную надстройку с системой знаний и интерфейсами связей ИЭП с УЧПУ и операторами.

## ЧАСТЬ 2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

2.1. Индивидуальные свойства станка (наследуемые, оперативные).

2.2. Система знаний станка-индивидуума (собственная система знаний).

2.3. Связи ИЭП с УЧПУ и операторами.

Знания индивидуальных свойств станка служат информационной и интеллектуальной поддержкой управления процессом обработки на станке (а в целом, и эксплуатации станка, включая обслуживание, ремонт и утилизацию).

Основной информацией, характеризующей индивидуальные особенности станка, являются сведения по параметрам и свойствам, влияющим на точность обработки деталей и производительность.

Известно, что на погрешность обработки детали оказывает влияние значительное множество факторов [2]:

$$F = (f_1, f_2, f_3, \dots, f_k). \quad (1)$$

Множество факторов (1), или входных воздействий, влияющих на общую погрешность  $F$ , в зависимости от возможности получения знаний о них может быть представлено в виде совокупности из «наследуемого» множества  $H$  и «оперативного» множества  $O$ :

$$\begin{aligned} F &= (F_h, F_o), \\ F_h &= (f^h_1, f^h_2, \dots, f^h_m); \\ F_o &= (f^o_1, f^o_2, \dots, f^o_n). \end{aligned} \quad (2)$$

Под наследуемым множеством  $F_h$  подразумевается совокупность  $m$  факторов, знания о которых получают при приемосдаточных или тестовых измерениях, а совокупность  $n$  факторов, измеряемых непосредственно в процессе обработки, отнесена к оперативному множеству  $F_o$ . Одна из причин такого деления факторов заключается в ограниченной возможности получения оперативной информации от средств контроля непосредственно в процессе обработки детали [2]. Примерами наследуемых факторов являются отклонения от плоскостности столов, непараллельность перемещения суппортов относительно оси шпинделя, отклонения от взаимной перпендикулярности направлений перемещений рабочих органов и пр. К оперативным факторам относятся, например, ошибка датчика 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 базы знаний по факторам погрешностей входят совокупности правил принятия решений по различным ситуациям в обработке, видам обработки (длина сверления, расточка, конусы, сферы, резьбы ...) и требуемым параметрам точности (размерная точность, соосность и пр., шероховатость...). Оценка ситуации и принятие решений выполняется многоуровневой интеллектуальной системой управления (ИСУ) [2]. Программа синтеза решений по количеству и параметрам проходов определяется исходя из наследуемых и оперативных данных и знаний. В функции этой системы управления входят прогнозирование точности обработки,

принятие решений и программы действий, сопоставление прогнозов с результатами обработки деталей и накопление знаний.

Связи между ИЭП и УЧПУ станка предусматривают возможность использования принимаемых ИСУ решений для составления или коррекции управляющей программы, а также пополнения базы данных (БД) и базы знаний (БЗ) паспорта. Связь с операторами обеспечивает доступа к ИЭП через информационную сеть предприятия.

Кроме того, должны быть решены вопросы передачи устанавливаемой на компьютерную систему конечного пользователя управляющей системы и обеспечение удаленного доступа к данным ИЭП, скомплектованным разработчиком (по ГОСТ 2.601-2006 ЕСКД – эксплуатационные документы).

**Формирование обобщенных знаний.** Предлагаемый в статье подход предусматривает, что оценка ситуаций и принятие решений в ИСУ технологических систем 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  $F_h$  и оперативной информации  $F_o$ . Для синтеза обобщенных знаний используются возможности технологии Data Mining [1]. Инструментарий Data Mining, как указывалось, открывает средства для формирования нового обобщенного подхода GKM TS к построению ИСУ технологическими объектами - интерпретации практически полезных и доступных данных в производственных условиях о состоянии элементов технологической системы и формировании целостной системы знаний, необходимых для управления процессами.

В программу испытаний и обработки данных измерений включаются процедуры обнаружения знаний о влиянии совокупного многообразия факторов  $F$  на результирующие погрешности обработки детали с помощью технологии Data Mining и обучения ИСУ конкретного станка-индивидуума. Система обучения ИСУ (*обучение с учителем*) предусматривает, что входы – это дискретно регистрируемые изменения отклонения (от принятого значения для получения нужного размера детали) одной из составляющих погрешностей или их сочетания, а выходы – отклонения размера или формы, или взаиморасположения поверхностей. При этом выполняется последовательный перебор составляющих и их значений.

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 (вероятностные и весовые) оценочные характеристики влияния каждого фактора множеств  $F_h$  и  $F_o$ .

При эксплуатации станка в процессе обработки детали информационная база ИСУ основывается на совокупности поступающей **оперативной** информации от тех датчиков, которые используются при работе станка, и знаний о влиянии **наследуемых** факторов. Совокупный учет факторов, оказывающих влияние на результирующие погрешности обработки детали, с помощью системы нечетких отношений (установленных методом Data Mining) создает возможность отображения и прогнозирования поведения технологической системы в целом. Это позволяет решать вопросы повышения точности комплексно, а не частично или адресно, решая изолированно задачу учета влияния на точность обработки только износа инструмента, например, или только наследственности припуска. Но и в случае формирования обобщенных знаний для каждого станка определяется минимально необходимый состав информации о погрешностях, достаточный для достижения необходимой точности.

Как принято при нечетком прогнозировании, модель предсказания погрешности обработки поверхности представляется в виде множества правил. При заданных значениях входных переменных (факторов)  $f_i$  оценку выходного значения погрешности обработки  $y^*$  можно определить по следующей зависимости [7]:

$$y^* = \sum_{i=1}^n g_i \times y_i / \sum_{i=1}^n g_i,$$

где  $n$  – число правил,  $y_i$  – выходное значение, вычисленное по  $i$ -му правилу,  $g_i$  – вес, представляющий значение истинности  $i$ -го правила.

При использовании для прогнозирования точности обработки нейронных сетей [2] в алгоритм вывода решений включаются процедуры:

- определение обучающей и валидационной выборок;
- подбор параметров нейросети;
- обучение нейросети;
- проверка работоспособности нейросети в реальных условиях.

Для полноценного эффективного функционирования интеллектуальных электронных паспортов технологического оборудования необходимо решение ряда вопросов, включая следующие:

- Накопление и обмен информацией на всех стадиях жизненного цикла каждого конкретного технологического объекта.

- Гармонизация терминологии, типов, видов документов, форматов их электронного представления, протоколов работы с ними, средств защиты от несанкционированного доступа.

- Информационная и интеллектуальная поддержка управления не только процессом обработки, но и в целом эксплуатации технологического объекта, включая обслуживание, ремонт и утилизацию и пр.

В состав работ по внедрению системы интеллектуальной электронной паспортизации целесообразно включить совокупность мероприятий, в том числе:

- проектирование форматов паспортов оборудования;
- организацию ввода паспортных данных с клиентских мест специалистов предприятия;
- создание БД моделей оборудования;
- организацию выборки и пополнения информации из БД И БЗ и пр.

Интеллектуальные электронные паспорта станков могут создаваться как на предприятиях-изготовителях станков, так и на эксплуатирующих предприятиях (продумать сокращенный вариант для последних) для экспорта.

**Заключение.** Интеллектуальное электронное документирование и паспортизация станков является важным этапом на пути создания единой среды эксплуатации, программирования и обслуживания станков и другого технологического оборудования на различных предприятиях и от различных производителей. Это средство построения информационной системы мониторинга эксплуатационных данных промышленного предприятия.

Кроме непосредственного повышения точности и производительности за счет возможности прогнозирования и реализации наиболее рационального использования технологического оборудования обеспечивается: обмен информацией; возможность выполнения вычислительных процедур для технологических нужд и для определения остаточного ресурса надежности оборудования; полная сохранность баз данных и знаний ИЭ паспортов на сервере за счет организации копирования и восстановления информации; возможность организации выборки данных по любым наборам параметров документальной информации и пр.

### Библиографический список

1. 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.
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. Xu N. Systematic Investigation of Tool Wear Monitoring in Turning Operations / N. Xu, S.H. Huang, J. Snyder // ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, November 5–11, Orlando, USA. – 2005.

4. Huang S.H. Tolerance-based Process Plan Evaluation Using Monte Carlo Simulation / S.H. Huang, Q. Liu, R. Musa // International Journal of Production Research. – 2004. – Vol. 42. – No. 23. – Pp. 4871–4891.

5. Laperriere L. Tolerance Analysis and Synthesis Using Jacobian Transforms / L. Laperriere, H. A. ElMaraghy // Annals of the CIRP. – 2000. – Vol. 49. – No. 1. – Pp. 359–362.

6. Weidenbrueck D. S1000D: A Standard for Technical Documentation / D. Weidenbrueck. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://tc.eserver.org/28083.html>.

7. Прикладные нечеткие системы / под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. – М.: Мир, 1993. – 368 с.

Материал поступил в редакцию 04.02.11.

## References

1. Tugengol'd A.K. Ocenka situacii i prinyatie reshenii intellektual'noi sistemoi upravleniya tehnologicheskim ob'ektom / A.K. Tugengol'd // Vestn. Donsk. gos. tehn. un-ta. – 2010. – Т. 10, № 6. – С. 860–867. – In Russian.

2. Tugengol'd A.K. Intellektual'noe upravlenie mehatronnymi tehnologicheskimi sistemami / A.K. Tugengol'd, E.A. Luk'yanov. – Rostov n/D: Izdatel'skii centr DGTU, 2004. – 117 s. – In Russian.

3. Xu N. Systematic Investigation of Tool Wear Monitoring in Turning Operations / N. Xu, S.H. Huang, J. Snyder // ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, November 5–11, Orlando, USA. – 2005.

4. Huang S.H. Tolerance-based Process Plan Evaluation Using Monte Carlo Simulation / S.H. Huang, Q. Liu, R. Musa // International Journal of Production Research. – 2004. – Vol. 42. – No. 23. – Pp. 4871–4891.

5. Laperriere L. Tolerance Analysis and Synthesis Using Jacobian Transforms / L. Laperriere, H. A. ElMaraghy // Annals of the CIRP. – 2000. – Vol. 49. – No. 1. – Pp. 359–362.

6. Weidenbrueck D. S1000D: A Standard for Technical Documentation / D. Weidenbrueck. [Elektron. resurs]. – Rejim dostupa: <http://tc.eserver.org/28083.html>.

7. Prikladnye nechetkie sistemy / pod red. T. Terano, K. Asai, M. Sugeno. – M.: Mir, 1993. – 368 s. – In Russian.

## INTELLECTUAL ELECTRONIC DOCUMENTATION OF TECHNOLOGICAL OBJECTS IN PLM SYSTEM

**A.K. TUGENGOLD, A.S. TISHIN, A.F. LYSENKO, Z.A. TSISHKEVICH**

(Don State Technical University)

*An innovative approach to the documentation of technological objects is presented. Recommendations and methods for the development of the intellectual passport for technological objects in PLM system, its knowledge bases, organizations, data and knowledge presentation and processing are given.*

**Keywords:** *intellectual electronic passport, electronic documentation, technological objects, machine tools, data base, knowledge base, product lifecycle.*