

УДК 681.5

**Е.М. Самойлова, А.А. Игнатъев**

Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина,  
Саратов, Россия

## **ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКЦИОННОЙ КОМПОНЕНТЫ БАЗЫ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА**

Рассмотрены концептуальные и эмпирические модели знаний, в частности производственная модель, при решении трудноформализуемых задач управления сильносвязанными системами с целью повышения эффективности производства за счет снижения (ликвидации) брака при изготовлении изделий и увеличения периода нормальной работы технологического оборудования с реализацией системы гибкого технического обслуживания объектов.

Сформировано более семидесяти производственных правил при отклонении от нормы параметров показателя качества для шлифовального станка в соответствии с разработанным алгоритмом последовательности диагностирования основных подсистем шлифовального станка на основании критериев качеств.

Представленная технология формирования производственной компоненты базы знаний экспертной системы для контроля, диагностирования шлифовальных станков и выбора режима обработки на основе разработанного алгоритма последовательности диагностирования основных подсистем шлифовального станка в виде набора производственных правил позволяет в производственных условиях выбрать целесообразные режимы резания и правки инструмента, обеспечивающие максимальную производительность без потери качества обрабатываемой поверхности деталей. Апробация экспертной системы поддержки принятия решения (ЭСППР) на шлифовальных автоматизированных станках показала повышение их параметрической надежности за счет обеспечения оперативности принятия решения о состоянии технологической системы.

**Ключевые слова:** интеллектуальные технологии, экспертная система, шлифовальный станок, технология, производственная компонента, база знаний, модель, алгоритм, диагностирование.

**E.M. Samoilova, A.A. Ignatiev**

Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin,  
Saratov, Russian Federation

**THE TECHNOLOGY OF FORMATION OF PRODUCTION  
COMPONENTS OF THE KNOWLEDGE BASE  
OF AN EXPERT SYSTEM FOR MONITORING  
AND DIAGNOSING GRINDING MACHINE**

Reviewed conceptual and empirical models of knowledge, in particular, the production model in solving of difficult to formalize problems of control of tightly-coupled systems with the aim of increasing production efficiency by reducing (liquidation) of marriage at manufacturing of products and increase the period of normal operation of the technological equipment with the implementation of flexible maintenance.

Formed over seventy production rules when the aberration parameters of the quality indicator for a grinding machine in accordance with the developed algorithm the sequence of diagnosis of the main subsystems of a grinding machine on the basis of criteria of the qualities.

The technology of formation of production components of the knowledge base of an expert system for monitoring, diagnosing grinding machines and select a processing mode on the basis of the developed algorithm to the sequence of diagnosis of the main subsystems of a grinding machine in the form of a set of production rules allows in industrial environments to select appropriate cutting data and tool editing for maximum performance without losing quality of the processed surfaces, Testing EDSS grinding, automated machines showed a parametric increase their reliability by ensuring the efficiency of decision making on the state of the technological system.

**Keywords:** intelligent technologies, expert system, grinding machine, technology, production component, knowledge base, model, algorithm, diagnosis.

**Введение.** Интеллектуальные технологии дают практически значимые результаты по многим технологическим направлениям, особенно при управлении сильносвязанными системами, сложными объектами и многопараметрическими процессами, когда необходимо решение трудноформализуемых задач с целью повышения эффективности производства за счет снижения (ликвидации) брака при изготовлении изделий и увеличения периода нормальной работы технологического оборудования с реализацией системы гибкого технического обслуживания объектов [1–6].

Анализ методов и технологий интеллектуализации мониторинга технологических систем на основе станочных модулей показал необходимость расширения ранее принятой структуры мониторинга путем внедрения интеллектуальных технологий (ИТ) экспертных систем с целью обеспечения эффективности машино- и приборостроительного производства и качества высокоточных изделий.

**Представление и моделирование информационных потоков экспертной системы.** Проблема представления знаний является одной из центральных при построении интеллектуальной системы, в частности экспертной системы (ЭС). Технология ЭС отличается возможностью использования явного представления знаний, таких как продукционные правила, предикаты, семантические сети и фреймы, что позволяет применять для анализа и преобразования знаний формализованные логические методы. А сам процесс вывода на знаниях предполагает вывод заключений по совокупности исходных данных, сопоставляя их с категориями иерархии системы продукционных правил, семантических сетей или др. [7–9].

Модели знаний можно условно разделить на концептуальные и эмпирические. Концептуальные в процессе решения задачи позволяют «выделить» данную задачу из всего объема задач, когда эмпирические «накапливают» знания описательного характера, причем сами знания варьируются от простого набора правил до полного описания процесса решения задач экспертом.

В процессе решения ЭС практических задач концептуальная модель плавно перетекает в эмпирическую по мере уточнения решаемой задачи. Наиболее распространенными классами моделей принято считать: *продукционную модель, семантические сети, фреймы и объектно-ориентированную модель* [1].

Наглядность *семантических сетей* дает возможность описания сущностей различных типов и понятий, а также связей между ними с помощью графа. Знания независимо масштабируются с сохранением модульности.

*Фреймы* – это совокупность процедурных и декларативных возможностей в виде строго организованной структуры данных, обладающей системой информационных связей предметной области:

$$\{n, (v_1, g_1, p_1), \dots, (v_k, g_k, p_k)\}, \quad (1)$$

где  $n$  – наименование;  $v_i$  – имя слота;  $g_i$  – значение слот (может содержать  $n$ );  $p_i$  – процедура (может отсутствовать).

База знаний (БЗ) фрейма может иметь сложную иерархическую структуру за счет процедурных вложений. Часть слотов фрейма может оставаться пустой.

*Продукционная модель* по сравнению с предыдущими обладает большей наглядностью, высокой модульностью, гибкостью и простотой логического вывода, что обуславливает выбор данной модели для реализации процедурной компоненты ЭС и подтверждается применением более чем в 80 % разработок ЭС в машино- и приборостроительной отрасли [3, 10].

Используя предыдущий опыт построения БЗ в области машиностроения [7, 9] и исследования, представленные выше, примем, что проектируемая БЗ состоит из процедурной компоненты (правила обработки декларативных знаний) и декларативной (факты об объекте управления, в частности, автоматизированном станочном модуле (АСМ)). Объектно-ориентированная модель описывает декларативную компоненту БЗ и включает в себя информацию о сущностях проблемной области и отношениях между ними: подсистемы АСМ, параметры контроля и диагностирования, значения параметров контроля и диагностирования, функциональные подсистемы АСМ, справочные и эталонные таблицы значений параметров контроля и диагностирования. Данная модель наглядно отображает исследуемые объекты и связи между ними, имеет возможность скрывать данные и процедуры, ограничивать доступ, а также содержит механизм наследования атрибутов.

Рассмотренная выше технология базируется на понятии «формальная продукционная система», берущем начало из работ Е. Поста середины XX века. Продукционная система Поста задается своим алфавитом  $C = C \{C_1, \dots, C_N\}$  и системой базисных продукций:  $X_i W \rightarrow W Y_i$  ( $i = 1, \dots, I$ ), где  $X_i$  и  $Y_i$  слова в  $C$  [11].

Пусть некоторое слово  $\Psi$  начинается с  $X_i$ , тогда применить к слову  $\Psi$  продукцию означает вычеркнуть из  $X_i$ , начальный отрезок и к оставшемуся слову (части слова)  $\Psi$  приписать  $Y_i$ .

Каждая система продукций понимается как формальная система с правилами вывода  $P_i$  ( $i=1, \dots, I$ ), где  $P_i$  ( $\Phi, \Psi$ ) считается истинным, если слово  $\Psi$  получено из слова  $\Phi$  применением продукций  $X_i W \rightarrow W Y_i$ .

В соответствии с [11] продукционная система представляется тройкой вида

$$PS = \langle F, P, I \rangle, \quad (2)$$

где  $F$  – БД (рабочая память), содержащая текущие данные;  $P$  – БЗ;  $I$  – интерпретатор, реализующий процесс вывода.

Интерпретатор  $I$ , в свою очередь, формально можно представить так:

$$I = \langle V, S, R, W \rangle, \quad (3)$$

где  $V$  – множество процедур выбора из  $F$  и  $P$  подмножества активных данных;  $F_v$  и активных продукций  $P_v$  (участвующих в текущем цикле работы  $I$ );  $S$  – процесс сопоставления, определяющий множество означиваний, т.е. пар вида

$$(p_i) \rightarrow \{d_i\}, p_i \in P_i, \{d_i\} \in F_i, \quad (4)$$

где  $p_i$  – правило;  $\{d_i\}$  – данные;  $R$  – процесс разрешения конфликтов (планирования), определяющий, какое из множеств полученных означиваний будет выполнено;  $W$  – процесс, осуществляющий выполнение выбранного означенного правила, т.е. выполнение действий, указанных в правой части правила.

Процедурная компонента БЗ представлена продукционной моделью и позволяет представлять знания в виде предложений типа:

«Если {<условие>} то {<действие>} [иначе {<действие>}],

где *условие* – это образец для поиска в БЗ; *действия* – действия или операторы, выполняемые при успешном исходе поиска.

Данное правило дедуктивного вывода называют *Modus ponens*. В общем случае под продукцией понимается выражение

$$\langle (i); Q; P; A \Rightarrow B; N \rangle, \quad (5)$$

где  $i$  – номер продукции (имя);  $Q$  – сфера применения продукции;  $P$  – правило;  $A$  – условие;  $B$  – действие;  $N$  – постусловие продукции, предпринимаемое после выполнения  $B$ .

Условие  $A$  и действие  $B$  могут рассматриваться как сложные высказывания, состоящие из простых высказываний, соединенных логическими связками *И* и *ИЛИ*

$$A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_m \Rightarrow B_1 \cup B_2 \cup \dots \cup A_N. \quad (6)$$

Для описания достаточно сложных объектов, каким является АСМ, используют системы продукций, при работе с которыми возникают структуры рассуждений типа «дерево», в котором начальная (корневая) вершина соответствует исходному высказыванию, а конечные (терминальные) вершины – результатам рассуждений, в каждом из которых истинна одна группа высказываний, соответствующих промежуточным вершинам дерева, находящимся на пути от корневой

к данной терминальной вершине. Поиск такого решения выполняется с помощью алгоритмов – *механизмов логического вывода* (МЛВ). Вывод на знаниях опирается на продукционную модель, при использовании которой БЗ состоит из набора правил (6), а программа, управляющая перебором правил, называется *машиной вывода* [9].

Вывод на такой БЗ бывает прямого типа (от данных – к цели) и обратного (от цели, для ее подтверждения, к данным). В случае прямого вывода по известным сущностям (диагностических параметров) отыскивается заключение, в соответствии с правилами, и если такое заключение удастся найти, то оно заносится в РП, что применимо к ЭС. Обратный вывод, когда вначале выдвигается некоторая гипотеза о конечном суждении, а затем МЛВ осуществляет поиск в РП таких фактов, подтверждающих или опровергающих эту гипотезу, применим при задачах проектирования и планирования. Необходимо определить исходную точку в пространстве состояний, от которой зависит метод осуществления поиска, и стратегию перебора (в глубину, ширину, по подзадачам и т.д.) для оптимизации поиска [10–12].

**Адаптация этапа построения БЗ при создании экспертной системы для контроля качества обработки деталей и диагностирования технологической системы на основе шлифовального станка.** При разработке ЭС одной из основных проблем является получение информации в виде знаний от экспертов-профессионалов в данной проблемной области. В работе А.Н. Павлова [12] и других исследователей [1, 7] определены применяемые виды сбора информации от экспертов: интервьюирование, анкетирование и дискуссии, метод «мозгового штурма», метод Дельфы. После каждого этапа извлечения знаний необходимы математическая обработка полученной информации и сопоставление результатов. Повторяется этот процесс до полного единения экспертов. Заключительные результаты используются для формирования БП и БД.

Анализируя методы математической обработки информации, полученной от экспертов, выбираем метод парных сравнений, так как он прост в реализации и дает возможность определять и корректировать причинно-следственные связи между элементами предметной области во время проведения групповой оценки знаний группы экспертов [12, 13]. Данный метод реализуется путем перебора и сравнений всех возможных пар с определением степени значимости одного объекта

перед другим, а также метод непосредственной оценки, в зависимости от ситуации обработки знаний.

Исходными данными для построения БЗ (ЭСППР) реального времени для контроля, диагностирования шлифовальных станков и выбора режима обработки являются данные о качестве ТП, данные о причинах дефектов (брака) поверхности изготавливаемой продукции, о способах устранения дефектов качества обработки и брака, структурированных по подсистемам, о параметрических и функциональных отказах основных элементов станка, данные о способах устранения отказов, структурированных по подсистемам и их восстановлении, алгоритмы диагностирования основных подсистем станка и т. д.

Знания о проблемной области получены посредством анализа эмпирических данных исследований надежности шлифовального станка, проведенных сотрудниками СГТУ, ЗАО «Станкошлиф», ООО «НПП Подшипник-Стома», ОАО «Конструкторское бюро промышленной автоматики», ОАО «ЕПК-Саратов». Для дополнения и уточнения знаний об объектах исследования: – SIW-3,4,5, SwaAGL-50, Weiss WKG-05 (данные инструментальных измерений, визуальные признаки дефектов, алгоритмы диагностирования) – организован опрос экспертов-профессионалов с применением совокупности метода Дельфы, методов интервьюирования и дискуссии. Каждый этап сбора знаний завершался математической обработкой собранных материалов и совместным обсуждением полученных результатов. Данный процесс продолжался до полного единения экспертов по каждому вопросу. Полученные результаты использовались для формирования БП, БА и БД. С целью выявления причинно-следственных и функционально-поведенческих связей была произведена математическая обработка полученных данных для выявления наиболее предпочтительного варианта решения проблемы [13–15].

Основой БЗ ЭСППР, определяя ее эффективность и быстродействие, является декомпозиция шлифовального станка, представленная в виде иерархической информационно-структурной модели технологической системы. Каждая подсистема АСМ, выполняя собственную подзадачу, обеспечивает решение поставленной единой цели.

По функциональному признаку выделяются семь подсистем первого уровня: 1 – управления; 2,3 – привода вращения детали и инструмента; 4 – привода подачи бабки инструмента; 5 – процесса резания; 6 – несущие элементы конструкции и 7 – вспомогательная подсистема.

Каждая подсистема первого уровня по функциональному признаку с применением принципа декомпозиции разбивается на подсистемы второго уровня, содержащие узлы и блоки, входящие в состав подсистем первого уровня (двигатели, механические передачи, узлы базирования детали и инструмента и т.д.) и выполняющие команды подсистемы управления для реализации перемещения исполнительных органов станка и осуществления процесса шлифования.

На основе проведенных исследований оценки динамического состояния шестнадцати автоматизированных шлифовальных станков разного типа для обработки колец подшипников в рамках обучающего эксперимента выделены основные параметры качества при диагностике и управлении станком (таблица), учитывая, что точность размера детали поддерживается приборами активного контроля, а динамические портреты станков определяются опытным путем по общему уровню вибрации шпиндельного узла круга и детали в диапазоне до 4 кГц. Также достаточно информативным параметром о состоянии подшипниковых опор ШУ является температура, измеренная на корпусе ШУ вблизи опор.

Границы допустимых значений основных параметров качества при диагностике и управлении станком

| № п/п | Параметр качества                  | Границы допустимых значений параметров |
|-------|------------------------------------|--|
| 1     | Размер (X, Z)                      | $\leq 2$ мкм                           |
| 2     | Овальность                         | $\leq 2$ мкм                           |
| 3     | Шероховатость                      | $\leq 0,63$ мкм                        |
| 4     | Огранка                            | $\leq 2$ мкм                           |
| 5     | Волнистость                        | $\leq 1$ мкм                           |
| 6     | Неоднородность поверхностного слоя | 4...5 баллов                           |
| 7     | Профиль дорожки качения            | $\leq 5$ мкм                           |

**Формирование продукционной компоненты БЗ на основе разработанного алгоритма последовательности диагностирования основных подсистем шлифовального станка.** Результаты проведенного исследования структурированы по подсистемам в соответствии с построенной информационно-структурной моделью и были использованы для построения алгоритма последовательности диагностирования основных подсистем станка с последующим формированием базы правил (БП) и данных БД (рисунок), а также при уточнении обобщенной структуры динамической ЭСППР.

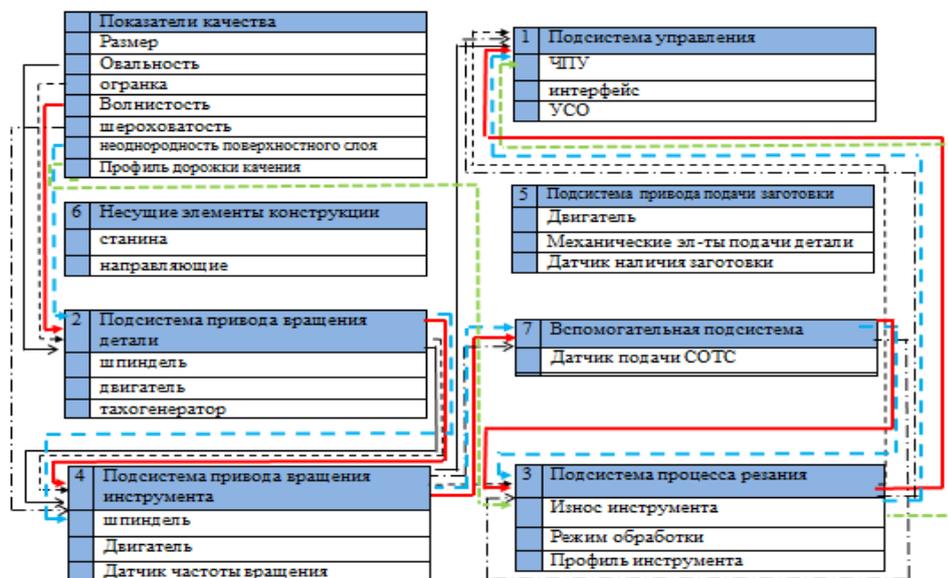


Рис. Алгоритм последовательности диагностирования основных подсистем шлифовального станка на основании критериев качества

Сформировано более семидесяти производственных правил при отклонении от нормы параметров показателя качества для шлифовального станка в соответствии с алгоритмом (см. рисунок), например:

Правило 1. Параметр качества «овальность» = отклонение от нормы  $\wedge$  Параметр – «овальность» заготовки = в норме  $\wedge$  Подсистема привода вращения детали = в норме  $\wedge$  Подсистема привода вращения инструмента = отклонение от нормы  $\wedge$  Шпиндель = отклонение от нормы  $\Rightarrow$  Заключение = балансировка шпинделя на частоте вращения;

Правило 2. Параметр качества «овальность» = отклонение от нормы  $\wedge$  Параметр подсистема привода вращения детали = в норме  $\wedge$  Подсистема привода вращения инструмента = отклонение от нормы  $\wedge$  Датчик частоты вращения = отклонение от нормы  $\Rightarrow$  Заключение = установка целесообразной частоты вращения инструмента;

Правило 3. Параметр качества «неоднородность поверхностного слоя» = отклонение от нормы  $\wedge$  Подсистема привода вращения детали = в норме  $\wedge$  Подсистема привода вращения инструмента = в норме  $\wedge$  Вспомогательная подсистема = в норме  $\wedge$  Подсистема процесса резания = отклонение от нормы  $\Rightarrow$  Заключение = Необходимо проверить параметр – износ инструмента  $\vee$  Необходимо проверить режим обработки по уровню вибрации;

Правило 4. Параметр качества «неоднородность поверхностного слоя» = отклонение от нормы  $\wedge$  Подсистема привода вращения детали = в норме  $\wedge$  Подсистема привода вращения инструмента = в норме  $\wedge$  Вспомогательная подсистема = в норме  $\wedge$  Подсистема процесса резания = отклонение от нормы  $\wedge$  Режим обработки = отклонение от нормы  $\Rightarrow$  Заключение = подбор режима обработки по запасу устойчивости ДС станка.

В режиме редактирования БЗ автоматически обновляется. Связь осуществляется при помощи SQL-сервера. Обновление осуществляется путем посылки SQL-запроса на обновление данных на сервер, где располагается БЗ и дополняется приобретенными знаниями в режиме диалога с оператором.

#### **Формирование производственной компоненты БЗ**

На основании вышеизложенного технология формирования БЗ экспертной системы контроля и диагностирования автоматизированного станка представляется следующими этапами:

- 1 – выбор типа модели представления знаний и способа вывода;
- 2 – выбор способов получения знаний;
- 3 – определение способов обработки знаний;
- 4 – формирование границ допустимых значений параметров на основании обучающего эксперимента;
- 5 – разработка алгоритма последовательности диагностирования основных подсистем станка с последующим формированием базы правил;
- 6 – выбор программной оболочки;
- 7 – апробация производственной компоненты БЗ в производственных условиях.

**Выводы.** Представленная технология формирования производственной компоненты БЗ ЭСППР реального времени для контроля, диагностирования шлифовальных станков и выбора режима обработки на основе разработанного алгоритма последовательности диагностирования основных подсистем шлифовального станка в виде набора производственных правил позволяет в производственных условиях выбрать целесообразные режимы резания и правки инструмента, обеспечивающие максимальную производительность без потери качества обрабатываемой поверхности детали. Апробация ЭСППР на шлифовальных автоматизированных станках показала повышение их параметрической надежности за счет обеспечения оперативности принятия решения о состоянии технологической системы.

### **Библиографический список**

1. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика. – М.: Радиотехника, 2009. – 392 с.
2. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Поиск решения на основе структурной аналогии для интеллектуальных систем принятия решений // Известия. РАН. ТиСУ. – 2005. – № 1. – С. 97–109.
3. Самойлова Е.М., Игнатьев А.А. Методы и алгоритмы интеллектуализации мониторинга технологических систем на основе автоматизированных станочных модулей интегрированного производства: в 3 ч. Ч.1: Системный интегрированный подход. – Саратов: Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2017. – 100 с.
4. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. – М.: Вильямс, 2003. – 864 с.
5. Tate A. Planning and Conduction Monitoring in a FMS // Conference on development of FMS. – London, July 1984. – P. 62–69.
6. Самойлова Е.М. Системный интегрированный подход к управлению качеством продукции на основе интеллектуализации мониторинга в едином информационном пространстве // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2017. – № 2(19). – С. 179–195.
7. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
8. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010. – 432 с.
9. Самойлова Е.М., Игнатьев А.А., Козлова Т.Д. Модель базы знаний экспертной системы поддержки процесса диагностирования автоматических станочных модулей // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2014. – № 2. – С. 16–23.
10. Самойлова Е.М., Игнатьев А.А., Козлова Т.Д. Экспертная система поддержки процесса диагностирования автоматических станочных модулей. – Саратов: Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2015. – 101 с.
11. Александров Е.А. Основы теории эвристических решений. Подход к изучению естественного и построению искусственного интеллекта. – М.: Радио и связь, 1975. – 112 с.

12. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем. – М.: Финансы и статистика: ИНФРА-М, 2010. – 432 с.

13. Хабаров С.П. Интеллектуальные информационные системы [Электронный ресурс]. – URL: [http:// habarov.spb.ru/new\\_es/index.htm](http://habarov.spb.ru/new_es/index.htm) (дата обращения: 11.12.2017).

14. Lin Z.H., Hodson D.C. In-process measurement and assessment of dynamic characteristics of machine tool structures // *Int. J. Mach. Tools Manufact.* – 1988. – Vol. 28. – № 2. – P. 93–101.

15. Risbood K.A., Dixit U.S., Sahasrabudhe A.D. Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process // *Journal of Material Processing Technology.* – 2003. – Vol. 132. – P. 203–214.

### References

1. Vasil'ev V.I., Il'iasov B.G. *Intellektual'nye sistemy upravleniia. Teoriia i praktika* [Intelligent control systems. Theory and practice]. Moscow: Radiotekhnika, 2009. 392 p.

2. Varshavskii P.R., Eremeev A.P. *Poisk resheniia na osnove strukturnoi analogii dlia intellektual'nykh sistem priniatiia reshenii* [Search solutions based on structural analogy for intelligent decision-making systems]. *Izvestiia. RAN. TiSU*, 2005, no. 1, pp. 97-109.

3. Samoilova E.M., Ignat'ev A.A. *Metody i algoritmy intellektualizatsii monitoringa tekhnologicheskikh sistem na osnove avtomatizirovannykh stanochnykh modulei integrirovannogo proizvodstva. Chast' 1. Sistemnyi integrirovannyi podkhod* [Methods and algorithms for intellectualization of monitoring technology systems based on automated machine modules of integrated production. Part 1. System integrated approach]. Saratov: Saratovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2017, 100 p.

4. Liuger Dzh.F. *Iskusstvennyi intellekt: strategii i metody resheniia slozhnykh problem* [Artificial intelligence: strategies and methods for solving complex problems]. Moscow: Vil'iams, 2003. 864 p.

5. Tate A. *Planning and Conduction Monitoring in a FMS. Conference on development of FMS.* London, July 1984, pp. 62-69.

6. Samoilova E.M. *Sistemnyi integrirovannyi podkhod k upravleniiu kachestvom produktsii na osnove intellektualizatsii monitoringa v edinom informatsionnom prostranstve* [Systems integrated approach to the management of product quality on the basis of intellectualization of monitoring

in a single information space]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2017, no. 2(19), pp. 179-195.

7. Gavrilova T.A., Khoroshevskii V.F. Bazy znaniy intellektual'nykh sistem [Knowledge base of intelligent systems]. Saint Petersburg: Piter, 2000. 384 p.

8. Rybina G.V. Osnovy postroeniia intellektual'nykh sistem [Fundamentals of intelligent systems]. Moscow: Finansy i statistika; INFRA-M, 2010. 432 p.

9. Samoilova E.M., Ignat'ev A.A., Kozlova T.D. Model' bazy znaniy ekspertnoi sistemy podderzhki protsessa diagnostirovaniia avtomaticheskikh stanochnykh modulei [Model of the knowledge base of an expert system support process diagnostics of automatic machine modules]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Tekhnicheskie nauki*, 2014, no. 2, pp. 16-23.

10. Samoilova E.M., Ignat'ev A.A., Kozlova T.D. Ekspertnaia sistema podderzhki protsessa diagnostirovaniia avtomaticheskikh stanochnykh modulei [Expert system support process diagnostics of automatic machine modules]. Saratov: Saratovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2015. 101 p.

11. Aleksandrov E.A. Osnovy teorii evristicheskikh reshenii. Podkhod k izucheniiu estestvennogo i postroeniuu iskusstvennogo intellekta [Fundamentals of the theory of heuristic solutions. Approach to the study of natural and construction of artificial intelligence]. Moscow: Radio i sviaz', 1975. 112 p.

12. Rybina G.V. Osnovy postroeniia intellektual'nykh sistem [Fundamentals of intelligent systems]. Moscow: Finansy i statistika: INFRA-M, 2010. 432 p.

13. Khabarov S.P. Intellektual'nye informatsionnye sistemy [Intelligent information systems], available at: [http://khabarov.spb.ru/new\\_es/index.htm](http://khabarov.spb.ru/new_es/index.htm) (accessed 11 December 2017).

14. Lin Z.H., Hodson D.C. In-process measurement and assessment of dynamic characteristics of machine tool structures. *Int. J. Mach. Tools Manufact*, 1988, vol. 28, no. 2, pp. 93-101.

15. Risbood K.A., Dixit U.S., Sahasrabudhe A.D. Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process. *Journal of Material Processing Technology*, 2003, vol. 132, pp. 203-214.

### **Сведения об авторах**

**Самойлова Елена Михайловна** (Саратов, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника» Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина (410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, e-mail: helen\_elenka@mail.ru).

**Игнатъев Александр Анатольевич** (Саратов, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника» Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина (410028, Саратов, ул. Политехническая, 77, e-mail: atp@sstu.ru).

### **About the authors**

**Samoilova Elena** (Saratov, Russian Federation) is a Ph.D. assistant professor of «Automation, control, mechatronics» the Yu.A. Gagarin State Technical University of Saratov (410054, Saratov, 77, Polytechnic str., e-mail: helen\_elenka@mail.ru).

**Ignatyev Alexander** (Saratov, Russian Federation) is a Doctor of Technical Sciences, Professor of Automation, control, mechatronics the Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (410028, Saratov, 77, Polytechnic str., e-mail: atp@sstu.ru).

Получено 30.01.2018