

УДК 004.8

А.К. ТУГЕНГОЛЬД, В.П. ДИМИТРОВ, Л.В. БОРИСОВА, Е.А. ЛУКЬЯНОВ, В.А. ГЕРАСИМОВ

ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Рассмотрены состояние и перспективы исследований, проведенных в ДГТУ, в области создания интеллектуальных систем управления мехатронными объектами. В качестве примеров приведены задачи управления станками и уборочными машинами сельскохозяйственного назначения.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, мехатронный объект, нечеткие знания.

Введение. Одно из важнейших требований современного производства к технологическим системам (ТС) и объектам — повышение эффективности и точности функционирования по всем параметрам качества. При существующих достижениях науки и техники проблема остается актуальной, что связано с рядом обстоятельств и трудностей, к числу которых относятся следующие:

- постоянное повышение требований к качеству процессов и конечным продуктам;
- влияние на технологический процесс и результат множества факторов, в том числе погрешностей элементов и устройств технологической системы, вносящих вклад в результирующую погрешность продукта. При этом сложные механизмы (модели) этого влияния и количественные характеристики остаются неопределенными;
- стохастичность собственно технологического процесса по своей физической сущности, нестабильность параметров и свойств компонентов, рабочих органов и т. д.;
- ограниченная возможность получения информации о процессах, в том числе из-за трудностей встройки измерительных устройств в рабочей зоне, «нечеткости» получаемой информации.

Принципы построения интеллектуальных систем управления технологическим оборудованием. В настоящее время в мировой практике все больше внимания уделяется применению интеллектуальных систем управления в мехатронных ТС, в том числе в металлорежущих станках, зерноуборочных и других полевых машинах, прокатных станах, сварочном оборудовании и пр. Такие системы разрабатываются для выполнения следующих функций:

- оптимизация режимов процессов технологического преобразования;
- оценка износа рабочего инструмента;
- корректировка положения рабочих органов для обеспечения точности изготовления изделий;
- обнаружение и/или предотвращение поломки инструмента;
- принятие мер в аварийных ситуациях и пр.

Известны варианты применения экспертных систем (ЭС) для решения частных задач общей проблемы. Например, ЭС для идентификации диагностической информации о процессе шлифования валов шарико-винтовых передач с последующим действием по жесткому алгоритму управления движениями и действиями.

С учетом изложенных обстоятельств и сложностей в проблеме достижения высокого качества ТС в ДГТУ создана научная база и внесен существенный вклад в построение интеллектуальных систем управления (ИСУ) мехатронными технологическими объектами (ТО). В том числе:

- сформирована концептуальная основа системы прогностического интеллектуального управления технологическими движениями;
- предложено основополагающее решение по структуре ИСУ ТО;
- решены проблемы разработки ЭС и других составляющих организационного, координационного и исполнительного уровней;
- созданы подсистемы контроля состояния инструмента, управления траекторными перемещениями, информационного обеспечения мониторинга ТС и пр.

Так, в металлорежущих станках ИСУ, созданная для достижения высокой точности обработки, выполняет следующие специфические функции:

- идентификацию состояния индивидуумов системы «станок—патрон—инструмент—деталь», формирование базы данных (БД) и учет ЭС параметров состояния при управлении;
- прогнозирование изменений состояний индивидуумов в процессе обработки и планирование действий, позволяющих реализовать требования к точности детали.

Целесообразность использования такого подхода объясняется следующими положениями. Во-первых, для достижения высокой эффективности обработки деталей на станочных модулях требуется формирование такой структуры системы управления, в том числе интеллектуальной, которая позволяла бы реализовывать управляющие процедуры в соответствии с индивидуальными особенностями составляющих процесса обработки в каждом конкретном случае. Во-вторых, каждый станочный модуль должен иметь сформированную собственную информационную среду, состав и структура которой подчинены цели высокоэффективной точной обработки.

Созданная ИСУ мехатронными объектами позволила максимально реализовать их точностные возможности, адаптируясь к динамически складывающимся условиям функционирования ТС.

В приложении к токарным станкам разработана соответствующая структура, программная и аппаратная подсистемы ИСУ на основе интеграции машинного интеллекта в виде ЭС и традиционного УЧПУ[1—9].

Эта система, ориентированная преимущественно на обеспечение высокой точности обработки, имеет особое значение при индивидуальном и мелкосерийном характере производства. Здесь специфика деталей и отклонения параметров заготовок существенно варьируются, а затраты на отработку процесса наладчиком существенно снижают эффективность производства. Кроме того, создаются возможности для увеличения производительности, так как система, сформировав «знания» о конкретном процессе, способна обеспечить более эффективные режимы, чем заданы управляющей программой, расчет которой базируется на учете наиболее неблагоприятных условий.

Достоинством созданной ИСУ является то, что ее структура не требует внесения в станочную систему дополнительных механизмов, повышающих точность обработки, а использует для этого существующие исполнительные механизмы станков. Созданный механизм вывода решений упрощает создание базы знаний (БЗ), способен функционировать в реальном масштабе времени, позволяет легко и автоматически модифицировать заложенные в систему правила без необходимости перерабатывать ЭС в целом.

Сформированные варианты баз данных и знаний в проблемной области «токарная обработка» являются достаточными для решения ряда задач, например компенсации наследственности припуска и прогиба деталей. Однако заложенные в основу оболочки ЭС принципы построения БЗ позволяют учесть значительно большее число факторов, влияющих на точность обработки деталей резанием и расширить круг решаемых задач без существенной переделки наработанных компонентов БЗ и БД.

Созданная оболочка ЭС является универсальной и позволяет интегрировать разработанные на ее основе ЭС с разнообразными программно-аппаратными комплексами. Это достигается за счет гибкой, инвариантной к формам представления входной информации системе ввода/вывода, а также тем, что оболочка ЭС может получать входную информацию из файлов, созданных другими программами и выводить результат экспертизы в файл для его последующей обработки другой программой. В зависимости от результата экспертизы, ЭС имеет возможность инициировать работу той или иной самостоятельной программы, не входящей в состав оболочки.

Разработанные программные средства, обеспечивающие функционирование ИСУ представлены следующими подсистемами:

- «Монитор ИТС» для управления работой информационной подсистемы станка;
- оболочка ЭС, на базе которой реализована ЭС;
- «Наполнитель баз данных» для распределения информации по фреймам БД;
- «Транслятор» для связи ПЭВМ и УЧПУ;
- видеоинформационная подсистема контроля состояния инструмента.

Компоненты разработанной ЭС реализованы в виде программного средства Expert 2.0, представляющего собой оболочку ЭС.

В целом структура ИСУ отвечает следующим принципам организации интеллектуальных управляющих структур мехатронного объекта технологического назначения:

- полнота интеллектуальных функций благодаря реализации процедур стратегического и координационного уровней методами искусственного интеллекта;
- направленность действий, связанных с контролем выполнения поставленной задачи и поиском пути достижения цели;
- кардинальное расширение воспринимаемого потока информации (за счет оценки состояния самого объекта, процесса, результата и внешней среды) и многообразия альтернатив поведения;
- иерархичность в системе принятия решений по планированию и управлению;
- подчиненность друг другу задач регулирования, прогнозирования, планирования действий и выбора стратегии поведения в виде параллельно действующих обратных связей;
- интеллектуальность в синтезировании образов состояний системы за счет экспертной оценки, их ранжирования по уровням и обобщения ситуаций;
- выработка оценки тех факторов, по которым не удастся получить данные, формирование предположений на основе опыта;
- сохраняемость функционирования системы управления при частичной (или полной) потере интеллектуальности, но с утратой качества результата процесса.

Одним из важных свойств подхода к построению ИСУ мехатронных ТО, является то, что при получении начальной информации создается возможность выбора и изменения параметров процессов обработки по сравнению с принятыми в исходных программах. Синтезируемые инвариантные многообразия в последовательности процесса ограничиваются до минимума, соответствующего оптимальным управляемым параметрам завершающей стадии. Это позволяет достичь эффекта самоорганизации в обеспечении заданного качества продукта.

Особое значение имеет исследование вопросов повышения точности траекторных перемещений исполнительных органов станков при интеллектуальном управлении. Установлено, что на точность механической обработки оказывают значительное влияние погрешности следящих приводов подач станков. При этом учитывалось влияние как приводов, так и других элементов системы (например, упругой деформации рабочих органов станка и инструмента), которые в типовых системах управления не могут быть компенсированы в силу имеющихся динамических ограничений приводов подач. Для улучшения характеристик процессов, в том числе режимов обработки, размерной точности и параметров шероховатости обрабатываемых поверхностей, синтезированы и исследованы ИСУ с нечеткими регуляторами приводов подач.

Выбор регуляторов обоснован рядом их свойств, одним из которых является способность работы с системами, которые крайне затруднительно описать четкими математическими моделями.

Разработана методика построения нечетких регуляторов скорости и положения для следящих электроприводов металлорежущих станков. На ее основе и с использованием методологии нечеткого моделирования разработаны математические модели нечетких регуляторов скорости и положения для приводов подач станка. Метод настройки параметров нечетких регуляторов основан на алгоритмах нелинейной оптимизации с решением задачи математического программирования. С помощью этого метода оптимизированы параметры нечеткого регулятора скорости на максимальное быстродействие.

Соответствующим образом настроенные нечеткие регуляторы скорости и положения позволили решить вопросы согласования скоростей приводов разных координат при одновременной работе. Для осуществления контроля и настройки параметров нечетких регуляторов следящих приводов предложена функциональная схема ЭС.

Вопросам повышения точности контурной обработки при фрезеровании за счет уменьшения неидентичности скоростных характеристик следящих приводов посвящена методика модификации управляющей программы на действующих станках с ЧПУ. Отличительной особенностью предложенной методики является применение нечеткой идентификации, которая использует модель объекта управления в виде нечеткой БЗ, построенной по первоначально определенным экспериментальным данным. Модель, в основе которой лежат реальные характеристики, достаточно адекватно позволяет преобразовать управляющую программу при изменении скоростных характеристик следящих приводов. Результаты применения модифицированных управляющих программ с использованием нечеткой логики подтвердили возможность существенного уменьшения контурной погрешности и повышения размерной точности контурной обработки деталей с $\pm 0,05$ до $\pm 0,012$ мм.

Исследованы возможности использования нечеткого регулятора положения для уменьшения радиальной деформации фрезы и шпинделя, а следовательно, и контурной погрешности при обработке путем регулирования подачи с сохранением постоянства силы резания. Кроме этого, предложен способ изменения кадра управляющей программы для осуществления регулируемого торможения с постоянной силой резания при смене направления фрезерования, чтобы уменьшить контурную погрешность обработки.

Экспертная система для мобильных сельскохозяйственных машин. Одно из важных направлений решения проблемы, позволяющее обеспечить высокую эффективность принятия решений при проведении уборочных работ, связано с применением новых подходов в моделировании и использовании информационных технологий. Внедрение методов искусственного интеллекта, в том числе ЭС, методологии нечетких знаний компенсирует отсутствие экспертов, некомпетентность операторов и позволяет снизить информационную нагрузку на оператора.

Для формализации задачи технологической регулировки сложной сельскохозяйственной машины, создания теории принятия решений по технологической регулировке и синтеза алгоритмов управления технологическим процессом, определены первичные термины, созданы исходные формулы и правила вывода [12].

Как было показано [13, 15], задача управления технологическим процессом комбайна (технологическая настройка и корректировка технологических регулировок) — есть задача принятия решения в нечеткой среде (рис. 1). Необходимость в использовании нечеткого описания задачи принятия решений при корректировке технологических регулировок обусловлена следующими обстоятельствами.

1. Имеющиеся ограничения на ресурсы моделирования (временные и стоимостные) не позволяют получить в принципе существующую четкую информацию и вынуждают пользователей применять нечеткие экспертные знания.

2. При ограниченных возможностях получения информации решение может быть сформировано на основе экспертных знаний. Использование нечетких понятий позволяет ввести в рассмотрение качественные описания и учесть неопределенность задачи принятия решений, достигнуть достаточного представления всех факторов, имеющих отношение к данной задаче и не поддающихся количественному описанию.

Информация о стратегиях принятия решений в типовых ситуациях, получаемая от эксперта, описывается системой условных высказываний в терминах лингвистических переменных (ЛП), устанавливающих связь между входными и выходными параметрами технологического процесса работы комбайна.

Для представления знаний используется обобщенная модель предметной области в виде:

$$\tilde{N} = \langle X; R_1, \dots, R_n; G \rangle, \quad i = \overline{1, n},$$

где X — множество объектов предметной области; R_1, \dots, R_n — множество типов связи между объектами; G — отображение, задающее связи между объектами, входящими в X , из заданного набора типа связей.

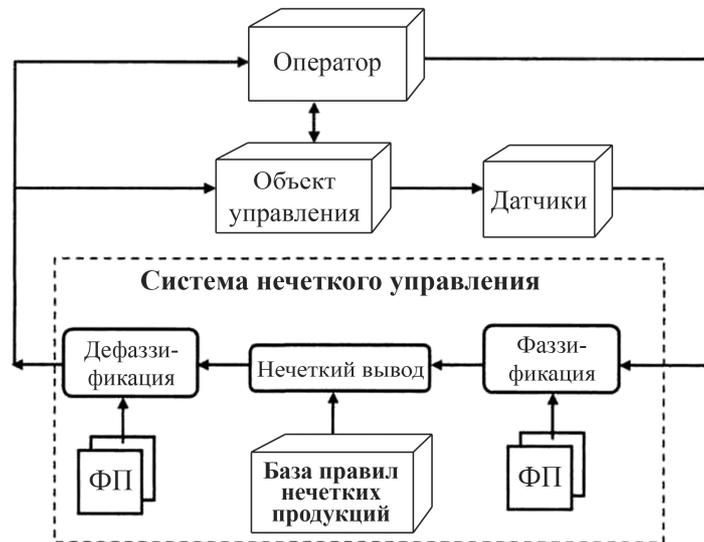


Рис. 1. Общая схема системы нечеткого управления при технологической настройке комбайна:
ФП — базы данных параметров функций принадлежности

Основные этапы методики формализации нечетких экспертных знаний предметной области представлены ниже.

1. Определение множества факторов внешней среды
 $X \in \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.
2. Определение множества регулируемых параметров рабочих органов машины
 $Y^{рп} \in \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$.
3. Определение множества показателей качества работы
 $V \in \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$.
4. Описание ЛП, характеризующих множество факторов внешней среды
 $\langle \beta_x; T_x; X; G; M \rangle$
<Засоренность Хлебостоя (ЗХ), %>
5. Описание ЛП, характеризующих множество регулируемых параметров
 $\langle \beta_y; T_y; X; G; M \rangle$
<Частота Вращения Молотильного Барабана (ЧВМБ), мин⁻¹>
6. Описание ЛП, характеризующих множество показателей качества
 $\langle \beta_v; T_v; X; G; M \rangle$

<Дробление Зерна (ДЗ), %>

7. Назначение термов ЛП для факторов внешней среды, определение базового множества [13].
В общем случае базовое терм-множество рассматриваемых ЛП имеет вид:

$$T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_m^i\}, \quad (i \in K = \{1, 2, \dots, 1\}).$$

Здесь $\langle T_i; X; C_i \rangle$ — нечеткая переменная, соответствующая терму $T_i \in T$; $\tilde{N}_i = \{\langle \mu_{\tilde{N}_i}(x)/x \rangle\}$
 $x \in X$; C_i — носитель нечеткого множества \tilde{N}_i ; $\mu_{\tilde{N}_i}(x)$ — функция принадлежности.

Базовое терм-множество образуется на основе экспертных суждений, например:

$$T = \{a_i\}, \quad i = \overline{1, m} \quad \{\hat{I} \text{ ÷ } \hat{a} \text{ } \hat{u} \text{ } \hat{i} \text{ } \hat{a} \hat{e} \hat{a} \hat{y}; \hat{I} \text{ } \hat{a} \hat{e} \hat{a} \hat{y}, \hat{N} \hat{\delta} \hat{a} \hat{a} \hat{i} \hat{y} \hat{y}, \hat{A} \hat{u} \hat{m} \hat{e} \hat{a} \hat{y}\}, [0 — 50],$$

$$\hat{C} \hat{O} = \{\hat{I} \hat{I} \hat{C} \hat{O}, \hat{I} \hat{C} \hat{O}, \hat{N} \hat{C} \hat{O}, \hat{A} \hat{C} \hat{O}, \%\}.$$

8. Назначение термов ЛП для регулируемых параметров, определение базового множества, например:

$$T = \{a_i\}, \quad i = \overline{1, m} \quad \{\hat{I} \hat{i} \hat{i} \hat{e} \hat{x} \hat{a} \hat{i} \hat{i} \hat{a} \hat{y}, \hat{I} \hat{i} \hat{i} \hat{e} \hat{i} \hat{a} \hat{e} \hat{u} \hat{i} \hat{a} \hat{y}, \hat{I} \hat{i} \hat{a} \hat{u} \hat{o} \hat{a} \hat{i} \hat{i} \hat{a} \hat{y}\}, [580 — 780],$$

$$\times \hat{A} \hat{i} \hat{A} = \{\hat{I} \hat{i} \hat{i} \times \hat{A} \hat{i} \hat{A}, \hat{I} \hat{i} \hat{i} \times \hat{A} \hat{i} \hat{A}, \hat{I} \hat{i} \hat{a} \times \hat{A} \hat{i} \hat{A}, \hat{i} \hat{e} \hat{i}^{-1}\}.$$

9. Назначение термов ЛП для показателей качества, определение базового множества, например:

$$T = \{a_i\}, \quad i = \overline{1, m} \quad \{\hat{I} \hat{i} \hat{i} \hat{e} \hat{x} \hat{a} \hat{i} \hat{i} \hat{a} \hat{y}, \hat{I} \hat{i} \hat{i} \hat{e} \hat{i} \hat{a} \hat{e} \hat{u} \hat{i} \hat{a} \hat{y}, \hat{I} \hat{i} \hat{a} \hat{u} \hat{o} \hat{a} \hat{i} \hat{i} \hat{a} \hat{y}\}, [0 — 10],$$

$$\hat{A} \hat{C} = \{\hat{I} \hat{A} \hat{C}, \hat{N} \hat{\delta} \hat{A} \hat{C}, \hat{A} \hat{A} \hat{C}, \%\}.$$

10. Проверка требований к функциям принадлежности [3].

11. Выбор метода построения функций принадлежности.

12. Определение степени нечеткости полных ортогональных семантических пространств [16].

Определение количественной оценки нечеткости информации, поступающей от экспертов.

Линейный индекс нечеткости определяется равенством:

$$d(A) = 2\rho(A, \underline{A}),$$

где $\rho(A, \underline{A}) = \int_0^1 (\mu_A(x) - \mu_{\underline{A}}(x)) dx$, \underline{A} — нечеткое множество, у которого $\mu_{\underline{A}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{в} \\ 1 & \end{cases}$

зависимости от $\mu_A(x)$: $\mu_{\underline{A}}(x) = \begin{cases} 0, \text{ а́ñëè } \mu_A(x) \leq 0,5, \\ 1, \text{ а́ñëè } \mu_A(x) > 0,5. \end{cases}$

Показатель различия между моделями экспертного оценивания признака, представленный i -м и j -м экспертами, выражается как линейное расстояние (Хемминга) между нечеткими множествами с функциями принадлежности $\mu_{il}(x)$ и $\mu_{jl}(x)$:

$$d(\mu_{il}, \mu_{jl}) = \int_0^1 |\mu_{il}(x) - \mu_{jl}(x)| dx.$$

Определение на основе показателей нечеткости и согласованности экспертных оценок оптимального числа термов ЛП.

13. Построение нечетких множеств термов ЛП для факторов внешней среды
 $A = \{ \langle \mu_A(u), u \rangle \}$.

14. Построение нечетких множеств термов ЛП для параметров технического состояния машины.

15. Построение нечетких множеств термов ЛП для показателей качества работы машины.

16. Этап фаззификации [14].

17. Реализация полученного решения.

Использование ЭС в качестве структурной составляющей предлагаемого метода предполагает применение бортового компьютера. Монитор может располагаться на дополнительной стойке слева от пульта управления электрогидравликой. Схема взаимодействия элементов системы «оператор—машина» представлена на рис. 2. Традиционная связь элементов системы осуществляется в последовательности 1—4. Использование ЭС в системе «оператор—машина» позволяет реализовать последовательность 1—6—4. Тем самым при принятии решений часть логических функций, выполняемых оператором, передается ЭС [17].

Предлагаемый новый метод настройки и поиска неисправностей позволяет использовать ЭС в автоматическом режиме, т. е. реализовать последовательность 5—7.

Рассматривая процесс автоматизации зерноуборочных машин на базе электронизации, следует учитывать, что существенным является процесс оснащения машин соответствующим оборудованием, т. е. оснащением датчиками, установкой гидравлических, пневматических или электрических устройств, управляемых электрическим сигналом и управляющих любыми механизмами, которые в процессе работы могут быть включены (выключены), либо состояние которых может быть изменено.

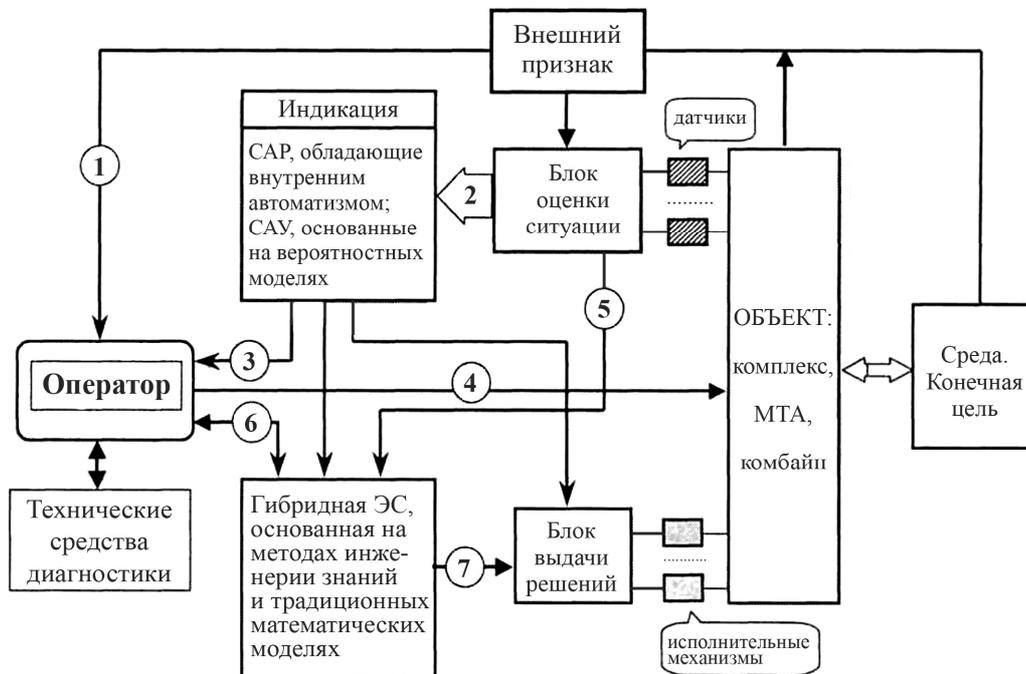


Рис. 2. Гибридная экспертная система в системе «человек—машина—среда»:

- 1 — органолептическая оценка факторов внешней среды (полеглость, засоренность, посторонний шум и т. д.), внешний признак неисправности; 2, 3, 4 — реализованная связь в системе «человек—машина—среда»;
- 5, 6, 7 (4) — нетрадиционная связь в системе «человек—машина—среда», в том числе 5, 7 — режим автоматической работы; 5, 6, 4 — режим советчика (поддержка принятия решений)

Разработана ЭС, состоящая из подсистем: «Конструкция», «Настройка», «Регулировки», «Неисправности», структурная схема которой представлена на рис. 3.



Рис. 3. Структурная схема экспертной системы

Экспертная система реализует функции:

- описание конструкции зерноуборочных комбайнов;
- анализ информации о технологическом процессе комбайновой уборки;
- технологическая настройка;
- объяснение полученных результатов;
- дополнение и редактирование знаний;
- помощь пользователю при работе с ЭС.

Особое место в ЭС занимает режим работы системы со знаниями. В этом режиме реализованы следующие возможности: загрузка в систему знаний, указанных экспертом; удаление указанных знаний; редактирование знаний; дополнение знаний; чтение БЗ; сохранение знаний.

Экспертная система работает в двух режимах: приобретение знаний и решение задачи. Диалоговый блок ввода информации обеспечивает естественно-языковой интерфейс с пользователем. Блок настройки содержит описание технологических регулировок рабочих органов для различных условий функционирования. Блок анализа ситуации содержит описание условий уборки. Блок механизмов вывода на основе полученной от пользователя (либо от датчиков) текущей информации, правил и общих фактов о предметной области формирует решение задачи. Блок объяснения решений позволяет разъяснить пользователю, каким образом получено то или иное решение, какие правила и почему при этом использовались. Блок синтеза ответа является конечным звеном в работе ЭС. В зависимости от желания пользователя решение задачи может быть представлено на дисплее, выведено на печать. При необходимости в закодированном виде информация может быть передана на исполнительные устройства.

Результатом использования методики моделирования нечетких экспертных знаний является лингвистическое описание предметной области, которое включает 14 факторов внешней среды, 23 регулируемых параметра комбайна и 25 внешних признаков нарушения технологического процесса. На основе формализации отношений рассматриваемых признаков создана база знаний ЭС для технологической регулировки комбайна, содержащая 13 560 производственных правил.

Экспертная оценка методики формализации нечетких знаний и разработанной на ее основе БЗ показала результативность и эффективность технологической настройки в полевых условиях по сравнению с традиционным методом.

Практической реализацией является создание программных средств для автоматизированного решения задачи, которые зарегистрированы в Роспатенте (№ 2005612734, № 2005620290,

№ 2006610834 и др.). Использование ЭС при проведении технологической регулировки позволяет уменьшить затрачиваемое время в 2—5 раз по сравнению с традиционными методами и, как следствие, повысить на 7—10 % сменную производительность комбайна.

Нейросетевые решения в управлении технологическими процессами. Значительное внимание уделено использованию возможностей нейронных сетей (НС) в управлении процессами технологических преобразований [10, 11]. Разработан вариант структуры самонастраивающейся системы управления с применением нейросетевого контроллера с предсказанием, который представлен на рис. 4.

Блоки «Оптимизация» и «Модель объекта (НС)» представляют регулятор с предсказанием. Этот регулятор использует модель управляемого процесса (резания) в виде НС, чтобы предсказать реакции процесса на случайные воздействия. Блоком оптимизации формируются управляющие сигналы, которые минимизируют разность между желаемыми и действительными изменениями сигнала на выходе модели и таким образом оптимизируют управляемый процесс. Под управляемым процессом понимается совместная работа блоков «управление УУ1», формирующего сигнал управления $u(t)$, «Объект управления — механизм», реализующий траекторное перемещение $x_a(t)$, и «Процесс резания», характеризующийся параметром $X(t)$.

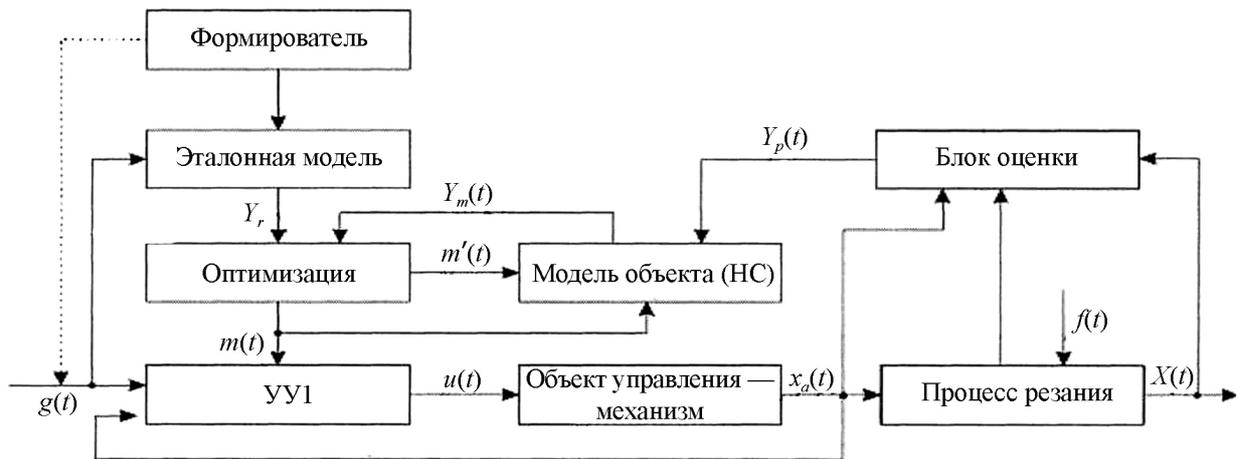


Рис. 4. Структура системы управления с нейросетевым регулятором

При программной реализации такого регулятора, требуется значительный объем вычислений, поскольку для расчета оптимального закона управления оптимизация выполняется на каждом такте управления. Для идентификации параметров используется подсистема, схема которой представлена на рис. 5.



Рис. 5. Схема подсистемы идентификации

Эта схема включает модель управляемого процесса в виде НС, которая должна быть обучена в автономном режиме так, чтобы минимизировать ошибку между реакциями процесса и модели $e(t) = Y_p(t) - Y_m(t)$ на последовательность сигналов $m(t)$.

Управление с предсказанием использует принцип «удаляющегося горизонта», когда НС-модель управляемого процесса предсказывает реакцию объекта управления на определенном интервале времени в будущем.

Предсказания используются программой оптимизации для того, чтобы вычислить управляющий сигнал, который минимизирует следующий критерий качества управления:

$$J = \sum_{j=N_1}^{N_2} [Y_r(t+j) - Y_m(t+j)]^2 + \rho \sum_{j=1}^{N_m} [m'(t+j-1) - m'(t+j-2)]^2 =$$

$$= \sum_{j=N_1}^{N_2} [Y_r(t+j) - Y_m(t+j)]^2 + \rho \sum_{j=1}^{N_m} [\Delta m'(t+j-1)]^2, \quad (1)$$

где константы N_1 (минимальный горизонт качества), N_2 (максимальный горизонт качества) и N_m (горизонт управления) задают пределы, внутри которых вычисляются ошибка слежения и мощность управляющего сигнала. Переменная m' описывает пробный управляющий сигнал, Y_r — желаемая, а Y_m — истинная реакция модели управляемого процесса. Величина ρ определяет вклад, который вносит управление в критерий качества. Добавление ограничения на приращение управляющего воздействия можно интерпретировать как назначение бесконечных весовых коэффициентов на изменения управляющего воздействия через некоторое время. Это, в свою очередь, не только обеспечивает быстрое достижение контроллером своей цели и стабилизацию неминимально-фазового объекта управления, но и существенно снижает временные расходы, связанные с вычислениями. Правильный выбор весовых коэффициентов обеспечивает достижение показателей качества и асимптотической устойчивости систем.

Процедура минимизации выполняется на нескольких $(N_1 - N_2 + 1)$ значениях выхода с учетом нескольких (N_m) будущих инкрементных управляющих воздействий. Результат в некоторой степени зависит от того, входит ли действительное запаздывание в интервал между величинами N_1 и N_2 . Обычно значение величины N_1 выбирается равным значению времени запаздывания. В процедуре минимизации в концепции управления по «удаляющемуся горизонту» управляющие воздействия $\Delta m'(t), \Delta m'(t+1), \dots, \Delta m'(t+N_m-1)$ вырабатываются, но фактически применяется только значение $\Delta m'(t)$. В момент $t+1$ решается новая задача минимизации. Управление по такому критерию обеспечивает как хорошие показатели качества, так и асимптотическую устойчивость разнообразных объектов управления.

Структура системы управления при использовании модели авторегрессии со скользящим средним представлена на рис. 6.

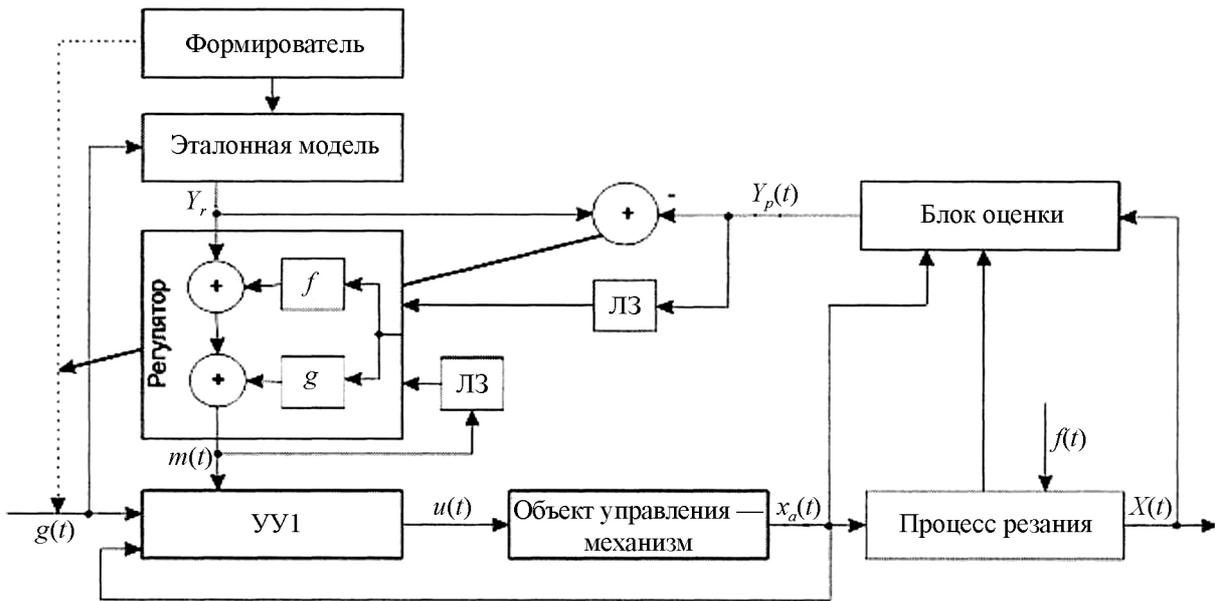


Рис. 6. Структура системы управления с нейросетевым регрессионным регулятором:
 f, g — функции настройки регулятора; ЛЗ — блоки задержки

Так как рассматриваемая динамическая система является нелинейной, ее дискретное описание построено в виде авторегрессионной модели со скользящим средним

$$y(k+d) = N[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), m(k), m(k-1), \dots, m(k-n+1)], \quad (2)$$

где $y(k)$ — выход модели; d — число тактов предсказания; $m(k)$ — вход модели.

На этапе идентификации создается НС для реализации NARMA-модели. Эта процедура аналогична описанной выше процедуре идентификации для регулятора с предсказанием. При проектировании интеллектуального управления, предназначенного для следящей системы, которая должна обеспечить движение по заданной траектории, использован нелинейный регулятор вида:

$$m(k) = G[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), y_r(k+d), m(k-1), \dots, m(k-n+1)]. \quad (3)$$

Хотя такой регулятор и может быть сформирован на основе НС, но в процессе обучения с использованием НС с обратным распространением ошибки требуется большое количество итераций [3]. Для практического решения этой задачи целесообразно использовать приближенную NARMA-модель [18]:

$$y(k+d) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), m(k-1), \dots, m(k-l+1)] + g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), m(k-1), \dots, m(k-l+1)]m(k). \quad (4)$$

Преимущество этой формы представления в том, что текущее управление можно непосредственно вычислить, если известна желаемая траектория y_r , предыстория управления $\{m(k-1), \dots, m(k-l+1)\}$, а также предшествующие и текущие значения выхода $\{y(k-1), \dots, y(k-n+1)\}$:

$$m(k) = \frac{y_r(k+d) - f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), m(k-1), \dots, m(k-l+1)]}{g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), m(k-1), \dots, m(k-l+1)]}. \quad (5)$$

Входами регулятора являются сигналы $y(t+1)$ и $m(t+1)$, а также эталонный сигнал $y_r(t+2)$. Блоки задержки осуществляют запоминание соответствующих входных последовательностей, которые используются двухслойными НС, формирующими оценки, и вычисляют сигнал управления [см. формулу (5)], обеспечивающий достижение заданного минимума ошибки.

Этот регулятор требует наименьшего объема вычислений и представляет собой реконструкцию нейросетевой модели, полученной на этапе автономной идентификации. Возможности вычислений в режиме реального времени связаны только с реализацией НС.

Использование искусственных НС в системах, реализующих элементы интеллектуального управления, позволяет корректировать параметры процесса обработки детали по реальному состоянию ТС. Кроме этого, может быть обеспечена функциональная самоорганизация, обеспечивающая точность посредством механизма самообучения при обработке однотипных деталей.

При разработке структуры и построении ИСУ мехатронным технологическим оборудованием реализованы следующие принципы организации интеллектуального управления:

- полнота интеллектуальных функций за счет реализации процедур стратегического, координационного и исполнительного уровней управления;
- направленность действий, связанных с контролем выполнения поставленной задачи и поиском путей достижения цели;
- кардинальное расширение воспринимаемого потока информации (за счет оценки состояния самого объекта, процесса, результата и внешней среды) и многообразия альтернатив поведения;
- подчиненность друг другу задач регулирования, планирования действий и выбора стратегии поведения в виде параллельно действующих структур;
- интеллектуальность в синтезе образов состояний системы за счет экспертной оценки, их ранжирования по уровням, обобщении ситуаций и прогнозировании;
- оценка факторов, по которым невозможно получить данные прямыми измерениями, формирование предположений на основе опыта и оценочных утверждений;
- сохранение функций системы управления при частичной (или полной) потере интеллектуальности, но с ухудшением качества реализации процесса.

В результате практической проверки эффективности применения методов искусственного интеллекта в составе систем управления подтверждено следующее:

- возможность комплексирования ИСУ с современными системами процессорного управления технологическим оборудованием;
- реализуемость принятия целесообразных решений по последовательности и режимам обработки в условиях неполной и противоречивой информации о параметрах системы «станок—патрон—инструмент—деталь»;
- практическая необходимость в применении механизмов обучения и самообучения, составляющих базу самоорганизации в ИСУ.

Созданные системы интеллектуального управления обеспечивают повышение качества технологических преобразований, максимально реализуют возможности оборудования, адекватно реагируя на изменения технологических условий и состояние ТС.

Интеллектуальный мониторинг сложносвязанных процессов. Одним из направлений перспективных фундаментальных исследований и разработок является формирование системного подхода к созданию *интеллектуального мониторинга мехатронных технологических систем*. Как и ранее, имеется в виду, что под ТС подразумевается совокупность технологического оборудования и объекта преобразования, взаимодействующая через процесс этого преобразования.

Современные системы ЧПУ станков строятся так, что состав их компьютерной системы ориентирован на функции управления электромеханическими устройствами приводов и входная информация в процессах обработки поступает от датчиков положения, скорости и тока двигателей. При этом существенное множество факторов, приводящих к возникновению погрешностей обработки деталей, остается без учета при управлении. Этим определяется значение мониторинга, без которого система не в состоянии моделировать складывающуюся ситуацию в каждом конкретном случае обработки.

Анализ составляющих погрешностей дал возможность предложить классификацию погрешностей при обработке на станках с ЧПУ, выполненную по следующим характерным признакам [10]:

- виды погрешностей детали;
- источник возникновения погрешностей;
- причины, порождающие погрешности обработки;
- характер погрешностей — систематический и случайный;
- период возникновения и пр.

Следует иметь в виду, что в процессе обработки, и в основном через этот процесс, источники образования погрешностей находятся в сложной совокупности взаимосвязей.

Образование погрешностей обработки обусловлено вектором состояния обрабатываемой системы S^* , который создает векторные множества параметров состояния подсистем

$$S^* = (E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7, \dots),$$

где E_1 — множество параметров состояния объекта обработки; E_2 — рабочего инструмента; E_3 — технологической оснастки; E_4 — несущей системы технологической машины; E_5 — источников механической энергии; E_6 — механизмов приводов; E_7 — измерительной подсистемы и пр.

Каждое из множеств состояния подсистем характеризуется комплексом переменных, оказывающих влияние на составляющие погрешностей.

В общем случае модель системы может быть определена шестеркой:

$$A = (B, S, W, Z, E, U), \quad (6)$$

где B — множество входных сообщений, в том числе данных из программы УЧПУ; S — оценочное нечеткое множество состояний ТО, а также априорно известное множество его параметров; W — множество оценок процесса технологического преобразования (обработки); Z — множество оценок результатов обработки; E — совокупность параметров объекта преобразования; U — множество управляющих воздействий, определенных принятыми решениями.

Каждый из уровней ИСУ формирует управления, определенные их функциями. Управления U_0 , синтезируемые на организационном уровне, можно представить пятеркой:

$$U_0 = (B, M_s, M_w, M_z, M_e), \quad (7)$$

где M_s, M_w, M_z, M_e — совокупности оценок состояний и обобщения ситуаций, соответствующих модели ТС (6).

Управления U_k как результат решений, принимаемых на координационном уровне на каждом этапе (при обработке каждой поверхности), можно представить в виде:

$$U_k = (U_0, M_s^k, M_w^k, M_z^k, M_e^k),$$

где $M_s^k, M_w^k, M_z^k, M_e^k$ — совокупности оценок состояний технологического перехода соответствующих модели (7) и входной информации, поступающей от блока мониторинга.

Управления U_u исполнительного уровня представляются в виде:

$$U_u = (u_1, u_2, \dots) = (U_k, M_w^u),$$

где M_w^u — множество параметров, поступающих от средств измерения.

Как предусмотрено структурой ИСУ [8], блоком мониторинга входная текущая информация от измерительных датчиков и устройств транслируется непосредственно на исполнительный уровень, а в блоки координации и стратегии информация поступает после оценивания состояний и обобщения складывающихся ситуаций.

Мехатронные ТО с высокоразвитыми информационными подсистемами должны обладать способностью моделировать и прогнозировать ситуацию, принимать решения и пр., для чего система мониторинга призвана обеспечить следующие возможности:

1 — обладать априорной и текущей информацией о среде (в узком смысле — объекта технологического преобразования), хранимой в виде образов среды:

$$v_e = \bigcup_i v_{ei}, \quad i = 1, \dots, i_0; \quad (8)$$

2 — воспринимать и распознавать воздействия, формируя адекватный образ технологического процесса:

$$v_w = \bigcup_y v_{wy}, \quad y = 1, \dots, y_0; \quad (9)$$

3 — обладать информацией о самом ТО (самоотображение), о своих свойствах и возможностях, хранимых в виде образов ТО:

$$v_s = \bigcup_f v_{sf}, \quad f = 1, \dots, f_0, \quad (10)$$

где v_e, v_w, v_s — множества, составляющие информационные образы.

В результате распознавания, преобразования и сопоставления информационных показателей и образов осуществляется функциональная деятельность, воздействие на среду и, при необходимости, воздействие на себя (самопреобразование).

Нужно иметь в виду, что целенаправленное воздействие на среду (заготовку или другой субъект технологического преобразования) возможно при наличии в системе непрерывного по времени отображения или множества последовательных отображений

$$v = \bigcup v_e(t_1), \dots, v_e(t_n); \quad v_w(t_1), \dots, v_w(t_n); \quad v_s(t_1), \dots, v_s(t_n); \quad t_1 < t_2 < \dots < t_n$$

процессов изменения среды и функциональной деятельности системы. Эти отображения могут формироваться системой мониторинга на нескольких уровнях детализации и обобщения, образуя многоуровневую структуру иерархического типа в соответствии со структурой ИСУ. Полезная информация о процессе и объекте преобразования, а также информация ТО о себе создает возможность распознавать ситуацию, управлять собой и воздействовать на среду для достижения поставленных целей. Мехатронной системе, таким образом, обеспечивается способность к самоанализу, адаптации и целенаправленному поведению.

Разработан подход, предусматривающий синтез структуры мониторинга в виде мультиагентной системы. Здесь понятие агента рассматривается как инструмент для анализа ТС. Агент воспринимает состояние ТС посредством сенсоров, получая данные, которые отражают события в ТС, интерпретирует эти данные, оценивая состояния, и посредством агента-координатора оказывает информационные воздействия на блоки принятия решений уровней ИСУ [19]. Агент, имея «архитектуру разумного агента», обладает знаниями своей специфической области, возможностью их пополнения и способностью адекватно реагировать на происходящие изменения.

Цель построения такой мультиагентной системы — удовлетворение различных информационных, вычислительных и преобразующих потребностей ИСУ, обучение и самообучение.

Архитектура взаимодействия агентов предусматривает использование агента метауровня, осуществляющего координацию распределенного решения задач агентами. Агент-координатор именуется как AMP (Agent Meeting Place — место встречи агентов). Архитектура AMP есть архитектура обычного агента, дополненная некоторыми вспомогательными компонентами, характеризующими функции координатора взаимодействия других агентов. Это обеспечивается следующими компонентами AMP:

— связанные порты, ответственные за прием и отправку агентов в AMP с помощью соответствующих протоколов;

— маршрутизатор, который выполняет функции интерфейса между агентами и компонентами АМР, которые сами по себе регистрируются в этом маршрутизаторе; он поддерживает ограниченный словарь для удовлетворения агентских запросов;

— система доставки событий на соответствующие уровни ИСУ;

— лингвистический журнал, который представляет собой БД, помогающую агентам и АМР понимать друг друга в процессе коммуникаций.

В состав системы мониторинга включены следующие агенты:

— состояния и прогнозирования состояний технологического объекта (10) — 3 агента в соответствии с видами показателей, оказывающих влияние на качество выполняемых действий;

— состояния объекта технологического преобразования и его прогноз (8);

— состояния процесса технологического преобразования и его прогноз (9).

В агентной технологии используются известные методы извлечения и обобщения знаний, в том числе алгоритм распознавания в условиях неполной информации, и инструментарий Data Mining для интерпретации практически полезных и доступных знаний, необходимых для принятия решений.

В программу перспективных разработок включены работы по исследованию и созданию мониторинговых устройств для оснащения ими различных мехатронных технологических объектов и систем.

Заключение. Прошло немногим более 10 лет с тех пор, как интеллектуальное управление мехатронными технологическими системами, в том числе металлорежущими станками и зерноуборочными машинами, стало объектом исследований в ДГТУ. За это время удалось сделать многое в создании научных продуктов, воплощении их результатов в производстве и в учебном процессе. Результаты исследований стали предметом обсуждения и одобрения на российских и международных конференциях и симпозиумах, использованы в изданных монографиях, учебниках и методических разработках, при подготовке и защите магистерских, кандидатских и докторских диссертаций. Созданная научная база служит основой для дальнейшего развития исследований, расширения их спектра и областей эффективного применения.

Библиографический список

1. Герасимов В.А., Лукьянов Е.А. Интеллектуальное управление станком по состоянию элементов технологической системы // СТИН. — 1997. — № 3. — С. 11—13.
2. Тугенгольд А.К., Лукьянов Е.А., Герасимов В.А. Система управления станком, обеспечивающая повышенную точность обработки // СТИН. — 1999. — № 8. — С. 21—26.
3. Искусственный интеллект в мехатронных технологических системах / А.К. Тугенгольд [и др.] // Мехатроника. — 2000. — № 1. — С. 32—35.
4. Tugengold A., Bogouslavski I., Blochin V. The Intellectual Control of Mechatronic Systems Designing Process. 3rd Intern. Conf. on Mech. and Materials in Design. — Toronto (Canada), 2000.
5. Тугенгольд А.К., Носенков Д.А. Визуальный контроль в технологических мехатронных системах // Мехатроника. — 2001. — № 1. — С. 30—34.
6. Тугенгольд А.К. Принципы интеллектуализации управления в мехатронных системах // 6th Intern. Conf. on advanced mech. Engineering & Technology. — AMTECH-2001. — Vol. 3. — Bulgaria. — P. 20—25.
7. Тугенгольд А.К., Носенков Д.А., Коротков О.Е. Организация интеллектуального управления технологической системой // СТИН. — 2001. — № 11. — С. 3—8.
8. Тугенгольд А.К., Лукьянов Е.А. Интеллектуальное управление мехатронными технологическими системами. — Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2004. — 117 с.
9. Multilevel Intelligent Control of Mechatronical Technological Systems / Tugengold A. [et al.] Advanced Robotic Systems International. Cutting Edge Robotics. Mammendorf (Germany). 2005. — P. 745—754.

10. Интеллектуальное управление технологическими системами / А.К. Тугенгольд [и др.] // СТИН. — 2008. — № 2. — С. 2—8.
11. Система интеллектуального управления станками / А.К. Тугенгольд [и др.] // СТИН. — 2008. — № 12. — С. 10—14.
12. Борисова Л.В., Димитров В.П., Сазанович В.И. Некоторые аспекты структуризации знаний предметной области «Техническое обслуживание комбайнов» // Изв. высш. учеб. заведений. Сев.-Кавк. регион. Математическое моделирование и компьютерные технологии. Спец. вып., 2003. — С. 59—64.
13. Димитров В.П., Борисова Л.В. Совершенствование информационной службы по использованию комбайнов // Техника в сельском хозяйстве. — 2008. — № 4. — С. 25—28.
14. Борисова Л.В. Методика моделирования предметной области «технологическая настройка» в нечеткой постановке // Докл. РАСХН. — 2005. — № 6. — С. 62—65.
15. Димитров В.П., Борисова Л.В. Особенности моделирования процесса принятия решений при технологической регулировке машин // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. — 2009. — № 4. — С. 3—5.
16. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов [и др.]. — М. : Радио и связь, 1989. — 394 с.
17. Тугенгольд А.К., Борисова Л.В. Димитров В.П. Корректировка технологических регулировок на основе нечеткого логического вывода // Вестник ДГТУ. — 2009. — Т. 9, № 3(42). — С. 24—32.
18. Медведев В.С., Потёмкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6. — М. : Диалог-МИФИ, 2002.
19. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход : пер. с англ. — М. : Издательский дом «Вильямс». — 2006. — 243 с.

References

1. Gerasimov V.A., Luk'yanov E.A. Intellectual'noe upravlenie stankom po sostoyaniyu elementov tehnologicheskoi sistemy // STIN. — 1997. — № 3. — S. 11—13. — in Russian.
2. Tugengol'd A.K., Luk'yanov E.A., Gerasimov V.A. Sistema upravleniya stankom, obespechivayuschaya povyshennuyu tochnost' obrabotki // STIN. — 1999. — № 8. — S. 21—26. — in Russian.
3. Iskusstvennyi intellekt v mehatronnyh tehnologicheskikh sistemah / A.K. Tugengol'd [i dr.] // Mehatronika. — 2000. — № 1. — S. 32—35. — in Russian.
4. Tugengol'd A., Bogouslavski I., Blochin V. The Intellectual Control of Mechatronic Systems Designing Process. 3rd Intern. Conf. on Mech. and Materials in Design. — Toronto (Canada), 2000.
5. Tugengol'd A.K., Nosenkov D.A. Vizual'nyi kontrol' v tehnologicheskikh mehatronnyh sistemah // Mehatronika. — 2001. — № 1. — C. 30—34. — in Russian.
6. Tugengol'd A.K. Principy intellektualizacii upravleniya v mehatronnyh sistemah // 6th Intern. Conf. on advanced mech. Engineering & Technology. — AMTECH-2001. — Vol. 3. — Bulgaria. — P. 20—25. — in Russian.
7. Tugengol'd A.K., Nosenkov D.A., Korotkov O.E. Organizaciya intellektual'nogo upravleniya tehnologicheskoi sistemoi // STIN. — 2001. — № 11. — S. 3—8. — in Russian.
8. Tugengol'd A.K., Luk'yanov E.A. Intellectual'noe upravlenie mehatronnymi tehnologicheskimi sistemami. — Rostov n/D : Izdatel'skii centr DGTU, 2004. — 117 s. — in Russian.
9. Multilevel Intelligent Control of Mechatronical Technological Systems / Tugengol'd A. [et al.] Advanced Robotic Systems International. Cutting Edge Robotics. Mammendorf (Germany). 2005. — P. 745—754.
10. Intellectual'noe upravlenie tehnologicheskimi sistemami / A.K. Tugengol'd [i dr.] // STIN. — 2008. — № 2. — S. 2—8. — in Russian.

11. Sistema intellektual'nogo upravleniya stankami / A.K. Tugengol'd [i dr.] // STIN. — 2008. — № 12. — S. 10—14. — in Russian.
12. Borisova L.V., Dimitrov V.P., Sazanovich V.I. Nekotorye aspekty strukturizatsii znanii predmetnoi oblasti «Tehnicheskoe obsluzhivanie kombainov» // Izv. vyssh. ucheb. zavedenii. Sev.-Kavk. region. Matematicheskoe modelirovanie i komp'yuternye tehnologii. Spec. vyp., 2003. — S. 59—64. — in Russian.
13. Dimitrov V.P., Borisova L.V. Sovershenstvovanie informacionnoi slujby po ispol'zovaniyu kombainov // Tehnika v sel'skom hozyaistve. — 2008. — № 4. — S. 25—28. — in Russian.
14. Borisova L.V. Metodika modelirovaniya predmetnoi oblasti «tehnologicheskaya nastroyka» v nechetkoi postanovke // Dokl. RASHN. — 2005. — № 6. — S. 62—65. — in Russian.
15. Dimitrov V.P., Borisova L.V. Osobennosti modelirovaniya processa prinyatiya reshenii pri tehnologicheskoi regulirovke mashin // Mehanizatsiya i elektrifikatsiya sel. hoz-va. — 2009. — № 4. — S. 3—5. — in Russian.
16. Obrabotka nechetkoi informatsii v sistemah prinyatiya reshenii / A.N. Borisov [i dr.]. — M. : Radio i svyaz', 1989. — 394 s. — in Russian.
17. Tugengol'd A.K., Borisova L.V. Dimitrov V.P. Korrektirovka tehnologicheskikh regulirovok na osnove nechetkogo logicheskogo vyvoda // Vestnik DGTU. — 2009. — T. 9, № 3(42). — S. 24—32. — in Russian.
18. Medvedev B.C., Potemkin V.G. Neironnye seti. MATLAB 6. — M. : Dialog-MIFI, 2002. — in Russian.
19. Rassel S., Norvig P. Iskusstvennyi intellekt: sovremennyyi podhod : per. s angl. — M. : Izdatel'skii dom «Vil'yams». — 2006. — 243 s. — in Russian.

Материал поступил в редакцию 20.07.10.

A.K. TUGENGOLD, V.P. DIMITROV, L.V. BORISOVA, E.A. LUKYANOV, V.A. GERASIMOV

MECHATRONICS TECHNOLOGICAL SYSTEMS INTELLECTUAL MANAGEMENT PROSPECTS AND RESULTS

DSTU outlook on research in mechatronics management intellectual systems creation is considered. Agricultural harvesting machine control problems are considered as examples.

Key words: *intellectual control, mechatronics object, fuzzy knowledge.*

ТУГЕНГОЛЬД Андрей Кириллович (р. 1937), профессор кафедры «Робототехника и мехатроника» Донского государственного технического университета, доктор технических наук (1983), профессор (1985). Окончил РИСХМ (1960).

Область научных интересов — интеллектуальное управление технологическими системами, динамика и точность мехатронных систем.

Автор 203 научных работ, в том числе 18 учебных пособий и монографий.

akt0@yandex.ru

ДИМИТРОВ Валерий Петрович (р. 1953), декан факультета «Приборостроение и техническое регулирование» Донского государственного технического университета, заведующий кафедрой «Управление качеством», доктор технических наук (2002), профессор (2003), действительный член Академии качества. Окончил РИСХМ (1975).

Область научных интересов — информационные системы, экспертные системы, техническое обслуживание машин.

Автор 350 научных работ, в том числе 32 учебных пособий и монографий.

vdimitrov@dstu.edu.ru

БОРИСОВА Людмила Викторовна, заведующая кафедрой «Экономика и менеджмент машиностроения» Института энергетики и машиностроения (ИЭИМ) Донского государственного технического университета, доктор технических наук (2008), профессор (2010). Окончила РГАСХМ (1991).

Область научных интересов — статистика, информационные системы, менеджмент качества.

Автор 220 научных работ, в том числе 15 учебных пособий и монографий.

borisovalv09@mail.ru

ЛУКЬЯНОВ Евгений Анатольевич (р. 1958), заведующий кафедрой «Робототехника и мехатроника» Донского государственного технического университета, кандидат технических наук (1986), доцент (1990). Окончил РИСХМ (1981).

Область научных интересов — интеллектуальное управление технологическими системами, точность мехатронных систем, компьютерное управление.

Автор 96 научных работ, в том числе 3 учебных пособий и 1 монографии.

elukianov@dstu.edu.ru

ГЕРАСИМОВ Владимир Анатольевич (р. 1948), профессор кафедры «Робототехника и мехатроника» Донского государственного технического университета, кандидат технических наук (1985), доцент (1990). Окончил РИСХМ (1975).

Область научных интересов — интеллектуальное управление технологическими системами, точность мехатронных систем, микропроцессорное управление.

Автор 108 научных работ, в том числе 2 учебных пособий.

elukianov@dstu.edu.ru

Andrey K. Tugengold (1937), Professor of the Robotics and Mechatronics Department, Don State Technical University. Ph.D. in Science (1983), Professor (1985). He graduated from Rostov Institute of Agricultural Engineering (1960).

Research interests — technological systems intelligent management, mechatronic systems dynamics and accuracy.

Author of 203 scientific publications, including 18 manuals and monographs.

Valery P. Dimitrov (1953), Dean of the Tools and Instrument Engineering Faculty, Head of the Quality Management Department, Don State Technical University. Ph.D. in Science (2002), Professor (2005), Full Member of Academy of Quality. He graduated from Rostov Institute of Agricultural Engineering (1975).

Research interests — information systems, expert systems, machinery maintenance.

Author of 350 scientific publications, including 32 manuals and monographs.

Lyudmila V. Borisova, Head of the Engineering Economics and Management Department, Energetics and Engineering Institute, Don State Technical University. Ph.D. in Science (2008), professor (2008). She graduated from Rostov State Agricultural Engineering Academy (1991).

Research interests — statistics, information systems, quality management.

Author of 220 scientific publications, including 15 manuals and monographs.

Evgeny A. Lukyanov (1958), Head of the Robotics and Mechatronics Department, Don State Technical University. Candidate of Science in Engineering (1986), Associate Professor (1990). He graduated from Rostov Institute of Agricultural Engineering (1981).

Research interests — technological systems intelligent management, mechatronic systems accuracy, computer management.

Author of 96 scientific publications, including 3 manuals and 1 monograph.

Vladimir A. Gerasimov (1948), Professor of the Robotics and Mechatronics Department, Don State Technical University. Candidate of Science in Engineering (1985), Associate Professor (1990). He graduated from Rostov Institute of Agricultural Engineering (1975).

Research interests — technological systems intelligent management, mechatronic systems accuracy, microprocessor management.

Author of 108 scientific publications, including 2 manuals.