

УДК 658.52.011.56 : 004.896

ОБОБЩЁННАЯ СТРУКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ И ОПЫТ ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ

В. Б. Трофимов, С. М. Кулаков

*Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»,
654007, г. Новокузнецк Кемеровской обл., ул. Кирова, 42
E-mail: trofimov_vb@rambler.ru*

Рассмотрены особенности функциональной структуры типичных представителей интеллектуальных систем применительно к технологическим объектам контроля и управления. Сформирована обобщённая структура интеллектуальной системы контроля и управления. Выполнена конкретизация предложенного подхода.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, экспертные системы, нейронные сети.

Введение. Интеллектуальные системы управления (ИнтСУ) сегодня общепризнаны как перспективное направление научных исследований. Теория этих систем и её приложения отражены в трудах ведущих учёных [1–7]. Однако теоретические и особенно прикладные основы ИнтСУ требуют дальнейшего развития, в том числе систем контроля и управления сложными технологическими объектами, функционирующими в затруднённых условиях. Под такими условиями понимаются большая размерность объекта управления, его нестационарность, долговременная динамическая память, распределённость параметров, нелинейность, существенные запаздывания, разнообразие ситуаций, неполнота контроля внешних воздействий, выходных воздействий и состояний объекта, наличие флуктуационных и грубых помех, изменчивость целей, критериев, ограничений. Современные промышленные машины, агрегаты, технологические линии, участки, цехи горнодобывающей, металлургической, химической, машиностроительной и других отраслей промышленности в большинстве своём относятся к классу сложных объектов. Существенного повышения эффективности управления ими можно достигнуть путём использования адекватно сложных управляющих систем, какими и являются интеллектуальные системы. Возможность реализации таких систем обусловлена развитием высоких технологий автоматизации и информатизации технологических процессов, что позволяет эффективно применять вычислительные процедуры и повышать эффективность управления и, значит, технико-экономические показатели производства.

При построении интеллектуальных систем контроля и управления следует соблюдать принципы интегрированности, открытости, иерархичности, живучести и прогнозирования, для реализации которых необходимо предусмотреть следующие слои анализа и обработки неопределённой информации (слои интеллектуальности): прогноз событий; самообучение и адаптация; работа с базами данных, знаний и формирования решений; исполнительно-регулирующий слой [2, 4].

Включение компонентов искусственного интеллекта в «традиционные» АСУТП существенно расширяет их функциональные возможности (например, распознавание образов, накопление знаний и принятие решений в затруднённых промышленных условиях). В результате интеллектуализации АСУТП обретают способность решать некоторые виды плохо структурированных задач, которые обычно возлагались на операторов-технологов, контролёров.

Интеллектуальные системы управления. Интеллектуальная система управления технологическим объектом, созданная на основе работы [1], есть модификация и развитие классической системы ситуационного управления. Её отличительной чертой является наличие симулятора, осуществляющего прогноз и регноз. Главная архитектурная особенность ИнтСУ, построенной с учётом работы [2], связана с тем, что иерархическая структура такой системы включает стратегический, тактический, регулирующий и исполнительный уровни управления, а также блоки логического вывода, обобщения накопленного опыта и пополнения базы знаний. В ИнтСУ [3] на основании данных об окружающей среде и состоянии объекта при использовании блоков памяти и мотивации синтезируется цель. Сформированная цель наряду с другой информацией поступает в динамическую экспертную подсистему, предназначенную для поиска оптимального управления. Поиск выполняется посредством перебора возможных управлений, хранимых в базе знаний, с прогнозированием возможных последствий. ИнтСУ, представленная в [4], отличается тем, что база знаний, состоящая из набора продукционных правил, введённых проектировщиком, не изменяется в процессе её функционирования. В этой системе возможна лишь ретроспективная корректировка путём организации поиска оптимальных управлений с использованием имитационной модели объекта управления. ИнтСУ промышленным комплексом [5] по сути является более подробной интерпретацией системы [1], но кроме блока дедуктивного вывода в ней присутствуют блоки индуктивного и правдоподобного выводов. В промышленной ИнтСУ [6] выполняются следующие основные функции: прямое и косвенное оценивание переменных, оценка результатов работы системы и формирование управлений на основе ассоциативного запоминания и логического вывода. В ИнтСУ, построенной с учётом концепции автономного адаптивного управления [7], заполнение базы знаний (т. е. обучение ИнтСУ) происходит в процессе наблюдения за предысторией её эволюции. Подсистема принятия решений формирует управления на основе результатов распознавания образов, анализа набора возможных действий и их последствий, записанных в базе знаний, и критерия принятия решений.

По результатам аналитического обзора известных ИнтСУ [1–7] поставлена задача разработки обобщённой структуры интеллектуальной системы управления технологическим объектом, учитывающей положительные стороны проанализированных систем, обеспечивающей соблюдение принципов интегрированности, открытости, иерархичности, живучести и прогнозирования, а также работоспособности, помехозащищённости, адаптивности и выполняющей следующие функции: контроль, распознавание, прогноз, регноз, формирование цели управления, выработка управляющих воздействий. Новые подсистемы обобщённой ИнтСУ (рис. 1) созданы на базе типопредставительного и натурно-модельного подходов.

Обобщённая структура ИнтСУ состоит из следующих подсистем:

1. Динамическая экспертная подсистема (ДЭП) представлена базой знаний, подсистемой логического вывода, подсистемой объяснений, интеллектуальным решателем, планировщиком и интерфейсными блоками. Наиболее сложные функции по принятию решений с помощью подсистемы логического вывода, а также базы знаний реализуются интеллектуальным решателем. Интеллектуальный планировщик составляет рациональную последовательность действий, необходимых для определения управлений $U(t)$. Интеллектуальный интерфейс является средством связи ДЭП с экспертом через инженера по знаниям и используется для её обучения путём передачи знаний, а также для контроля за деятельностью автоматической части системы и оказания ей помощи, если она обращается к эксперту в нестандартных ситуациях.

2. Подсистема моделирования предназначена для условного и безусловного прогнозирования (прогнозатор), ретроспективного анализа траекторий движения объекта (регнотатор), распознавания типовых ситуаций (распознаватель). Безусловное прогнозирование

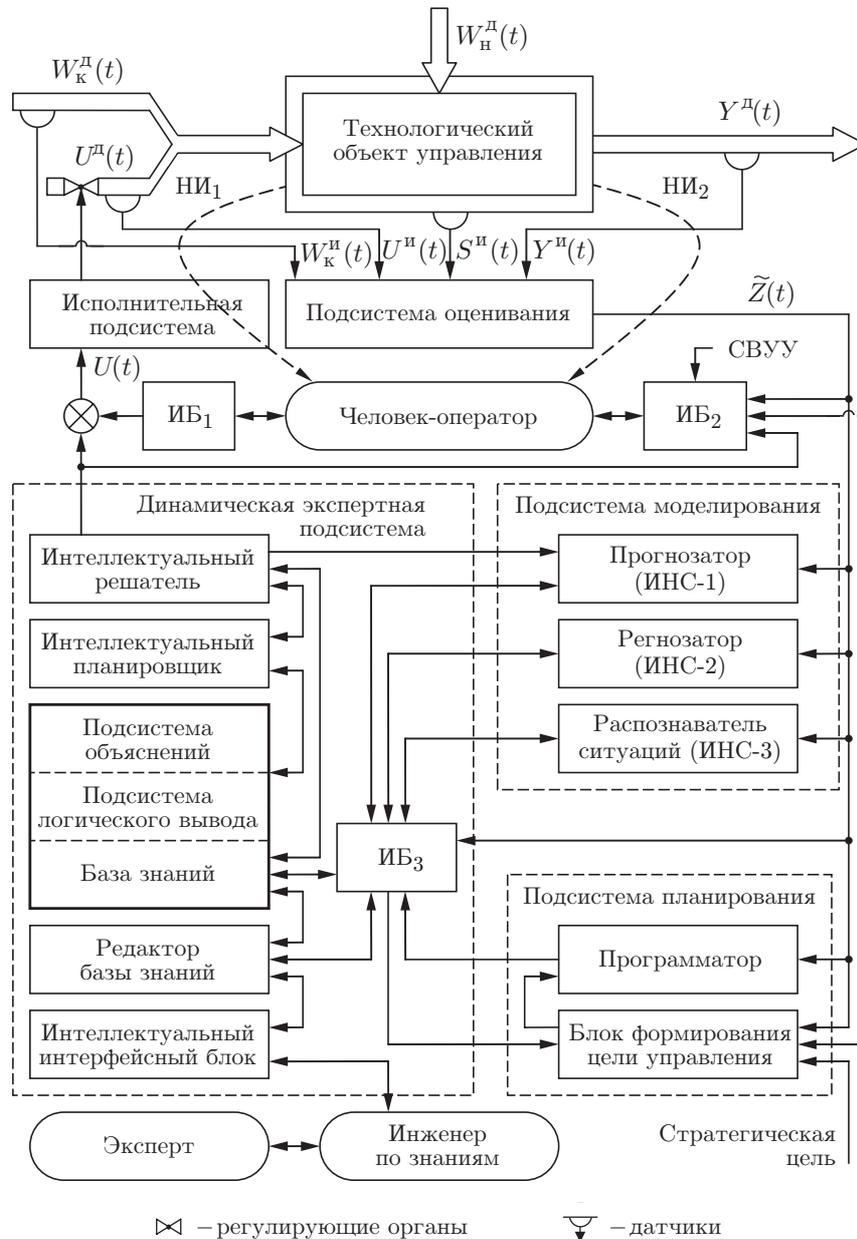


Рис. 1

предлагается применять для получения оценок будущих контролируемых внешних воздействий, а также эффектов неконтролируемых возмущающих воздействий, приведённых к выходу объекта управления. Условное прогнозирование используется для оценки выходных воздействий и состояний объекта при фиксированных вариантах управляющих воздействий. Регнозатор осуществляет анализ траекторий движения объекта в рамках характерных ситуаций на интервале его динамической памяти $[t - T_{\text{п}}, t]$. В результате анализа выделяются наилучшие (оптимальные по целевым критериям) и близкие к ним траектории входных и выходных воздействий объекта управления. Результаты прогнозирования и ретроспективного анализа используются ДЭП для выработки управляющих воздействий $U(t)$. Распознаватель ситуаций преобразует данные о входных и выходных воздействиях, поступающих из подсистемы оценивания, в заключение о том, к какому классу относится ситуация. По сути, он представляет собой модель интеллекта, состоя-

шую из блока оценивания информативных признаков и классификатора.

3. Подсистема планирования состоит из блока формирования цели управления и программатора, определяющего оптимальные траектории движения системы к цели. Последняя описывается в терминах желаемых значений частных показателей работы объекта при условии удовлетворения заданным ограничениям и стратегической цели, которая может быть представлена в виде требуемых значений глобального критерия или в нечёткой форме. Программатор включает в себя два взаимодействующих блока: первый решает задачу стратегической оптимизации посредством выбора из базы знаний программы управления, соответствующей распознанной ситуации, а второй предназначен для оперативной корректировки программы.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: $W_k^d(t)$ — действительные (д) значения векторов-функций контролируемых (к) внешних воздействий; $W_n^d(t)$ — действительные значения векторов-функций неконтролируемых (н) внешних воздействий; $U^d(t)$ — действительные значения векторов-функций управляющих воздействий; $Y^d(t)$ — действительные значения векторов-функций выходных воздействий; $S^d(t)$ — действительные значения состояний технологического объекта управления в момент времени t ; $W_k^m(t)$ — измеренные (и) значения векторов контролируемых внешних воздействий; $U^m(t)$ — измеренные значения векторов управляющих воздействий; $Y^m(t)$ — измеренные значения векторов выходных воздействий; $S^m(t)$ — измеренные значения состояний объекта управления; $\tilde{Z}(t) = \{\tilde{W}_k(t), \tilde{U}(t), \tilde{Y}(t), \tilde{S}(t)\}$ — вектор оценок соответствующих переменных объекта управления; ИБ — интерфейсный блок; НИ — неинструментальная информация; СВУУ — связь с вышестоящим уровнем управления; ИНС — искусственная нейронная сеть.

Конкретизация предложенного подхода выполнена для построения систем контроля и управления агломерационной машиной (рис. 2) [8], воздухонагревателем (рис. 3) [9] и качеством рельсов (рис. 4) [10].

Согласованная оптимизация задающих воздействий (уставок), посылаемых на регуляторы системы автоматизации агломерационной машины, является необходимым условием для достижения её высокой производительности и качества конечного продукта — железорудного агломерата. Решение этой задачи возможно на основе трёх подходов: модельного, натурно-модельного и натурального. Наибольшее распространение получил натуральный подход, что объясняется отсутствием адекватных математических моделей оптимизируемого процесса и рядом других затрудняющих условий. Использование такого подхода связано с большим количеством дорогостоящих экспериментов и на практике реализуется редко (например, при переходе на качественно новое сырьё). В оперативной обстановке такой подход неприменим. Как его альтернативу в этом случае целесообразно использовать



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4

формализованные знания и умения опытных операторов-технологов, а также требования технологической инструкции.

ИнтСУ агломашиной (рис. 5) отличается тем, что включает динамическую экспертную подсистему, определяющую оптимальные траектории движения системы к цели посредством выбора из базы знаний программы управления (программы на влажность шихты, скорость аглоленты, температуру горна), соответствующей текущей производственной ситуации, распознавание которой осуществляется по информативным признакам, например месторождение руды, базовый уровень начальной влажности концентрата, требуемое заказчиком качество агломерата. (Обозначения на рисунке: НС, ВС — нижний и верхний слой; РВ₁, РВ₂ — регуляторы влажности; РТ₁, РТ₂ — регуляторы температуры в зажигательном горне; РС — регулятор скорости аглоленты; ЛИА — лаборатория испытания агломерата.)

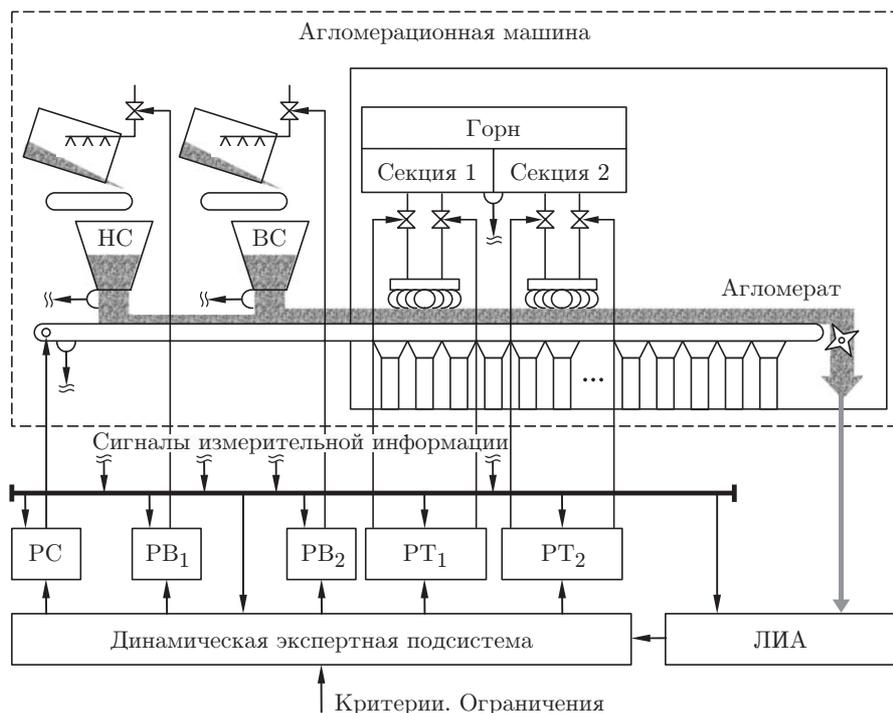


Рис. 5

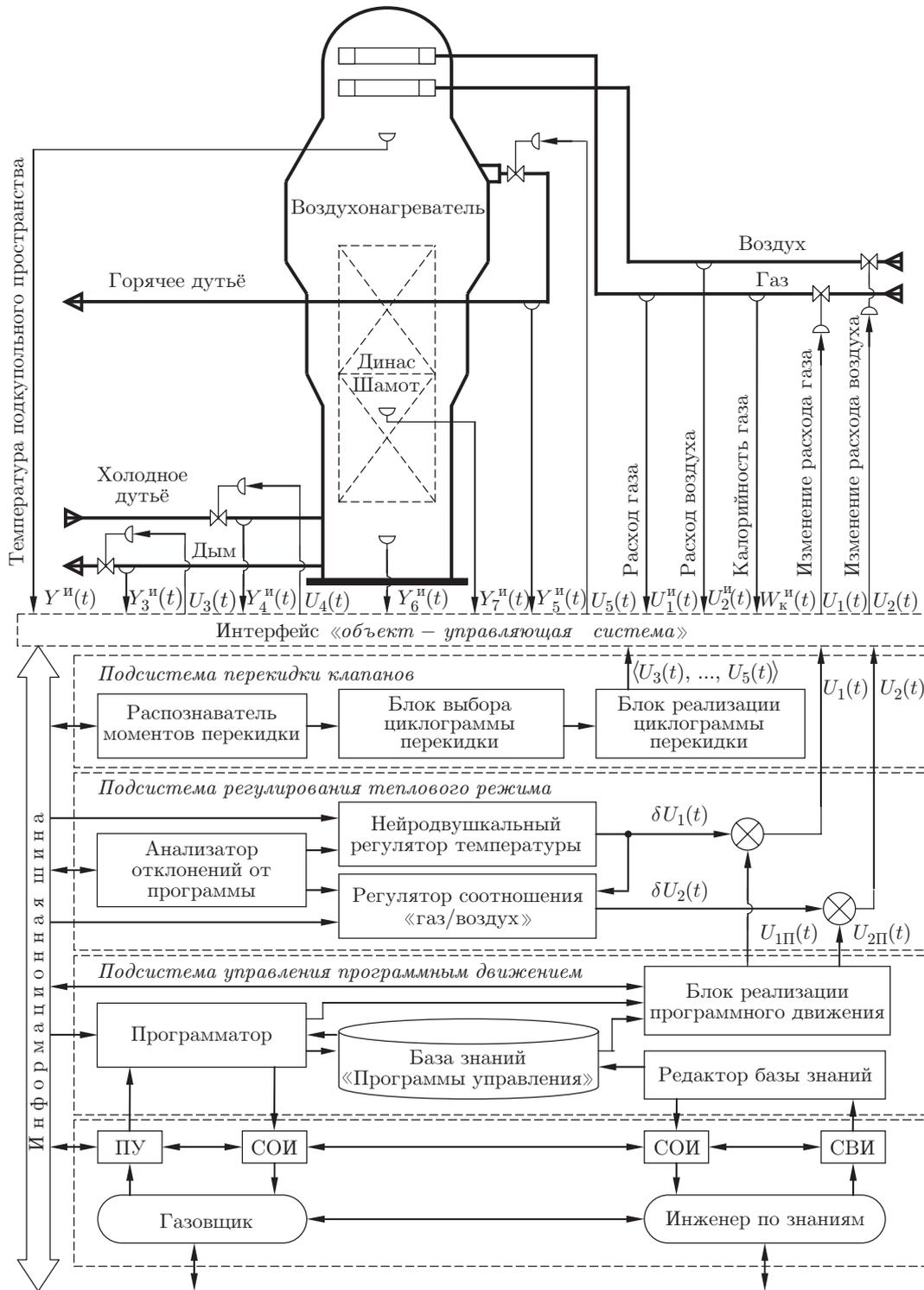


Рис. 6

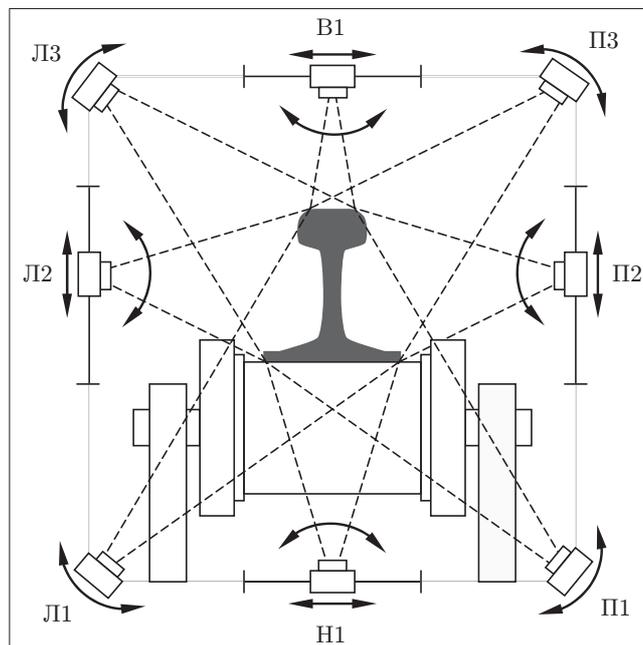


Рис. 7

ИнтСУ воздушнонагревателем Калугина (рис. 6) состоит из экспертной подсистемы управления программным движением объекта, характеризующейся динамической базой знаний продукционно-ситуационного типа «Программы управления», подсистемы регулирования теплового режима с нейродушкальным регулятором, в котором оптимальные регулирующие воздействия определяются с использованием имитационной нейроэкспертной модели объекта управления. В рамках такой модели осуществляется прогнозирование выходного воздействия объекта в ускоренном режиме времени при переборе возможных вариантов регулирующих воздействий с учётом заданных ограничений и прогноза контролируемых внешних воздействий, а также приведённого возмущения. Эффективность предлагаемых систем управления доказана путём пересчётного моделирования [11]. (Обозначения на рисунке: ПУ — пульт управления; СОИ — средства отображения информации; СВИ — средства ввода информации.)

Интеллектуальная система неразрушающего контроля качества рельсов (рис. 7) позволяет, применяя искусственные нейронные сети, автоматически обнаружить типовые поверхностные дефекты, а в нестандартных случаях оказывать помощь оператору-контролёру посредством специальной экспертной динамической подсистемы, использующей морфологические и генетические признаки поверхностных дефектов (обозначения на рисунке: V1, N1, L1—L3, P1—P3 — верхняя и нижняя, левые и правые видеокамеры). Авторами предлагаемой работы созданы схема расположения камер, обеспечивающих «двух-» и «трёхглазие» (см. рис. 7), процедура распознавания поверхностных дефектов (плёна) рельсов (рис. 8), включающая следующие основные операции: сканирование поверхности рельса, преобразование полученного цветного изображения в изображение с нулевым контрастом, нормирование и бинаризацию изображения, элиминирование помех, искажающих изображение фрагментов рельса, оценивание информативного признака и автоматическую нейросетевую классификацию. Если класс поверхностного дефекта не установлен с заданной точностью в автоматическом режиме работы системы, то выполняется запуск специализированной экспертной подсистемы распознавания поверхностных дефектов, использующей продукционную модель представления знаний опытных контролёров и работающей в режиме человеко-машинного взаимодействия. Эффективность распознава-

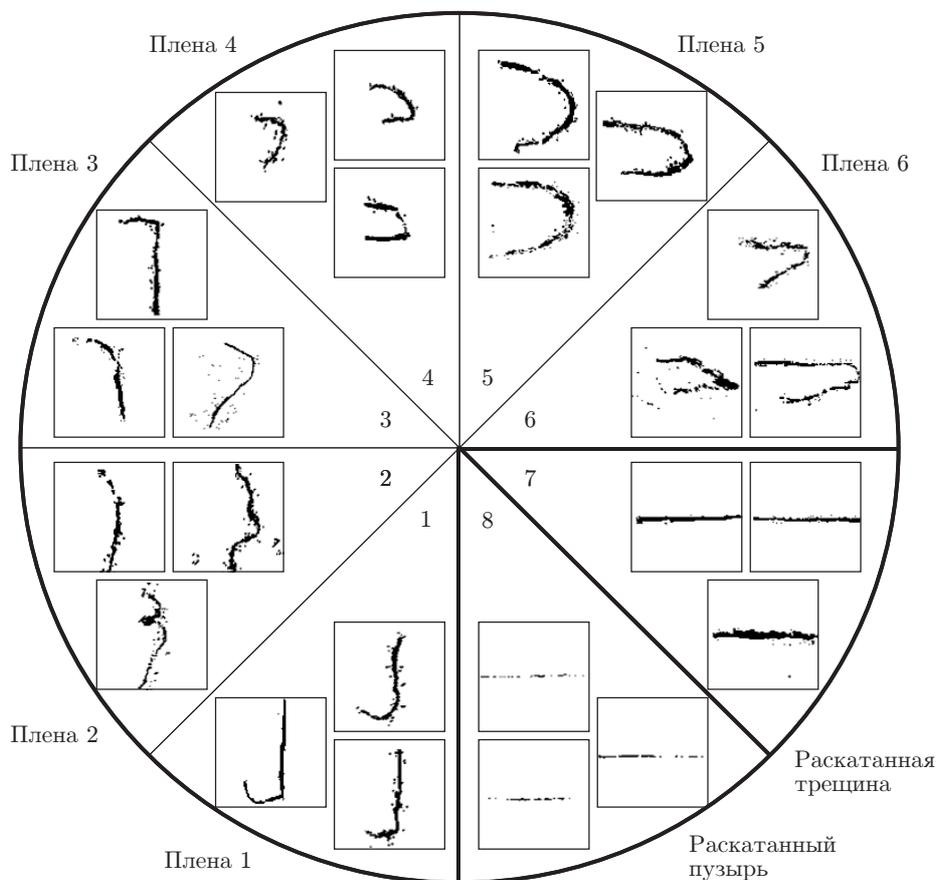


Рис. 8

ния дефектов на контрольной выборке в автоматическом режиме составила 90–97 %, а в человеко-машинном режиме — 100 %.

Заключение. В результате исследования создана обобщённая структура интеллектуальной системы, включающая динамическую экспертную подсистему, повышающую степень объяснимости принимаемого решения, нейросетевую подсистему имитационного моделирования и подсистему планирования. Предлагаемый подход повышает эффективность контроля и управления сложными технологическими объектами за счёт интеграции явной (экспертной) и неявной (нейросетевой) форм представления знаний о поведении объекта в различных производственных ситуациях, а также за счёт использования формализованных знаний управленческого персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Поспелов Д. А.** Ситуационное управление. Новый виток развития // Изв. РАН. Сер. Теория и системы управления. 1995. № 5. С. 152–159.
2. **Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П.** Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. М.: Наука, 2006. 333 с.
3. **Пупков К. А., Коньков В. Г.** Интеллектуальные системы. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. 348 с.
4. **Городецкий А. Е., Ерофеев А. А.** Принципы построения интеллектуальных систем управления подвижными объектами // АиТ. 1997. № 9. С. 101–109.

5. **Советов Б. Я., Цехановский В. В., Чертовской В. Д.** Теоретические основы автоматизированного управления. М.: Высш. шк., 2006. 463 с.
6. **Lu Y.-Z.** Industrial intelligent control: fundamentals and applications. N. Y.: Wiley, 1996. 346 p.
7. **Жданов А. А.** Метод автономного адаптивного управления // Изв. РАН. Сер. Теория и системы управления. 1999. № 5. С. 127–134.
8. **Kulakov S. M., Bondar N. F., Trofimov V. B.** Optimizing automatic-regulator settings in sintering machines // Steel in Translation. 2007. **37**, N 6. P. 501–504.
9. **Кулаков С. М., Трофимов В. Б.** Разработка интеллектуальной системы автоматического управления тепловым режимом воздухонагревателей // Науч. вест. НГТУ. 2008. № 3. С. 3–14.
10. **Кулаков С. М., Трофимов В. Б., Бондарь Н. Ф., Чабан С. В.** Интеллектуальная система распознавания поверхностных дефектов проката // Информационные технологии. 2008. № 5. С. 53–59.
11. **Кулаков С. М., Трофимов В. Б.** Интеллектуальные системы управления технологическими объектами: теория и практика. Новокузнецк: СибГИУ, 2009. 223 с.

Поступила в редакцию 3 марта 2011 г.
