

## Раздел I. Робототехника

УДК 519.711

**И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов, Р.И. Александрова**

### **РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБРАЗЦОВ ВВТ НА БАЗЕ НОВЫХ СРЕДСТВ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

*На основе анализа принципов и основных проблем построения интеллектуальных автономных объектов ВВТ предлагаются новые средства комплексной автоматизации проектирования, включая средства проектирования нейро-нечетких интеллектуальных систем, конструкции конкретного образца и виртуального моделирования комплекса «образец-система управления» с имитацией реальных условий функционирования. Этот подход обеспечивает сокращение стоимости и сроков проектирования, возможность оперативного внесения коррекций в исходные требования, активное участие заказчика в процессе проектирования и виртуальных испытаний*

*Интеллектуальные системы управления; автоматизация проектирования; автономные объекты.*

**I.M. Makarov, V.M. Lokhin, S.V. Manko, M.P. Romanov, R.I. Aleksandrova**

### **DEVELOPMENT OF INTELLIGENT CONTROL TECHNOLOGY FOR CREATION OF AUTONOMOUS OBJECTS ON THE BASIS OF COMPLEX AUTOMATION DESIGN**

*On the basis of the analysis of the principles and the main problems of creation of intelligent autonomous objects new means of complex automation of design are offered, including design tools of neuro and fuzzy intelligent systems, construction of a concrete sample and virtual modeling of the complex "sample-a control system" with imitation of real operating conditions. This approach provides reduction of cost and design terms, possibility of expeditious introduction of corrections in initial requirements, active participation of the customer in the course of design and virtual tests*

*Intelligent control systems; design automation; autonomous objects.*

На фоне активного использования за рубежом интеллектуальных регуляторов и систем управления в разработках как гражданского, так и военного назначения наша промышленность по-прежнему, даже в перспективных образцах, пытается сохранить классические традиции в управлении, имеющие известные ограничения и не всегда оказывающиеся эффективными для создания конкурентоспособных образцов техники.

Объясняется это, с одной стороны, организационно-техническими причинами, связанными с общими проблемами перестройки в стране, а с другой – научно-техническими, к которым следует отнести:

- ◆ неполное понимание реалий и перспектив применения технологий управления, основанных на обработке знаний (интеллектуальных технологий);
- ◆ новизну подходов и объективную сложность при решении задач синтеза интеллектуальных систем управления, что требует специальных средств автоматизации процесса проектирования таких систем.

Важно подчеркнуть, что речь идет не только об автоматизации проектирования конкретных интеллектуальных регуляторов и систем, а о комплексном проектировании всего образца (в котором интеллектуальная система – естественная и неотъемлемая часть), предполагающем не только выполнение всех полагающихся этапов проектирования, но и проведение испытаний в виртуальной среде, адекватно отражающей особенности среды функционирования будущего образца, и внесение по итогам испытаний необходимых коррекций в элементы конструкции и системы управления.

Развитие технологий автоматизации проектирования невозможно без подробного анализа концепции построения интеллектуальных систем управления (ИСУ).

**Реализация базовых принципов интеллектуального управления на унифицированной платформе.** На сегодняшний день можно считать, что базовыми положениями концепции интеллектуального управления являются следующие (рис. 1) [1]:

- ◆ концепция ситуационного управления [2];
- ◆ концепция иерархического построения систем управления сложными динамическими объектами;
- ◆ избирательное использование тех или иных технологий обработки знаний (экспертных систем, нечеткой логики, нейросетевых структур, ассоциативной памяти) в зависимости от специфики решаемых задач, особенностей управляемого объекта, его функционального назначения, условий эксплуатации и т.д.;
- ◆ соответствие степени интеллектуальности системы уровню неопределенности, в котором функционирует система; чем выше уровень неопределенности, тем выше уровень интеллектуальности.

По существу сформированы четыре базовых принципа, интеграция которых в единой системе обеспечивает эффективное решение задач управления в неполнозаданных (или неопределенных) условиях при случайном характере внешних возмущений. К возмущениям подобного рода можно отнести непредусмотренные изменения целей управления, эксплуатационных характеристик системы и объекта управления, параметров внешней среды и т.д.

В качестве примеров на рис. 2 приведены конкретные разработки МГТУ МИРЭА образцов техники с интеллектуальными системами управления: прецизионный привод геостационарного космического аппарата с нейросетевой системой управления, интеллектуальный привод корабельной пушки АК-306, интеллектуальный прецизионный привод лазерной системы наведения, автономные роботы наземного, воздушного и подводного базирования с нечеткой системой управления, автономный робот вертикального перемещения с нейро-нечеткой системой управления.

Важно подчеркнуть, что общей базой, на которой построены все указанные системы управления, является унифицированная платформа, структура которой показана на рис. 2, а аппаратной основой является трехпроцессорная вычислительная система на базе ПЛИС. В сочетании с использованием протоколов типа CAN, UART, USERT такая система становится по существу инвариантной к числу цифровых информационных датчиков и к числу управляемых исполнительных устройств. При этом она способна обеспечить решение задач обработки разнородных сенсорных данных и построения единого информационного пространства, планирования поведения (стратегический уровень) и формирования законов управления (тактический уровень), а также их последующей реализации на уровне исполнительных устройств (привод). Высокая надежность обеспечивается за счет применения специальных алгоритмов перераспределения задач в многопроцессорной структуре при выходе из строя одного из ее элементов.

Инвариантность к типу и сложности решаемой задачи обеспечивается соответствующим набором алгоритмов. В базе алгоритмов системы предусмотрен набор алгоритмов (и настроек), приведенный на рис. 2.

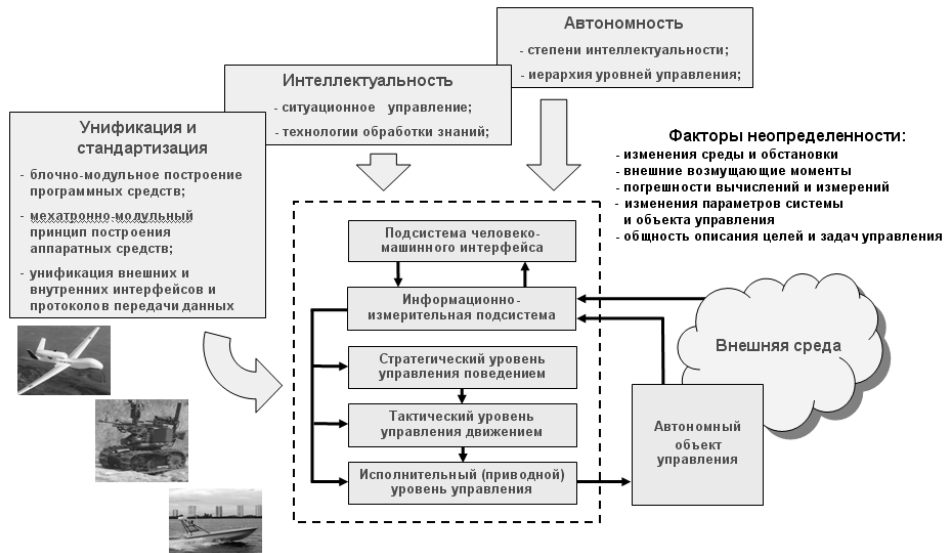


Рис. 1. Принципы построения и обобщенная структура интеллектуальной системы управления автономным объектом



Рис. 2. Аппаратная реализация унифицированной многопроцессорной интеллектуальной бортовой системы управления и примеры ее применения в составе автономных подвижных объектов различных типов и назначения

На таком унифицированном комплексе аппаратных и программно-алгоритмических средств может быть реализована интеллектуальная бортовая система для широкого спектра образцов ВВТ. Габаритные размеры системы управления 100 x 35 x 50 мм, вес 150 г.

Предлагаемая система в полной мере реализует указанные выше базовые принципы интеллектуального управления, обеспечивая при этом высокие показатели по точности и качеству управления, инвариантность к внешним возмущениям, переменным нагрузкам, структуре кинематических цепей и т.д. Степень интеллектуальности системы – в малом/большом. При доработке алгоритмов самообучения она может быть доведена до уровня – в большом/в целом (для автономных объектов, уровень неопределенности функционирования которых требует такой степени интеллектуальности).

Важно подчеркнуть, что, если действовать по «традиционной» схеме, то создание подобного рода унифицированной системы с соответствующими характеристиками вряд ли представляется возможным.

Унификацию можно рассматривать как пятый базовый принцип создания ИСУ, реализации которого обеспечит:

- ◆ возможность применения в роботах любого класса;
- ◆ реализацию режимов автономного, полуавтономного и дистанционного управления;
- ◆ использование единой технологии программирования миссий;
- ◆ высокую ремонтпригодность;
- ◆ единую технологию подготовки бойцов-операторов;
- ◆ возможность реализации мультиагентного взаимодействия;
- ◆ единую технологию взаимодействия с АСУ войсками.

Анализ зарубежного опыта в области интеллектуального управления и изучение конкретных образцов ВВТ показывает, что основные направления исследований совпадают. Принципиальная разница состоит в том, что за рубежом сроки от продуктивной идеи до реального внедрения на порядки меньше, чем те, которые сложились в отечественной практике. Поэтому, думая о создании конкурентоспособной перспективной техника, необходимо решать в первую очередь организационно технические вопросы, которые обеспечат не только сокращение отставания, но и опережающие темпы разработки и внедрения новой техники.

Важное место в решении данной задачи занимает разработка новых подходов к автоматизированному проектированию интеллектуальных систем и соответствующих образцов техники.

**Методы синтеза интеллектуальных САУ и средства автоматизации проектирования.** С традиционных позиций разработка методов синтеза интеллектуальных САУ и средства автоматизации проектирования конкретного образца – разные задачи. Однако в рамках данной работы, ставящей целью постановку системных решений, обеспечивающих опережающие темпы разработки перспективной техники – эти задачи рассматриваются как единый комплекс, результатом которого является испытанный в виртуальной среде образец с интеллектуальной системой управления, в котором выявлены все возможные недостатки и внесены в соответствующие изменения в конструкторскую документацию.

В данный комплекс входят: подсистема автоматизации проектирования и настройки интеллектуальных САУ (АПН ИСАУ), а также подсистема проектирования роботов и робототехнических систем – RobSim.

Структура подсистем АПН ИСАУ показана на рис. 3. Фундаментальной основой создания этой подсистемы является монография [3].

В составе подсистемы три модуля (рис. 3): САПР «Нейро-Плис», Синтез нечетких систем на основе генетических алгоритмов, Синтез нейро-нечетких систем по степени устойчивости.

**Модуль САПР «Нейро-Плис»** обеспечивает полный цикл разработки нейросетевых регуляторов на ПЛИС (рис. 4) включая автоматическую настройку его параметров под конкретные требования системы управления. Следует подчерк-

нужно, что в отличие от традиционных ПИД-регуляторов, где требуется настроить три параметра, здесь решается более сложная задача. Как пишет в работе [4] А. Пегат «Существует много прекрасных методов анализа устойчивости линейных систем управления, но, к сожалению, обоснование устойчивости сложных нелинейных систем до сих пор остается трудной проблемой... Не так давно высказывалась даже пессимистическая точка зрения, согласно которой методы проверки устойчивости нечетких систем вообще не могут быть созданы».

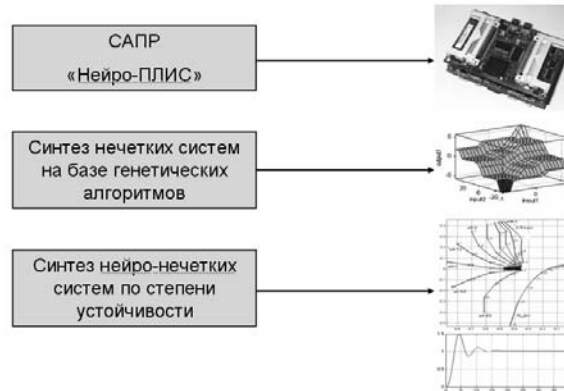


Рис. 3. Подсистема автоматизации проектирования и настройки интеллектуальных САУ

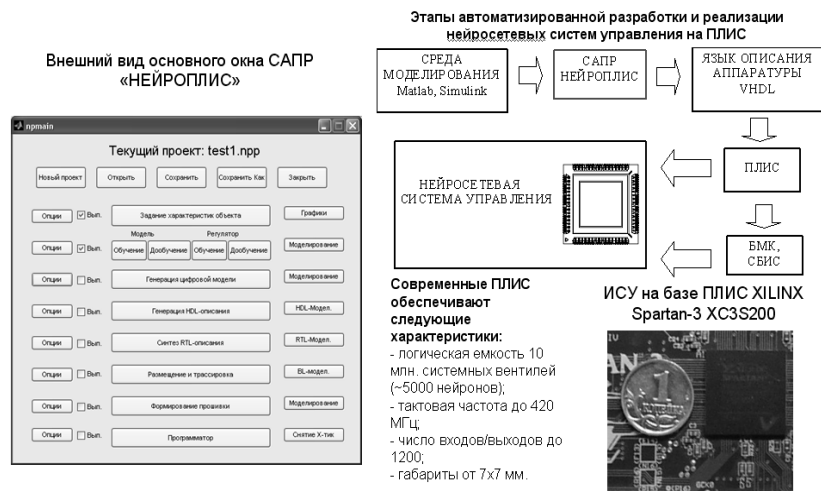


Рис. 4. САПР «Нейро-ПЛИС»

**Модуль «Синтез нечетких систем на основе генетических алгоритмов»** обеспечивает:

- ♦ автоматический синтез нечетких регуляторов;
- ♦ автоматический синтез нечетких систем управления для сложных объектов.

**Модуль «Синтез нейро-нечетких систем по степени устойчивости»** обеспечивает контроль параметров настройки интеллектуальной системы в области устойчивости системы:

- ◆ на основе модификации критерия абсолютной устойчивости;
- ◆ на основе метода гармбаланса.

Структура подсистемы проектирования роботов RobSim показана на рис. 5.

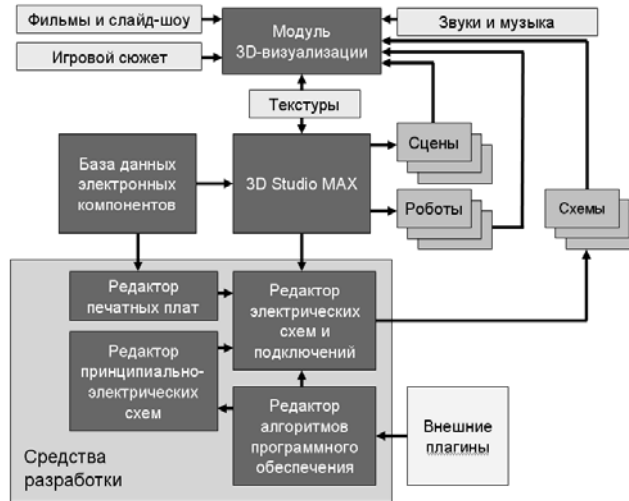


Рис. 5. Обобщенная структура программного комплекса «RobSim»

Данная подсистема на основе исходных данных позволяет разрабатывать конструкцию робота, подбирать структуру и настройки параметров системы управления, оценивать эффективность необходимых алгоритмов управления. Полученная конструкция с системой управления «погружается» в виртуальную среду, где проводятся полномасштабные испытания (на разных грунтах, в разных погодных условиях и т.д.) (рис. 6). После внесения корректив в конструкцию и систему управления осуществляется автоматическая разработка принципиальных схем, конструкций плат и т.д.



Рис. 6. Фрагменты этапов проектирования и комплексного моделирования автономного мобильного робота в среде «RobSim»

Принципиально важно, что RobSim предусматривает возможность многоотриминального режима, когда вместе работают: заказчик, разработчик конструкции, разработчик системы управления и пр. Это позволяет при необходимости внести изменения в ТЗ или исходные требования со стороны заказчика и оперативно отреагировать на них со стороны исполнителя.

Следует отметить, что RobSim становится очень эффективным инструментом для заказчика на этапах разработки, проверки и обоснования тактики применения того или иного образца, поскольку позволяет разыграть различные сценарии с той и с другой стороны с участием разрабатываемого образца техники.

По мере развития сетцентрических подходов к управлению войсками можно будет на базе RobSim решать широкий спектр задач по отработке принципов построения, тактики применения и др. для мультиагентных робототехнических систем.

Предлагаемый комплексный подход к автоматизации проектирования перспективных образцов с ИСУ позволяет сократить сроки разработки в несколько раз, избежав при этом возможных ошибок и нестыковок, возникающих в ходе проектирования, сократив при этом и затраты на разработку.

**Заключение.** Интеллектуальные системы управления, принцип работы которых построен на обработке и обобщении знаний, заложенных в систему, даже при существующей аппаратной базе по существу не имеющей реальной альтернативы, особенно, если условия функционирования связаны с многообразием факторов неопределенности. Поэтому активное развитие теории интеллектуальных систем, средств автоматизации их проектирования и совершенствование организационно-технических мероприятий, направленных на ускорение темпов внедрения научных исследований в практику, может обеспечить своевременную разработку и модернизацию одной из важнейших составляющих перспективной техники – систем управления.

При этом с учетом имеющихся заделов по многим образцам эту работу можно и нужно начинать уже сейчас.

В части теоретических задач, решение которых может повысить степень интеллектуальности системы и соответственно автономность работы образца техники, необходимо основательно исследовать проблему самообучения и самодиагностики. Эти задачи решаются многими исследователями в мире. Своевременная организация и финансовая поддержка таких исследований – залог конкурентоспособности нашей техники.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П.* Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. – М.: Наука, 2006.
2. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука, 1986.
3. Автоматизация синтеза и обучения интеллектуальных систем управления / Под ред. Макарова И.М., Лохина В.М. – М.: Наука, 2009.
4. *Пегат А.* Нечеткое моделирование и управление. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2009.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор О.С. Колосов.

**Макаров Игорь Михайлович** – Московский государственный технический университет МИРЭА; e-mail: [spd@mirea.ru](mailto:spd@mirea.ru); 119454, г. Москва, пр-т. Вернадского, 78; тел.: 84954349232; кафедра проблем управления; д.т.н.; профессор; академик РАН.

**Лохин Валерий Михайлович** – кафедра проблем управления; д.т.н.; профессор.

**Манько Сергей Викторович** – кафедра проблем управления; д.т.н.; профессор.

**Романов Михаил Петрович** – кафедра проблем управления; д.т.н.; профессор.

**Александрова Римма Ивановна** – кафедра проблем управления; вед. электроник.

**Makarov Igor Michailovich** – Moscow State Technical University of Radioengineering, Electronics and Automation; e-mail: cpd@mirea.ru; 78, Vernadsky ave., Moscow, 119454, Russia; phone: +74954349232; the department of control engineering; dr. of eng. sc.; professor; Academician of Russian Academy of Science.

**Lokhin Valeriy Michailovich** – the department of control engineering; dr. of eng. sc.; professor.

**Manko Sergey Viktorovich** – the department of control engineering; dr. of eng. sc.; professor.

**Romanov Michail Petrovich** – the department of control engineering; dr. of eng. sc.; professor.

**Aleksandrova Rimma Ivanovna** – the department of control engineering; leading electronic.

УДК 007.621.865.8

**И.В. Рубцов**

### **ВОПРОСЫ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НАЗЕМНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ ВОЕННОГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Рассмотрены некоторые вопросы состояния и перспектив развития наземной мобильной специальной робототехники. Отмечено, что разработка, а в дальнейшем применение роботизированных средств с высокой степенью автономности, является весьма актуальной и зависит, прежде всего, от возможности создания системы автоматического вождения в условиях различных сред (индустриальная среда, городские условия, сеть дорог, пересечённая местность). На основе анализа тенденций развития специальной робототехники за рубежом и состояния отечественного роботостроения сформулированы основные задачи развития отечественной наземной мобильной робототехники.*

*Мобильный робототехнический комплекс; шасси; система автономного управления.*

**I.V. Rubtsov**

### **CURRENT SITUATION AND PERSPECTIVE OF DEVELOPMENT FOR GROUND MILITARY AND SPECIAL ROBOTICS**

*Some questions of current situation and perspectives for ground mobile special robotics are considered in the paper. Design and further using of autonomous robots is very actual problem. The solving of it depends on possibility of creation of automated motion system for different environments (industrial, urbane conditions, roads, cross-country). Main tasks of development for national ground mobile robotics are formulated according to carried out analysis of development trends for foreign special robotics and national robot buildings.*

*Mobile robotic complex; chassis; autonomous control system.*

В настоящее время разработка и внедрение технологий военной робототехники является одним из приоритетных направлений, используемых при создании новых и модернизации существующих на вооружении образцов вооружения и военной техники (ВВТ) [1].

Путем роботизации ВВТ предполагается достичь качественного улучшения параметров эффективности существующих и перспективных образцов ВВТ, расширить их функциональные возможности, а также максимально сократить потери личного состава в ходе ведения боевых действий.

Исследования и разработки в области роботизации ВВТ в интересах Вооруженных сил Российской Федерации проводятся в рамках комплексной целевой программы. Инициатором и одним из основных разработчиков указанной программы являлся МГТУ им. Н.Э. Баумана.