

Интеллектуальное управление и системы

УДК 681.513

В.В. ПАВЛОВ, д-р техн. наук, проф.

Ю.М. ШЕПЕТУХА, канд. техн. наук, старш. науч. сотр.,
старш. науч. сотр. отд. интеллектуального управления
e-mail: yshep@meta.ua

С.В. МЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук, старш. науч. сотр.,
и.о. зав. отд. интеллектуального управления
e-mail: dep185@irtc.org.ua

А.Е. ВОЛКОВ, науч. сотр. отд. интеллектуального управления
e-mail: alexvolk@ukr.net

Международный научно-учебный центр информационных
технологий и систем НАН Украины и МОН Украины,
пр. Академика Глушкова, 40, г. Киев, 03680 ГСП, Украина

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ: ПОДХОДЫ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Рассмотрены текущее состояние и перспективы будущего развития нового научного направления — интеллектуального управления. Среди основных теоретических и прикладных результатов в данной предметной области можно указать разработку технологий и алгоритмов управления скоростными динамическими процессами в распределённой компьютерной среде, структуризацию моделей формирования хаотического поведения системы, создание методов улучшения качества обмена данными между компонентами сетцентрической системы.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, эргатическая система, теория конфликтов, нелинейность, неопределенность, сетцентричность.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сфера использования информационных технологий непрерывно расширяется. Системы интеллектуального управления представляют собой новый класс компьютеризованных систем, которые имеют целью моделирование и анализ интеллектуальных задач, а также поддержку деятельности человека по их решению. Повышенная сложность систем интеллектуального управления определяется во-первых, сложностью анализа поведения существенно нелинейных объектов управления и, во-вторых, сложностью синтеза алгоритмов управления такими объектами. Дополнительным фактором сложности является взаимодействие человека с компьюте-

В.В. ПАВЛОВ, Ю.М. ШЕПЕТУХА, С.В. МЕЛЬНИКОВ, А.Е. ВОЛКОВ, 2017

ризованными средствами управления. Поэтому исследование концептуальных и прикладных аспектов создания подобных систем, а также факторов, определяющих их эффективное и надежное функционирование, представляет собой важную и актуальную научно-техническую проблему.

Основной целью интеллектуализации является обеспечение возможности управления адаптируемыми системами в динамически изменяющейся среде при обеспечении необходимых показателей качества, быстродействия и устойчивости. Для достижения этой цели необходимо усовершенствование существующих и создание новых подходов, концепций, технологий, методов и моделей интеллектуального управления сложными объектами и процессами в различных предметных областях.

Цель статьи — рассмотрение текущего состояния и перспектив будущего развития нового научного направления — интеллектуального управления. Указываются основные теоретические и прикладные результаты в данной предметной области, а именно: разработка технологий и алгоритмов управления скоростными динамическими процессами в распределённой компьютерной среде, структуризация моделей формирования хаотического поведения системы, создание методов улучшения качества обмена данными между компонентами сетецентрической системы.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМУ УПРАВЛЕНИЮ

На основе анализа концептуальных подходов к определению исследовательской области, охватываемой интеллектуальным управлением, и, соответственно, формулировок данного термина, можно выделить две основные научные школы. Первая рассматривает интеллектуальное управление как одно из направлений развития теории искусственного интеллекта. По мнению сторонников данного подхода [1], составляющими интеллектуального управления являются такие научные области, как нейронные сети, нечеткая логика, генетические алгоритмы и эволюционное программирование. В работе [2] приводится определение интеллектуального управления как применение методов искусственного интеллекта для управления объектами различной физической природы.

Вторая научная школа рассматривает интеллектуальное управление как естественное развитие традиционной теории управления. Так, Комитетом по интеллектуальному управлению Института инженеров электротехники и электроники (Нью-Йорк, США) — IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) была создана специальная рабочая группа с задачей сформулировать наиболее подходящее определение термина «интеллектуальное управление». Наибольший интерес представляют следующие предложенные ею концептуальные положения интеллектуального управления [3]. Прежде всего, была констатирована невозможность на данном этапе развития науки точного и полного определения терминов «интеллект» и «интеллектуальность». В качестве альтернативы предлагается рассмотреть некоторые характеристики, присущие интеллекту и интеллектуальным системам, которые могут оказаться полезными при анализе сложных процессов управления. При этом под традиционными или обычными система-

ми управления понимают системы, поведение которых описывается набором дифференциальных или разностных уравнений. Для интеллектуального управления, в отличие от традиционного, не существует четкой границы между объектом управления и управляющим устройством. Поэтому законы управления могут взаимодействовать с объектом управления и даже модифицировать его.

Интеллектуальное управление в большинстве случаев должно осуществляться в условиях не точно определенной или не полностью сформулированной задачи — т.е. предполагается возможность уточнения формулировки непосредственно во время функционирования системы. Механизмы адаптации к широкому разнообразию внешних условий являются необходимым фактором для успешного функционирования систем интеллектуального управления. Термин «управление» при интеллектуальном управлении имеет более общее значение, чем при традиционном управлении, т.е. включает процессы диагностики ситуации, планирования действий, принятия решений и т.д.

Участниками рабочей группы были отмечены еще несколько представляющих интерес положений. Интеллектуальные системы должны обладать способностью эффективно функционировать в условиях неопределенности. Для этого они должны имитировать осмысленное поведение человека — понимать особенности внешней среды, планировать действия, принимать решения, осуществлять их и контролировать полученные результаты [4]. Важной характеристикой интеллектуальных систем управления является их способность к автономному формулированию своих целей и автономным действиям по их достижению [5]. При интеллектуальном управлении, в отличие от традиционного, первостепенное значение имеет решение проблемы вычислительной сложности используемых алгоритмов. Для того, чтобы успешно справляться с проблемой сложности, интеллектуальные системы управления должны иметь соответствующую иерархическую функциональную структуру, позволяющую осуществлять эффективный анализ и оценивание используемых стратегий управления [6].

Отсутствие общепринятого определения для термина «интеллект» отмечалось также Американской ассоциацией по искусственному интеллекту [7]. При этом подчеркивалась важность такого атрибута искусственного интеллекта, как автономно функционирующий «интеллектуальный агент». В работе [8] приводится определение интеллектуального агента как системы, использующей либо методологию логического вывода, либо сложную вычислительную методологию для решения набора задач, представляющих интерес для пользователя. Одним из наиболее интересных направлений будущих исследований был назван анализ и синтез взаимосвязей между целедостигающими действиями интеллектуального агента и процессами его адаптации к изменениям во внешней среде.

Следует отметить, что до настоящего времени не сформировано общее мнение относительно того, каким образом наиболее целесообразно создавать интеллектуальные системы — «снизу вверх» или «сверху вниз». Поэтому, наряду с разработкой теоретических и прикладных вопросов создания различных типов интеллектуальных агентов [9], предпринимаются

также попытки выработки концептуальных основ построения целостной интеллектуальной инфраструктуры в различных предметных областях. Высказывается мнение, что интеллектуальная инфраструктура XXI столетия должна удовлетворять таким основным требованиям, как возможность ее расширения при увеличении числа пользователей, способность успешно функционировать при использовании различных технологий и протоколов, адаптируемость к новым тенденциям в предметной области, доступность и безопасность [10]. Независимо от используемого подхода к построению интеллектуальных систем, большинство исследователей отмечают тенденцию к все более широкому их использованию. Подчеркивается такая особенность интеллектуального управления, как существенное увеличение числа решаемых в его рамках проблем — за счет использования процедур распознавания образов, планирования действий, а также других интеллектуальных функций [11].

В области разработки интеллектуальных систем достаточно активно развиваются следующие научные направления:

- управление с использованием элементов искусственного интеллекта;
- управление на основе нечеткой логики;
- генетические и эволюционные алгоритмы управления;
- интеллектуальные агенты и мультиагентские системы;
- экспертные и основанные на знаниях системы;
- машинные алгоритмы обучения;
- управление на основе нейронных сетей;
- планирующие системы [12].

Таким образом, прослеживается тенденция к интеграции исследований представителей двух вышеуказанных научных школ.

Представляет интерес следующее определение интеллектуального управления: «разумная деятельность человека, связанная с решением задач познания, понимания, рассуждения и осуществления необходимого взаимодействия с объектом» [13, с.10]. В данном определении, на наш взгляд, нашли отражение три существенных аспекта, характеризующих процесс интеллектуального управления и соответствующих современным тенденциям исследований в данной области. Во-первых, подчеркивается роль человека как основного интегрирующего и системообразующего элемента процесса управления. Во-вторых, делается акцент именно на том типе деятельности, который направлен на решение задач и проблемных ситуаций. И, в-третьих, четко артикулируется принципиальная важность процессов познания, понимания, рассуждения, т.е. механизмов формирования знаний как о состоянии окружающей среды, так и о свойствах объекта управления. Современные аналитики, развивая данное положение, указывают, что для формулирования, структурирования и решения проблемы необходимо понимание объема и структуры знаний, приобретенных человеком в процессе его деятельности [14]. Таким образом, в настоящее время именно процессы формирования знаний и их использования для принятия решений в сложных динамических средах рассматриваются как основа создания эффективных систем управления.

СОЗДАНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ ОСНОВ ПОСТРОЕНИЯ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Процесс интеллектуальной деятельности человека будем рассматривать как последовательность решения задач, направленных на обеспечение целедостигающего поведения системы даже в условиях неопределенности и конфликта. Отметим, что именно набор целей системы в значительной степени определяет ее структурную организацию, которая должна давать возможность достижения поставленных целей при обеспечении стабильности функциональных поведений в сложной и зачастую конфликтной внешней среде.

Организмическая концепция построения целедостигающих эргатических систем требует, чтобы взаимодействие пользователя с системой строилось на тех же принципах, что и общение между людьми [15, 16]. В соответствии с данной концепцией, принципиальные свойства таких систем определяются совокупностью основных организмических принципов, а именно принципов функционального гомеостаза, активности, стационарности, наименьшего взаимодействия, автономности. Их реализация обеспечивает гибкую структуру самоуравновешивания всего набора целей и средств их достижения по основному критерию функциональной целостности. Подобное целостное рассмотрение задач управления может служить основой как для их начального структурирования, так и для последующего моделирования и оптимизации структурных и функциональных решений.

Современные подходы к организации управления сложными системами требуют обеспечения их целостности и организованности даже при наличии конфликтных и быстро меняющихся ситуаций. Поэтому только совместное рассмотрение и анализ взаимосвязей объекта, среды и целевых установок человека может служить основой построения эффективных систем. Отметим, что сочетание таких свойств целостной структуры, как ограниченность в пространстве и неограниченность во времени, привело к возникновению явления аттракции, когда основой обеспечения целостности является непрерывное движение. При этом **странные аттракторы** целесообразно рассматривать как некие «особые множества», являющиеся обобщением понятия особых точек динамических систем [17]. Такой эффект изменения фазового состояния может явиться источником возникновения хаоса как при сосредоточенной, так и при распределенной реализации динамической системы. Исследование возникающих при этом хаотических процессов также во многих случаях целесообразно производить с позиций теории инвариантности и автономности.

В настоящее время функционирование сложных систем управления все в большей степени ориентируется на активный диалог с человеком, реализующим управление. Поэтому в процессе создания систем возникает необходимость обеспечения эффективного обмена информацией между человеком и техническими средствами. Следует отметить, что до настоящего времени не найдено оптимальное сочетание различных форм коммуникативного взаимодействия человека с техническими устройствами в общем случае. Однако учет организмических принципов дает возможность структурировать человеко-машинный диалог таким образом, чтобы в максимальной степени использовать сильные стороны как человека, так и компьютеризован-

ных технических средств, что особенно ярко проявилось при разработке ряда систем обеспечения безопасности движения динамических объектов.

Система управления безопасным движением динамических объектов по своей сути является эргатической системой, для успешной работы которой необходим правильный и всесторонний учет «человеческого фактора». Специфической особенностью задачи управления движением динамических объектов в конфликтной обстановке является тот факт, что даже единичные случаи принятия ошибочных решений могут привести к очень тяжелым последствиям. Практика показывает, что ошибочные действия обычно имеют место быть как в сложной навигационной обстановке, так и в условиях дефицита времени. В подобных случаях, даже при использовании мощных современных компьютеров, невозможно решить задачу путем простого перебора всех возможных альтернативных вариантов действий в реальном масштабе времени. А навигационный конфликт, как правило, требуется разрешить достаточно быстро, за промежуток времени, определяемый спецификой данной конкретной ситуации. Поэтому интеллектуальные системы разрешения навигационных конфликтов должны обеспечивать их надлежащее быстроедействие даже в исключительно сложных ситуациях.

Одним из подходов к решению задач интеллектуального управления движением динамических объектов в условиях неопределенности и конфликта является построение различных типов внутренних и внешних **информационных образов** конфликтной ситуации. Отметим, что важной составной частью создания концептуальных и математических основ интеллектуального управления является разработка методов образного управления сложными динамическими объектами и процессами. В рамках данного подхода были исследованы принципы организации человеко-машинных систем образного управления и создана технология построения оптимально сбалансированных по внутренней и внешней среде систем различного уровня сложности. Эта технология, в частности, была применена при создании систем образного управления морскими транспортными средствами в сложных навигационных условиях и критических режимах функционирования [18].

ОСНОВНЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ В ОБЛАСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Можно выделить два основных направления в данной области, в которых за последние годы были получены заслуживающие внимания прикладные результаты. Первое направление, которое можно отнести к созданию инфраструктуры интеллектуального направления, включает разработку методов и структур распределенного управления и передачи данных в компьютерных сетях, а также исследование нелинейных прикладных процессов в объектах управления с изменяющимися характеристиками. Второе направление, которое можно отнести к созданию интеллектуальных агентов различного назначения, включает разработку методов, моделей и алгоритмов принятия и реализации в реальном времени решений по управлению динамическими объектами в условиях неопределенности и конфликта.

Среди результатов первого направления следует отметить создание метода сетцентрического управления в распределённой компьютерно-

коммуникационной среде в реальном масштабе времени с использованием скоростных циклов динамических прикладных процессов. В данном случае достижение целей управления обеспечивается за счет генерации набора таких виртуальных циклов, которые позволяют компенсировать возможные потери пакетов данных, повысить степень синхронизации информационных потоков при высоких значениях временных задержек, а также устранить конфликты, возникающие при формировании и реализации команд сетевидного управления. В рамках этого подхода были разработаны и исследованы такие сетевые структуры и алгоритмы управления скоростными динамическими процессами, которые позволяют существенно улучшить качество и устойчивость процесса управления. Полученные результаты были, в частности, защищены международным патентом [19].

В рамках данного направления были исследованы подходы к интеллектуализации взаимодействия распределенных компонентов сетевидных систем, а также проанализированы используемые в настоящее время методы и алгоритмы передачи данных в сети. Выявлен такой их общий недостаток, как значительное превышение допустимых для нормального функционирования уровней задержек, потерь и искажений передаваемых данных. В ходе анализа было также показано, что существенные задержки передачи данных вызывают феномен «перезапроса», т.е. пакеты данных передаются не однократно, а с постоянными повторами. Для оценки качества коммуникационного процесса производился анализ скорости и среднего времени задержки передачи данных в сети с учетом таких параметров, как скорость модуляции, кодовая скорость, длина блока данных, время распространения сигналов по каналу, показатель группирования ошибок, вероятность сбоя, интенсивность устойчивых отказов, среднее время восстановления после отказа. Была предложена показанная на рис. 1 структурная организация системы моделирования передачи данных, включающая новый элемент — модель цифрового канала связи, что позволяет исследовать эффективность и надежность коммуникационного процесса в целом, а также формировать алгоритмы улучшения параметров передачи данных.

Первое направление исследований также включало анализ основных типов нелинейных закономерностей и определение способов эффективного использования нелинейного технологического ресурса системы с точки зрения системной сложности, сходимости, учета возможных диапазонов начальных условий. Для реализации всех заложенных в конструкции объекта управления потенциальных возможностей необходимо использование методологии критических технологий, предполагающей выявление и исследование критических точек, а также точек бифуркации и формирования странных аттракторов. При этом, анализ поведения нелинейных процессов вдали от точек устойчивости является настолько сложным, что обычно осуществляется лишь для низких степеней соответствующих полиномов и малых размерностей системы уравнений — наиболее часто три уравнения первого порядка с не более чем второй степенью полиномов в правой части уравнений [13]. Поэтому важным является структурирование типов порождающих хаотические процессы систем нелинейных уравнений на классы и типы, а также осознание сути происходящих процессов — с целью предотвращения неконтролируемого размножения критических точек.

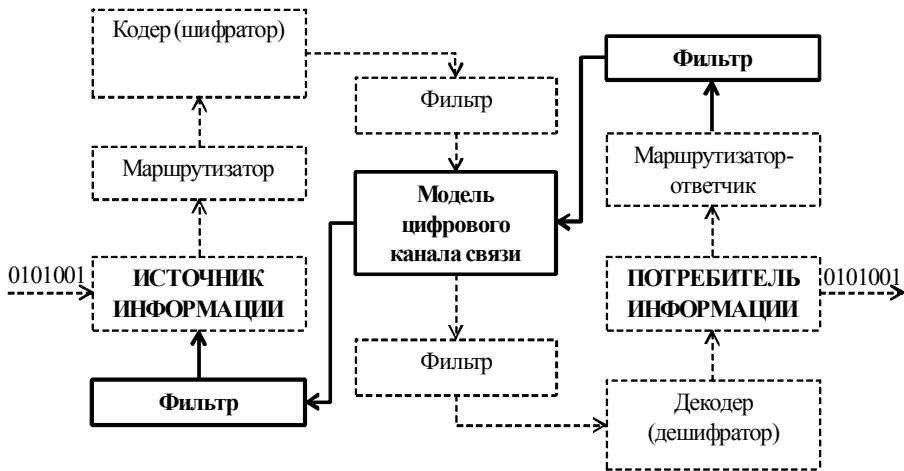


Рис. 1. Предлагаемая структурная организация системы моделирования передачи данных

В общем случае данная система описывается следующим набором уравнений:

$$\begin{aligned}
 dx_1 / dt &= f_1(t, x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n), \\
 dx_2 / dt &= f_2(t, x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n), \\
 &\dots\dots\dots \\
 dx_m / dt &= f_m(t, x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n),
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где t — время; $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$ — переменные состояния системы; f_1, f_2, \dots, f_m — ограниченные кусочно-непрерывные функции с ограниченными частными производными по $x_j, j=1, 2, \dots, n$.

Следует отметить, что данная система дифференциальных уравнений принципиально не решается в квадратурах, т.е. невозможно получить ее общее решение в виде аналитических выражений и неопределенных интегралов. Большинство разработанных до настоящего времени аналитических методов построения интегралов системы (1) основаны на том или ином подходе к линеаризации нелинейных по своей сути процессов. Однако, как показано в [13] при этом существенным образом недоиспользуются имеющиеся потенциальные возможности объекта управления, т.к. вместо алгоритмизации процесса управления во всем диапазоне состояний объекта $\{X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n) \in Q_X\}$ и диапазоне возможных управлений $\{U = (u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n) \in Q_U\}$ ограничиваются суженными множествами $Q_X^* \subset Q_X, Q_U^* \subset Q_U$, в которых используемая линейная модель процесса является достаточно адекватной.

Основная особенность системы дифференциальных уравнений как моделей динамических процессов состоит в том, что они представляют собой внешнюю формальную оболочку, за которой в определенной степени скрываются функциональные свойства процесса [13]. Поэтому

актуальной новой проблемой интеллектуального управления является выявление структуры, содержания и контекста функциональных свойств реальных нелинейных процессов и создание на этой основе базы знаний наиболее существенных системных свойств таких процессов. Элементы такой базы знаний представляют собой некоторые «срезы знаний», характеризующие те или иные подмножества всего множества функциональных свойств нелинейных процессов. Такие элементы могут, например, представлять собой полученные в результате компьютерного моделирования графические образы поведения системы в виде фазовых траекторий. При этом особый интерес представляет собой выявление и исследование особых состояний и движений, включая критические, бифуркационные и хаотические. Эти графические представления в системном смысле представляют собой двухмерные фазовые портреты n -мерных фазовых скульптур процесса. Значение их состоит в том, что они дают инструмент исследования качественных свойств топологических образов нелинейных процессов.

Сложность исследования критических явлений в многомерных системах может быть значительно уменьшена при использовании методологии инвариантности и автономности нелинейных процессов. При использовании данного подхода система существенно нелинейных дифференциальных уравнений (1), характеризующаяся потенциально возможными точками бифуркации и формирования странных аттракторов, преобразуется в совокупность двух систем:

$$\begin{aligned} dy_1 / dt &= f_{y1}(t, y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n, z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_p, u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n), \\ dy_2 / dt &= f_{y2}(t, y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n, z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_p, u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n), \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} dy_m / dt &= f_{ym}(t, y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n, z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_p, u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n), \\ dz_1 / dt &= f_{z1}(t, y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n, z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_p, u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n), \\ dz_2 / dt &= f_{z2}(t, y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n, z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_p, u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n), \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \quad (3)$$

где t — время; $y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n$ — выходные переменные системы; $z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_n$ — произвольные внешние переменные; $u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n$ — управляющие переменные $f_{y1}, f_{y2}, \dots, f_{ym}, f_{z1}, f_{z2}, \dots, f_{zm}$ — ограниченные кусочно-непрерывные функции с ограниченными частными производными по $x_j, z_j, j = 1, 2, \dots, n$.

Далее, используя предложенную в ряде работ В.В. Павлова [15, 16, 17] методологию анализа критических явлений в многомерных процессах, системы уравнений (2) и (3) целесообразно преобразовать в системы виртуальных автономных процессов с соответствующими виртуальными автономными координатами $\{p_{y1}, p_{y2}, \dots, p_{yj}, \dots, p_{ym}\}$ и $\{p_{z1}, p_{z2}, \dots, p_{zj}, \dots, p_{zn}\}$.

После этого принципиально возможным становится автономное исследование на критичность совокупности функций $f_{y_1}, f_{y_2}, \dots, f_{y_m}$ и $f_{z_1}, f_{z_2}, \dots, f_{z_n}$ в рамках теории инвариантности, которая была предложена для синтеза систем управления многомерным объектом. Так, при приложении к системам (2) и (3) векторов малых возмущений и рассмотрении каждой из возмущаемых систем по отдельности, могут быть получены критические множества для каждой из автономных систем $Q_{y_1, y_2, \dots, y_m}^*$ и $Q_{z_1, z_2, \dots, z_n}^*$, а также интегральное критическое множество $Q_\Sigma^* = Q_{y_1, y_2, \dots, y_m}^* \cup Q_{z_1, z_2, \dots, z_n}^*$. При использовании данной концепции важным является то, что одна и та же процедура может использоваться как для анализа многомерной нелинейной системы на существование критических областей различного типа, так и для синтеза функций инвариантного автономного управления $u(y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n, z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_n, p_{y_1}, p_{y_2}, \dots, p_{y_j}, \dots, p_{y_n}, p_{z_1}, p_{z_2}, \dots, p_{z_j}, \dots, p_{z_n})$ в соответствии с функциональными уравнениями абсолютной инвариантности.

Так, например, для системы Лоренца функциональные уравнения абсолютной автономности для наиболее простого линейного случая имеют вид:

$$dX/dt = p_X, \quad dY/dt = p_Y, \quad dZ/dt = p_Z; \quad p_X, p_Y, p_Z \in P_{XYZ}(X, Y, Z)$$

где $P_{XYZ}(X, Y, Z)$ представляет собой образ управляющей функции в пространстве конусов над трехмерным пространством (X, Y, Z) . Критические точки для данной системы находятся решением системы алгебраических уравнений вида

$$a(x - y) = 0; \quad x(b - z) - y = 0; \quad xy - cz = 0.$$

Необходимо отметить, что в общем случае область Q_Σ^* имеет сложную конфигурацию, при этом в каждой точке данной области реализуются соответствующие операции воздействия на элементы p_i . В результате данной операции симметричные фазовые ячейки $\Delta p_i(t_0)$ могут преобразовываться в ячейки $\Delta p_i(t_0 + T)$ достаточно сложной конфигурации, но с площадью, равной площади первоначальной ячейки [17]. При этом за счет пространственно-временной неопределенности $(\varepsilon, \Delta T)$ операторных преобразований, производимых каждой элементарной ячейкой системы, может допускаться отклонение на величину ε от первоначальной фазовой траектории. Важным моментом является то, что целостная динамическая система формирует хаотические процессы с вполне определенной топологией, характеризующейся наличием «странных аттракторов». Тогда важным вопросом исследования и классификации «странных аттракторов» является выделение их типичных видов. В работе [17] в качестве элементарных рассматриваются аттрактор Лоренца и тороидальный аттрактор. Важным вопросом дальнейших исследований в данной области является формирование расширенного списка элементарных аттракторов, на базе которых может быть сформирована базовая структура конфигурации точек бифуркации для странного аттрактора любого вида.

Необходимо отметить, что многие наиболее интересные типы аттракторов порождаются системами нелинейных дифференциальных уравнений с полиномиальными правыми частями. Причиной этого является то, что в подобном виде может быть представлена любая гладкая нелинейная характеристика объекта управления.

Для анализа свойства притяжения — отталкивания конкретных типов аттракторов целесообразно использовать метод показателей Ляпунова. Эти показатели фактически являются количественной мерой интенсивности хаотических явлений. Так, для одномерного разностного уравнения, показатель Ляпунова может быть определен по формуле:

$$L_1 = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{r} \ln \left| \frac{f^{(r)}(x_0 + \gamma) - f^{(r)}(x_0)}{\gamma} \right|,$$

где $f^{(r)}$ — r -итерация разностного уравнения, $\gamma > 0$ — прилагаемое к системе малое возмущение. При $\gamma \rightarrow 0$ вышеприведенное выражение может быть переписано в виде: $L_1 = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{r} \sum_{i=0}^m \ln |f'(x_i)|$. В случае систем высокой размерности, фактическая траектория на хаотическом аттракторе определяется значением наибольшего из показателей Ляпунова L_{\max} . При этом фиксированные точки характеризуются значениями $L_{\max} < 0$, ограниченные циклы — значениями $L_{\max} = 0$, а хаотическое поведение характеризуется значениями $L_{\max} > 0$.

В рамках второго направления предложены подходы к повышению уровня интеллектуализации систем управления движением летательных аппаратов и морских судов в конфликтных ситуациях. Для достижения этой цели были, в частности, разработаны алгоритмы определения приоритетов взаимодействующих летательных аппаратов и расчета оценочного значения оптимизационного функционала для возможных маневров расхождения. Данные алгоритмы основаны на анализе основных полетных характеристик конфликтующих объектов (скорость, вес, угол атаки, ускорение) и позволяют принять обоснованное решение о выборе того летательного аппарата, который обладает наибольшими возможностями для выполнения маневра расхождения. Определение параметров необходимого маневра осуществляется с помощью построения областей управляемости и графического представления управляющих характеристик для каждого из взаимодействующих объектов. Решение этой задачи производится на основе разработанных алгоритмов расчета таких аэродинамических характеристик летательного аппарата, как элементы траекторного управления (θ, ψ, δ), кинематического управления (α, β, γ) и аэродинамического управления (δ_1, δ_2), где θ — наклон траектории, ψ — курс, δ — отклонение рычага управления двигателем; α и β — углы атаки и скольжения соответственно, γ — крен, δ_1 и δ_2 — отклонения предкрылок и закрылок соответственно.

Также был предложен новый метод генерации виртуальных криволинейных глиссид посадочного снижения летательных аппаратов по предельным траекториям, обеспечивающий наиболее эффективное расходование имеющихся ресурсов. В его основу положена идея объединения стадий снижения и планирования, что приводит к существенному сокращению дистанции и высоты для этапов выравнивания и выдерживания. При этом учитываются координаты и характеристики точки посадки, параметры текущего состояния летательного аппарата и окружающей среды, а также расчетные области управляемости. Полная расчетная функция управления $u(t)$ состоит из программной составляющей $u^*(t)$, реализующей требуемое невозмущенное движение летательного аппарата, и стабилизирующей составляющей $\Delta u(t)$, компенсирующей его возмущенное движение. Применение данного подхода позволяет повысить экологичность и экономичность полетов, а также существенно разгрузить воздушную зону ожидания в зоне аэропортов.

В рамках интеллектуализации систем управления движением морских судов в сложной навигационной обстановке и при условиях дефицита времени и информации предложены методы структурирования, интеграции и отображения существенных элементов внешних и внутренних конфликтов. Данные методы и разработанные на их основе алгоритмы производят автоматическое разбиение исходного множества S_0 ситуаций на конечное число непересекающихся подмножеств $S_1, S_2, S_3, \dots, S_m$, являющихся прообразами подмножеств опорных стратегий $C_{B1}, C_{B2}, C_{B3}, \dots, C_{Bm}$. Сформированные опорные стратегии могут включать такие альтернативы, как, например, сохранение первоначальных параметров ситуации, определение целесообразности различных видов маневров, ранжирование уровней привилегированности взаимодействующих судов в условиях неполноты информации и противоречивости критериев оценки, расчет характеристик маневрирования, формирование траектории возврата к исходным параметрам движения. При этом внутри каждой из базовых ситуаций действуют одинаковые типы стратегий анализа ситуации и генерации эффективных способов действия. Далее предлагается использовать процедуру последовательного сужения сгенерированного ранее множества альтернатив. Исходное множество альтернатив сужается вначале до множества допустимых альтернатив A_R , удовлетворяющих заданным в формализованном виде ограничениям, а затем до множества недоминируемых по Парето альтернатив A_E . Следует отметить, что алгоритмы разбиения исходного множества на классы эквивалентности и способы формирования отношений упорядоченности на соответствующих фактор-множествах обладают достаточной гибкостью. Благодаря этому обеспечиваются возможности не только для адаптации при изменении характеристик конкретной конфликтной ситуации, но и для модификации решений при изменении целей системы.

ПЕРСПЕКТИВЫ БУДУЩЕГО РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В настоящее время наблюдается более быстрое развитие ресурсной базы современных и проектируемых технологических средств по сравнению с адекватной им концептуальной и алгоритмической основой [13]. Но только сегодня ставится задача эффективного управления нелинейным объектом с учетом свойств человека и компьютера. Поэтому первостепенное значение имеет разработка методов и моделей целостного интеллектуального управления, т.е. управления во всем возможном пространстве состояний при полном использовании нелинейного технологического ресурса системы.

На данном этапе развития интеллектуального управления наиболее перспективным направлением является создание специализированных систем, предназначенных для функционирования в сравнительно узких предметных областях. Другими словами, наиболее целесообразным является прагматический подход к разработке интеллектуальных систем, направленный на решение проблем и удовлетворение потребностей человека, возникающих в процессе его целедостигающей деятельности. Такие системы должны обладать способностью адаптации как к возможным изменениям во внешней среде, так и к возможным изменениям в структуре и параметрах самой системы управления. Целью подобной адаптации является обеспечение качества и устойчивости управления даже при наиболее неблагоприятных условиях.

Важным фактором эффективного функционирования интеллектуальных систем является надлежащий учет человеческого фактора, т.е. интересов, целей и возможностей работающих в составе таких систем людей. Именно участие человека в контуре управления позволяет придать системам такие свойства, как способность эффективно действовать в непредвиденных ситуациях, достаточная надежность работы в различных режимах, высокий уровень адаптации к изменениям в окружающей среде. Многие сложные проблемы невозможно описать и исследовать исключительно с помощью одних только математических моделей без использования знаний, опыта и суждений человека. Следовательно, при разработке интеллектуальной системы необходимо так организовать взаимодействие человека и компьютеризованных технических средств, чтобы максимально эффективным образом использовать положительные свойства этих двух компонентов целостной системы. Необходимо создание такой структуры, которая на основе интеграции человека и машины обеспечит понимание и решение возникающих проблем, где человек способен сформировать некоторый внутренний образ проблемы, отражающий ее наиболее характерные свойства. Данный образ проблемы может описываться в виде аналитических или структурных моделей, либо даже просто в вербальной форме. Тогда основной функцией целостной интеллектуальной системы является интеграция субъективных суждений человека (например, о существующих ограничениях на применение существующих моделей) и результатов математического моделирования задачи.

Исключительно важным вопросом является формирование стратегий целедостигающего поведения интеллектуальной системы в реальных условиях, т.е. при наличии ограниченности материальных ресурсов, дефицита

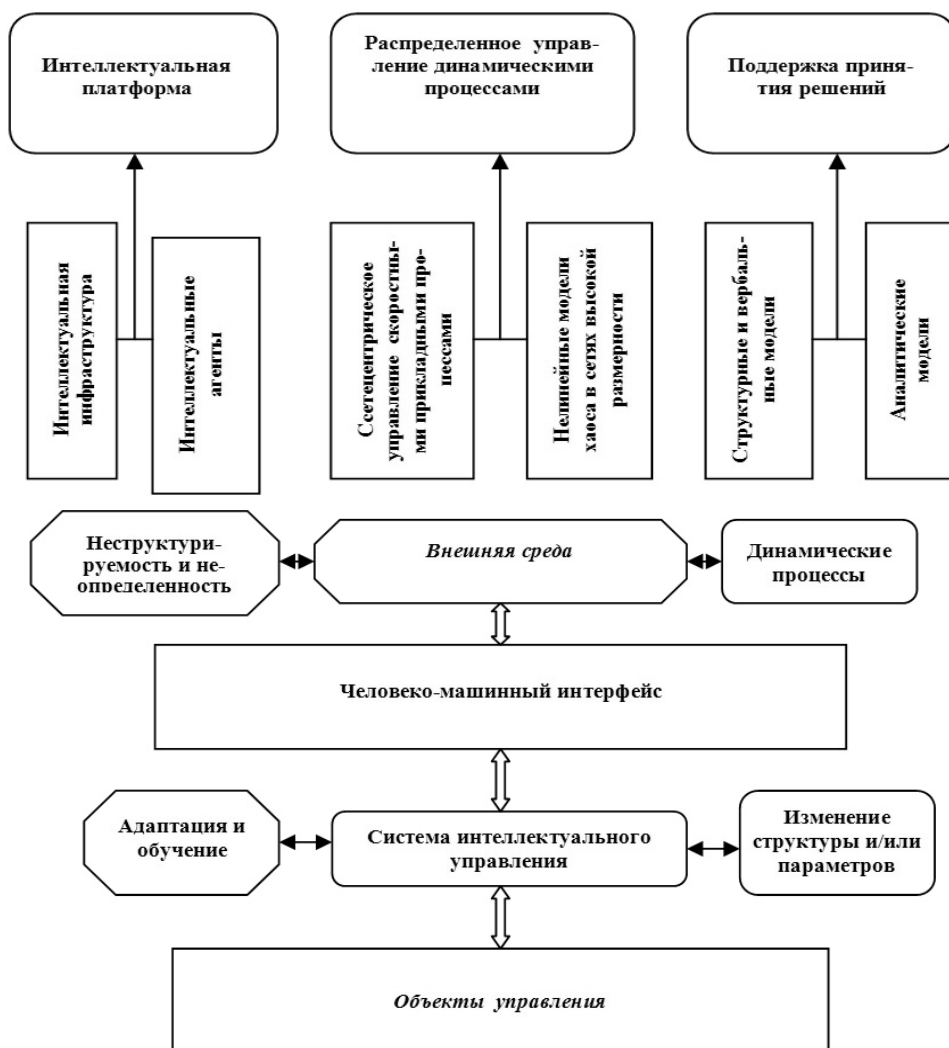


Рис. 2. Структура и компоненты системы интеллектуального управления

времени, а также неполноты используемой информации. Для обеспечения эффективных и своевременных действий в подобных ситуациях необходимо обеспечить высокое быстродействие систем разрешения конфликтов. В реальных ситуациях недостаток средств (в частности, альтернативных вариантов) на каждом отдельном этапе развития конфликта часто можно компенсировать темпом.

Актуализация способов поведения интеллектуальной системы в конфликтных ситуациях должна основываться на реализации процесса творческой деятельности человека, состоящего не в поиске пути в заданном лабиринте возможностей, а в порождении такого графа поведений, при котором с гарантированной надежностью может быть найдено эффективное решение данного конфликта. Подобная парадигма функционирования в конфликтной среде является отражением свойств этой среды, целей системы, а также методов порождения эффективных вариантов поиска возможных альтернатив.

Таким образом, наиболее многообещающими направлениями в области интеллектуального управления представляются следующие:

создание интеллектуальной инфраструктуры и интеллектуальных агентов, обеспечивающих возможность моделирования и исследования разумной деятельности человека в системах со специализированным и профессиональным интеллектом;

распределенное и сетевое управление критическими динамическими процессами на примере задач обеспечения безопасности движения транспортных средств в конфликтных ситуациях;

поддержка принятия решений в неструктурированных средах и в условиях существенной неопределенности;

разработка моделей человеко-машинного взаимодействия и алгоритмов информационной поддержки на различных этапах целедостигающего поведения интеллектуальной системы;

формирование целостных целевых образов динамических объектов, внешней среды и конфликтных ситуаций и их использование для принятия эффективных и своевременных решений;

реконфигурация структур динамических объектов в случаях отказов оборудования или его несанкционированного использования.

На рис. 2 показана предлагаемая структурная организация и компоненты системы интеллектуального управления. В соответствии с предлагаемым подходом, тремя основными составляющими такой системы являются: интеллектуальная платформа (включающая автономных интеллектуальных агентов на микроуровне и целостную интеллектуальную инфраструктуру на макроуровне), методы и алгоритмы распределенного управления скоростными и хаотическими нелинейными прикладными процессами, а также модели поддержки принятия решения при различных уровнях неопределенности проблемы. Отметим, что интеллектуальная система должна обладать способностью эффективно действовать во внешней среде не только не полностью определенной, но и постоянно меняющейся. При этом процессы адаптации и обучения системы должны учитывать как динамику внешней среды, так и возможности изменения параметров и/или структуры самой интеллектуальной системы.

ВЫВОДЫ

Современные системы интеллектуального управления должны интегрировать в единое целое традиционную теорию управления, теорию искусственного интеллекта и теорию принятия решений. При этом важным фактором является преобразование концептуальных положений управления и общих принципов создания интеллектуальных систем в технологии и алгоритмы управления в конкретных предметных областях.

В работе представлены полученные результаты в таких важных направлениях, как создание методов сетецентрического управления с использованием скоростных циклов динамических прикладных процессов;

разработка алгоритмов определения областей управляемости, расчета маневров расхождения и генерации виртуальных криволинейных глиссид посадочного снижения летательных аппаратов;

исследование моделей формирования хаотических траекторий поведения системы;
создание алгоритмов интеграции и отображения моделей конфликтов при взаимодействии морских судов;
разработка методики моделирования и улучшения качества передачи данных в сети.

На данном этапе развития интеллектуального управления наиболее перспективным направлением является создание систем со специализированным интеллектом, обладающих способностью адаптации как к возможным изменениям во внешней среде, так и к модификациям характеристик управляющей системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zilouchian A., Jamshidi M. Intelligent control systems using soft computing methodologies. Boca Raton: CRC Press, 2001. 492 p. URL: https://cdn.preterhuman.net/texts/science_and_technology/artificial_intelligence/Intelligent%20Control%20Systems%20Using%20Soft%20Computing%20Methodologies%20-%20Ali%20Zilouchian.pdf.
2. Щербатов И.А. Интеллектуальное управление робототехническими системами в условиях неопределенности. *Вестник Астраханского государственного технического университета*. 2010. №1. С. 73–77. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnoe-upravlenie-robototekhnicheskimi-sistemami-v-usloviyah-neopredelennosti>.
3. Antsaklis P.J. On intelligent control: report of the IEEE CSS task force on intelligent control. *Technical report of the ISIS, group №. ISIS 94-001*. University of Notre Dame. 1994. 31p. URL: <http://www.nd.edu/~pantaskl/Publications/150-ISIS94.pdf>.
4. Albus J.S. On intelligence and its dimensions. *Technical report of the ISIS, group № ISIS 94-001*. University of Notre Dame. 1994. P. 11–13. URL: <http://www.nd.edu/~pantaskl/Publications/150-ISIS94.pdf>.
5. Antsaklis P.J. On autonomy and intelligence in control. *Technical report of the ISIS, group № ISIS 94-001*. University of Notre Dame. 1994. P. 14–18. URL: <http://www.nd.edu/~pantaskl/Publications/150-ISIS94.pdf>.
6. Meystel A. On intelligent control, learning and hierarchies. *Technical report of the ISIS group № ISIS 94-001*. University of Notre Dame, 1994, P. 14–18. URL: <http://www.nd.edu/~pantaskl/Publications/150-ISIS94.pdf>.
7. Imam I.F., Kondratoff Y. Intelligent adaptive agents: a highlight of the AAAI-96 workshop. *Artificial Intelligence*. 1997. № 18(3). P. 75–80.
8. Hess T.J., Rees L.P., Rakes T.R. Using autonomous software agents to create the next generation of decision support systems. *Decision Sciences*. 2000. Vol.31. № 1. P. 1–31.
9. Wooldridge M., Jennings N. R. Intelligent agents: theory and practice. *The Knowledge Engineering Review*. 1995. Vol. 10. №2. P. 115–152.
10. Intelligent infrastructure for the 21st century. VeriSign, Inc. Mountain View, CA, USA. 22 p. URL: <http://complianceandprivacy.com/WhitePapers/VeriSign-Intelligent-Infrastructure-for-the-21st-Century.pdf>.
11. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению. *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2001. №1. С. 5–22.
12. XII International conference on intelligent systems and control “ISC-2009”. Cambridge, 2009. URL: <http://www.allconferences.com/conferences/2008/20081208150054>.
13. Павлов В.В., Павлова С.В. Интеллектуальное управление сложными нелинейными динамическими системами: аналитика интеллекта. Киев: Наук. думка, 2015. 216 с. URL: <http://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/20254/1/Pavlov.pdf>.
14. Nonaka I., G. von Krogh. Tacit knowledge and knowledge conversion: controversy and advancement in organizational knowledge creation theory. *Organization Science*. 2009. Vol. 20. № 3. P. 635–652.
15. Павлов В.В. Начала теории эргатических систем. Киев: Наук. думка, 1975. 240 с.
16. Павлов В.В. Конфликты в технических системах. Киев: Вища школа, 1982. 184 с.

17. Павлов В.В. Синтез стратегий в человеко-машинных системах. Киев: Вища школа, 1989. 162 с.
18. Бибичиков А., Павлов В., Гриценко В., Губанов С. "Антикон" — шаг в обеспечении безопасности мореплавания. *Судоходство*. 1999. № 3. С. 42–43.
19. Способ и устройство для компьютерных сетей управления скоростными циклами прикладных процессов: пат. 83118 Украина, МПК (2006), H04L 12/66, G05B 15/02, G05B 17/00; заявл. 08.09.06; опубл. 10.06.08, Промислова власність, 2008. №11.

Получено 02.10.2016

REFERENCE

1. Zilouchian A., Jamshidi M. Intelligent control systems using soft computing methodologies. Boca Raton: CRC Press, 2001. 492 p.
2. Shtcherbatov I.A. Intelligent control of robot-technical systems in uncertainty conditions. *Bulletin of Astrakhan State Technical University*. 2010. №1. pp. 73–77 (in Russian).
3. Antsaklis P.J. On intelligent control: report of the IEEE CSS task force on intelligent control. Technical report of the ISIS group №. ISIS 94-001. University of Notre Dame. 1994. 31 p.
4. Albus J.S. On intelligence and its dimensions. *Technical report of the ISIS (Interdisciplinary studies of intelligent systems) group №. ISIS 94-001*. University of Notre Dame. 1994. P. 11–13.
5. Antsaklis P.J. On autonomy and intelligence in control. *Technical report of the ISIS group №. ISIS 94-001*. University of Notre Dame. 1994. P. 14–18.
6. Meystel A. On intelligent control, learning and hierarchies. *Technical report of the ISIS group №. ISIS 94-001*. University of Notre Dame. 1994. P. 14–18.
7. Imam I.F., Kondratoff Y. Intelligent adaptive agents: a highlight of the AAAI-96 workshop. *Artificial Intelligence*. 1997. № 18(3). P. 75–80.
8. Hess T.J., Rees L.P., Rakes T.R. Using autonomous software agents to create the next generation of decision support systems. *Decision Sciences*. 2000. Vol. 31. № 1. P. 1–31.
9. Wooldridge M., Jennings N.R. Intelligent agents: theory and practice. *The Knowledge Engineering Review*. 1995. Vol. 10. № 2. P. 115–152.
10. Intelligent infrastructure for the 21st century. VeriSign, Inc. Mountain View, CA, USA. 22 p. URL: <http://complianceandprivacy.com/WhitePapers/VeriSign-Intelligent-Infrastructure-for-the-21st-Century.pdf>
11. Vasilyev S.N. From classical automatic control problems to intelligent control. *Theory and Systems of Control*. 2001. № 1. pp. 5–22 (in Russian).
12. XII International conference on intelligent systems and control "ISC-2009". (Cambridge, 2009) URL: <http://www.allconferences.com/conferences/2008/20081208150054>.
13. Pavlov V.V., Pavlova S.V. Intelligent control of complex non-linear dynamic systems: analytics of intelligence. Kiev: Nauk. dumka, 2015. 216 p. (in Russian).
14. Nonaka I., G. von Krogh. Tacit knowledge and knowledge conversion: controversy and advancement in organizational knowledge creation theory. *Organization Science*. 2009. Vol. 20. № 3. P. 635–652.
15. Pavlov V.V. Fundamentals of ergatic systems theory. Kiev: Nauk. dumka, 1975. 240 p. (in Russian).
16. Pavlov V.V. Conflicts in engineering systems. Kiev: Vyshcha shkola, 1982. 184 p. (in Russian).
17. Pavlov V.V. Synthesis of strategies in man-machine systems. Kiev: Vyshcha shkola, 1989. 162 p (in Russian).
18. Bibichkov A., Pavlov V., Gricenko V., Gubanov S. "Anticon" — a step for the provision of navigation safety. *Navigation*. 1999. № 3. pp. 42–43 (in Russian).
19. Method and device for computer networks of control of application processes' high speed cycles: pat. 83118 Ukraine; reg. 08 September 2006 (in Russian).

Recieved 02.10.2016

В.В. Павлов, д-р техн. наук, проф., зав. відділу інтелектуального управління
Ю.М. Шепетуха, канд. техн. наук, старш. наук. співробітник,
старш. наук. співробітник відділу інтелектуального управління
e-mail: yshep@meta.ua
С.В. Мельников, канд. техн. наук, старш. наук. співробітник,
в.о. зав. відділу інтелектуального управління
e-mail: dep185@irtc.org.ua
А.Е. Волков, наук. співробітник. Відділу інтелектуального управління
e-mail: alexvolk@ukr.net
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій
та систем НАН України і МОН України, пр. Академіка Глушкова, 40,
м. Київ, 03680 ГСП, Україна

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ: ПІДХОДИ, РЕЗУЛЬТАТИ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Розглянуто поточний стан та перспективи майбутнього розвитку нового наукового напрямку — інтелектуального управління. Серед головних теоретичних та прикладних результатів у цій предметній галузі можна зазначити розробку технологій та алгоритмів керування швидкісними динамічними процесами у розподіленому комп'ютерному середовищі, структурування моделей формування хаотичної поведінки системи, створення методів поліпшення якості обміну даними між компонентами мережецентричної системи.

Ключові слова: інтелектуальне управління, ергатична система, теорія конфліктів, нелінійність, невизначеність, мережецентричність.

V.V. Pavlov, Doctor of Technics, Professor, Head of Intellectual Control Department
Y.M. Shepetukha, PhD (technics), Senior Researcher, Senior Researcher
of Intellectual Control Department
e-mail: yshep@meta.ua
S.V. Melnikov, PhD (technics), Senior Researcher,
Acting Head of Intellectual Control Department
e-mail: dep185@irtc.org.ua
A.Y. Volkov, Researcher of Intellectual Control Department
e-mail: alexvolk@ukr.net
International Research and Training Center for Information Technologies and Systems
of the NAS of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine,
av. Acad. Glushkova, 40, Kiev, 03680, Ukraine

INTELLIGENT CONTROL: APPROACHES, RESULTS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

Introduction. Intelligent control systems are advanced computerized systems aimed at the modeling and analysis of intelligent tasks as well as the support of human activity in their solving. Therefore, consideration of both conceptual and applied issues of such systems' development is an important and urgent scientific problem.

The purpose of the paper is to examine existing approaches, current state, important results and prospects for future development of such new scientific direction as intelligent control.

Methods. Artificial intelligence methods, man-machine theory, conflict resolution theory, theory of deterministic chaos, methods of decision support, methods of distributed control of non-linear applied processes.

Results. One may stress two main directions in the field of intelligent control where promising results have been achieved. The first one, related to the creation of intelligent infrastruc-

ture, includes development of methods and structures of distributed control as well as examination of non-linear applied processes in objects with variable properties. The second direction, attributed to the creation of intelligent agents, includes elaboration of methods, models and algorithms for real-time decisions related to the efficient control of dynamic objects.

Conclusion. Modern systems of intelligent control should integrate into a single unity three main components such as: traditional control methods, artificial intelligence theory and decision making approach. The main problem is the transformation of conceptual issues of intelligent systems' creation into concrete technologies and algorithms of control in specific application domains.

Keywords: *intelligent control, human-machine system, conflicts theory, non-linearity, uncertainty, net-centricity.*