

УДК 621.865.8; 382.049.77

Интеллектуальное управление в технических системах*

А.М. КОРИКОВ

Томск, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Анализируется современное состояние исследований в области искусственного интеллекта (ИИ). Отмечены дискуссионные концепции ИИ и естественного интеллекта (ЕИ) человека. Приводятся примеры определений ИИ и систем ИИ (СИИ). Среди технических систем (ТС) выделены мехатронные системы (МС) как пример ТС с ИИ. Отмечено принципиальное отличие МС от обычных ТС. Применительно к ТС особый интерес представляет определение СИИ (интеллектуальных систем управления (ИСУ)) как систем, которые действуют рационально и оптимально. Рассмотрены дискуссионные вопросы об оценке интеллектуальности ИСУ и критерии интеллектуальности ИСУ. Аналогом коэффициента интеллектуальности IQ – *intelligence quotient* ЕИ человека для ИСУ является AIQ. Интеллектуальность ИСУ определяется их сложностью и разнообразием. Структура ИСУ является многоуровневой и иерархической, что породило понятия «уровень интеллектуальности» и степени интеллектуальности «в малом», «в большом» и «в целом». Проведен критический анализ этих понятий. Отмечена возможность единого подхода к проведению исследований по комплексной автоматизации и роботизации транспортных и технологических процессов (ТП) на основе оптимизационного подхода. Сложные оптимизационные системы управления (ОСУ) ТП удовлетворяют определению ИСУ как систем, действующих рационально и оптимально. Рассмотрена обобщенная структурная схема ОСУ. Предложена формализация задач исследования ОСУ в виде иерархии экстремальных задач, обсуждены пути их решения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, технические системы, мехатронные системы, критерии интеллектуальности, системы управления, сложность, разнообразие, рациональность, комплексная автоматизация, оптимизация.

ВВЕДЕНИЕ

Искусственный интеллект (ИИ) – это одна из новейших и обширнейших областей науки и техники. В [1] отмечается, что в ИИ «систематизируются и автоматизируются интеллектуальные задачи, и поэтому эта область касается любой сферы интеллектуальной деятельности человека. В этом смысле искусственный интеллект является поистине универсальной научной областью». Работы в области ИИ начались после второй мировой войны, а само понятие ИИ (*Artificial Intelligence*) было предложено Дж. Маккарти в 1956 г. на семинаре с таким же названием в Дартмутском колледже (США). За прошедшие 58 лет ИИ стал особой областью знания. Существуют специальные научные организации, координирующие исследования по различным направлениям ИИ, издается несколько научных журналов, проводятся международные научные конференции. Практически в любом научном журнале и в материалах многих научных конференций встречаются публикации по тематике ИИ. Дискуссии по проблемам ИИ и естественного интеллекта (ЕИ) ведутся уже несколько десятилетий. Ярким примером подобной полемики является книга [2], в которой известный английский астрофизик Р. Пенроуз выдвигает интересные концепции, объясняющие работу ЕИ и ИИ, а другие не менее известные английские ученые А. Шимони, Н. Картрайт и С. Хокинг критикуют концепции Р. Пенроуза. Кстати, перу Р. Пенроуза принадлежат две известные книги по проблемам ЕИ и ИИ: «Новый разум короля» (1989 г.) и «Тени разума» (1994 г.). В основе многих дискуссий по проблемам ЕИ и ИИ, в том числе и полемики, изложенной в [2], лежит теорема Гёделя о неполноте формальных систем. В [1] отмечается, что споры вокруг теоремы Гёделя продолжались несколько десятилетий и породили огромное количество литературы, в том числе две вышеупомянутые

* Статья получена 17 декабря 2013 г.

Исследование поддержано проектом 7.701.2011 (НИР 1/12 темплана ТУСУРа) по госзаданию Министерства образования и науки.

книги Р. Пенроуза, «повторившего это утверждение с некоторыми новыми выкрутасами (такими как гипотеза, согласно которой человек отличается от машины, поскольку его мозг действует на основе квантовой гравитации)». Эта цитата из [1] характеризует остроту дискуссий по проблемам ЕИ и ИИ. Автор данной статьи участвовал в работе шестой Всероссийской мультikonференции по проблемам управления [3], на которой состоялась дискуссия (круглый стол) по проблемам ИИ. В ходе этой дискуссии также возникла жесткая полемика вокруг радикальных идей Р. Пенроуза. В настоящей статье не делается попытка «объять необъятное» в обозначенной обширной области ИИ. Мы попытаемся рассмотреть развитие ИИ в технике, в частности, в робототехнике и мехатронике. Понятие ИИ в технической литературе [4] трактуется широко и неоднозначно. Из технических приложений ИИ обратим особое внимание на мехатронику, так как мехатронные системы (МС) по определениям ФГОС [4,5] и IFToMM [5] обладают элементами ИИ.

Среди многочисленных определений ИИ отметим определение, данное в [1]: «Искусственный интеллект можно определить как свойство ЭВМ или сети нейроноподобных элементов реагировать на информацию, поступающую на ее входные устройства, почти так же, как реагирует в тех же информационных условиях человек». В цитируемой монографии ИИ определяется как наука об агентах, получающих из своей среды результаты актов восприятия и выполняющих соответствующие действия, и отмечается, что интенсивные исследования в области ИИ проводятся по следующим четырем направлениям: ИИ – системы, которые (1) думают подобно людям; (2) действуют подобно людям; (3) думают рационально; (4) действуют рационально. Известные примеры практических приложений ИИ в технике относятся к четвертому направлению ИИ. То есть применительно к техническим системам (ТС) особый интерес представляет определение СИИ как систем, которые действуют рационально. СИИ является рациональной, если она «все действия выполняет правильно», при условии, что СИИ обладает знаниями о том, что является правильным [1]. Приоритет по созданию правильных алгоритмов мышления и действия принадлежит греческому философу Аристотелю. Алгоритм Аристотеля был реализован через 2300 лет Ньюэллом и Саймоном в программе GPS [1]. Среди отечественных разработок систем ИИ (СИИ) отметим исследование [6], в котором СИИ и думают, и действуют подобно людям. Если поддерживать классификацию определений ИИ, данную в [1], то направление исследований, изложенное в [6], не вписывается в классификацию, предложенную в [1], поэтому направление исследований [6] следовало бы именовать пятым направлением развития ИИ. В [6] предлагаются оригинальные понятия автономного интеллекта (АИ) и автономного искусственного интеллекта (АИИ), базирующиеся на принципах естественного управления. АИ (АИИ) определяется в [6] как способность автономного объекта (автономного искусственного объекта) принимать решения, соответствующие целевым функциям естественного управления. Решения принимаются на основе базы знаний, аппарата эмоций и эмоциональных оценок, сложившихся в предыстории данного объекта.

Обратимся к понятию МС [4]. Каждая область применения МС вносит свою специфику в определение МС. В любой МС укрупнено можно выделить три основные части: механическую (физическую), электронную и компьютерную (информационную). Синергетическое объединение этих частей образует систему в целом. В основе построения МС заложен принцип глубокой взаимосвязи механических, электронных и компьютерных частей (элементов), объединенных энергетическими и информационными потоками. Этот принцип необходимо поддерживать путем выбора мехатронных элементов на этапах моделирования и проектирования МС и технологической поддержкой на следующих этапах создания, производства и эксплуатации МС. Только тогда возможно появление нового качества МС и принципиального отличия МС от обычных ТС, в которых тоже могут объединяться разнородные механические, электронные и компьютерные (информационно-управляющие) устройства от различных производителей. Человечеством создано великое разнообразие ТС, и многие из них могут быть отнесены к классу «машин различной физической природы с компьютерным управлением движением, отличающихся специальными разнородными техническими связями» [4]. Означает ли это, что все машины, удовлетворяющие данному определению, являются МС или ТС с ИИ? Ответ следует положительный, если эти машины обладают новым качеством, порождаемым синергией механических, электронных и компьютерных частей (элементов) МС (ТС) и

элементами ИИ. Возникают вопросы об оценке нового качества и о показателях качества МС (ТС с ИИ). Возникает также вопрос о сути принципиального отличия ТС с ИИ, в том числе, ТС с интеллектуальным управлением (ТС с ИУ) от обычных систем. Искомая суть может быть в том, что синергия порождает в МС (ТС с ИУ) новое качество, свойственное системам ИИ. То есть МС (ТС с ИУ) становится в какой-то мере СИИ. Можно ли определить эту меру? Как отвечает на данный вопрос теория СИИ? В нашей статье [4] сделана попытка ответить на поставленные вопросы для МС. В данной статье попытаемся ответить на эти же вопросы, но применительно к более обширному классу ТС с ИУ.

1. ОБ ОЦЕНКАХ СТЕПЕНИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОСТИ СИИ

Рассматриваемые системы относятся к обширному классу сложных систем, комплекс методологических подходов к исследованию которых предлагается общей теорией систем [7,8]. С позиций системного подхода ИИ является моделью ЕИ. Для ИИ как модели естественной системы ЕИ важен следующий гносеологический принцип: *адекватное представление естественной системы возможно лишь через систему, сравнимую с ней по сложности* [7, с. 104]. Если принять за аксиому утверждение о том, что «мозг человека: самая сложная структура во Вселенной», которое не подвергается сомнению в известной литературе и средствах массовой информации [9], то вполне понятны безуспешные попытки создания ИИ адекватного ЕИ человека. Однако для технических приложений ИИ ситуация не столь безнадежна, так как в данных приложениях, как правило, СИИ рассматриваются как системы, которые действуют рационально, что соответствует четвертому направлению развития ИИ [1]. Для технических приложений ИИ представляют интерес понятия «уровень» и «степень» интеллектуальности СИИ. Анализ этих понятий и их соотношение с понятиями «адаптация», «интеллектуальность» для МС изложены нами в [4].

Известные оценки степени (уровня) ЕИ человека базируются на системах тестов, по которым определяется коэффициент интеллектуальности IQ – *intelligence quotient*. В основе тестов для оценки IQ лежит предположение о существовании в человеке особых ментальных структур, умственных способностей, которые и отражает понятие «интеллект». Тесты для оценки IQ успешно используются во многих странах мира для самых разнообразных целей. Известны попытки использования аналогов коэффициента интеллектуальности IQ (AIQ) для оценки уровня интеллектуальности СИИ [10]. Известно, что IQ (AIQ для СИИ) пропорционален разнообразию (сложности) задач (тестов, проблем), решаемых человеком (СИИ). Отсюда и из закона «необходимого разнообразия» [11] следуют выводы, полученные нами в [4]:

- СИИ, обладающая большим разнообразием методов, алгоритмов и средств решения проблемы (управления объектом), имеет большую степень интеллектуальности (большой AIQ). Структура такой СИИ является сложной, многоуровневой и многоконтурной;

- СИИ, обладающая большим разнообразием на верхних уровнях и, соответственно, имеющая большую степень интеллектуальности на этих уровнях, должна иметь ограниченное разнообразие на нижних уровнях (ограничение по степени интеллектуальности), что обеспечивает автоматизм исполнения, высокую точность и быстродействие.

Иерархическая структура СИИ соответствует базовому принципу, который считается в теории интеллектуальных систем фундаментальным. Принцип имеет аббревиатуру IPDI (Increasing Precision with Decreasing Intelligence) и сформулирован американским ученым Дж. Саридисом в [12] и означает, что по мере продвижения к высшим уровням иерархической структуры СИИ повышается интеллектуальность системы, но снижается ее точность, и наоборот. Основной прикладной областью ИИ стала разработка интеллектуальных систем управления (ИСУ), в которых управляющие воздействия формируются с использованием современных информационных технологий и базы знаний [4,13,14]. Для ИСУ принцип IPDI можно сформулировать конкретнее: точность управления тем выше, чем меньше интеллектуальность уровня ИСУ, и наоборот, точность управления тем ниже, чем выше интеллектуальность данного уровня иерархии ИСУ. То есть оценки степени (уровня) интеллектуальности системы определяются сложностью многоуровневой иерархической структуры ИСУ (СИИ).

На основе отмеченной иерархии в [13] предложены понятия «уровень» и «степень» интеллектуальности ИСУ. Система имеет слои обработки неопределенной информации: интерактивный человеко-машинный диалог; прогноз событий; самообучение и адаптация; работа с базами событий, знаний и формирование решений; исполнительный. Понятие «степень интеллектуальности» вводится в [13] по аналогии с понятием «устойчивость» систем автоматического управления (САУ): степень интеллектуальности определяется «в малом», «в большом» и «в целом». В первом случае функционирование ограничено двумя нижними, во втором – тремя, а в третьем – всеми пятью слоями интеллектуальности. В [4] отмечены «плюсы» и «минусы» данной аналогии. «Плюсы» аналогии очевидны, а «минус» состоит в том, что для нелинейных САУ устойчивость режима работы (состояния равновесия) «в большом» не означает, что она будет обладать и свойством устойчивости «в малом». Отметим, что понятие «интеллектуальность в малом» совпадает по сути с понятием «интеллектность» [4, 15]. Приведенный в [4] обзор известных подходов к определению терминов «уровень» и «степень» интеллектуальности ИСУ свидетельствует о том, что терминологический аппарат ИСУ развивается. Для ИСУ представляет интерес классификация автономного интеллекта и автономного искусственного интеллекта (АИ и АИИ), предложенная в [6, с. 261–262]:

- АИ (АИИ), осуществляющее управляемое взаимодействие с внешней средой (УВ), называется АИ (АИИ) 1-го рода;
- АИ (АИИ), осуществляющее УВ с моделированием, называется АИ (АИИ) 2-го рода;
- АИ (АИИ), реализующий внешний язык, называется АИ (АИИ) 3-го рода;
- АИ (АИИ), реализующий внутренний язык, называется АИ (АИИ) 4-го рода;
- АИ (АИИ), реализующий взаимосвязано внешний и внутренний языки, называется АИ (АИИ) 5-го рода.

Терминологический аппарат ИСУ развивается, рождаются новые понятия: подчиненный интеллект [6], диффузный интеллект [16] и др.

2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТП

В нашем обзоре [17] анализируется литература, посвященная исследованиям по адаптивным и интеллектуальным системам управления в робототехнике, навигации и автоматизации транспортных и технологических процессов (ТП) на основе оптимизационного подхода. С позиций современного подхода к ИИ [1] оптимизационные системы управления (ОСУ), рассмотренные в данном обзоре и представленные обобщенной структурной схемой на рис. 1, удовлетворяют определению СИИ (ИСУ) как систем, которые действуют рационально. О понятии «рациональность» выше дано краткое пояснение. Из этого пояснения следует, что рациональность воплощена в известных методиках системного анализа [8]. В [1] рассматриваются четыре возможных варианта рациональности: идеальная рациональность, вычислительная рациональность, ограниченная рациональность и ограниченная оптимальность. Достоинства и недостатки этих вариантов обсуждаются в [1]. Согласимся с аргументами авторов в пользу ограниченной оптимальности и её развития – асимптотической ограниченной оптимальности. Это предпочтение совпадает с нашим выбором в [17], который базируется на нашей работе [18].

Обоснованием обобщенной структурной схемы ОСУ, представленной на рис. 1, является то, что из множества математических методов при исследовании и разработке робототехнических систем, автоматизированных и автоматических систем управления различными объектами особенно широко применяются методы оптимизации. При комплексной автоматизации производства необходимо рассмотрение вопросов автоматизации и роботизации транспортных и технологических процессов с единых позиций. Это единство гарантируется применением оптимизационного подхода в силу его универсальности. На базе оптимизационного подхода разработаны и продолжают разрабатываться новые принципы построения, исследования и расчета различных систем. Для нас особый интерес представляют оптимизационные системы управления, в которых в процессе определения координат движения и выработки управляющих воздействий решаются экстремальные задачи. При этом применение оптимизационного подхода обусловлено либо физическим смыслом решаемых задач, например, имеется экстре-

мальная зависимость выхода управляемого объекта от его входов или планируется оптимальный в определенном смысле маршрут движения объекта навигации по карте местности, либо методы оптимизации привлекаются для подстройки параметров моделей, необходимых для функционирования разрабатываемых систем навигации и управления.

В схему на рис. 1 может быть вписан широкий класс оптимизационных систем: навигации и управления автономными подвижными объектами (роботами), радионавигации, управления инерционными технологическими процессами и очувствления промышленных роботов. В основе функционирования перечисленных систем лежит экстремальный принцип, состоящий в том, что некоторая характеристика состояния, движения или структуры системы принимает минимальное или максимальное значение.

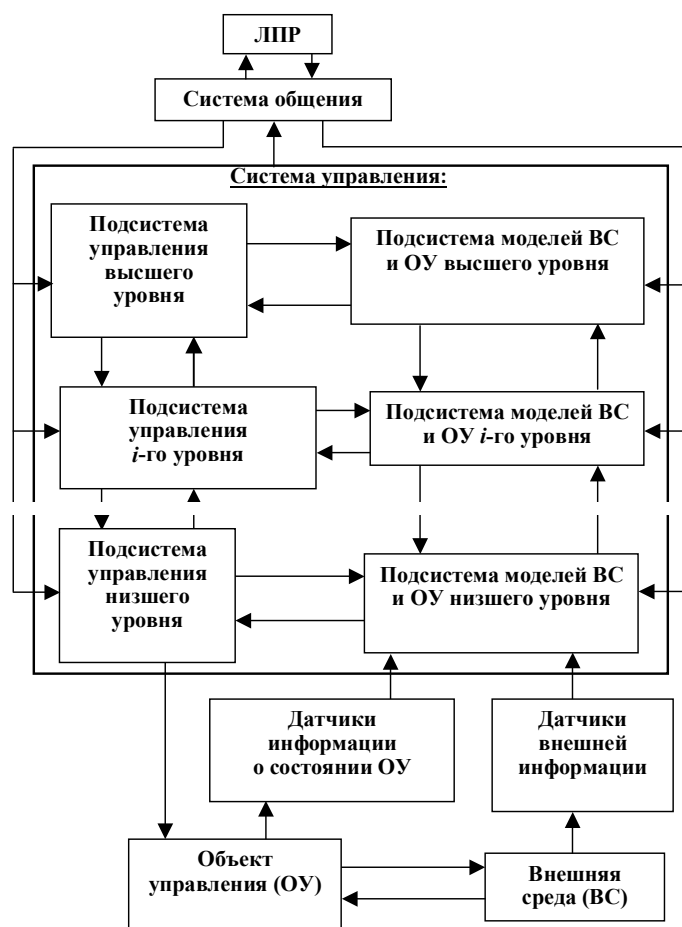


Рис. 1. Обобщенная структура ОСУ

Из обобщенной структурной схемы на рис. 1 как частные случаи могут быть получены следующие системы управления:

- адаптивные и интеллектуальные системы навигации и управления транспортными роботами (СНУТР), объект управления – исполнительные приводы и устройства передвижения транспортных роботов;
- адаптивные и интеллектуальные системы управления манипуляционными роботами (СУМР), объект управления – исполнительные приводы и рабочие механизмы манипуляционных роботов;
- автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), объект управления – технологические процессы или транспортные средства;

• автоматизированные и роботизированные системы управления ТП (АРСУ ТП), объект управления – ТП и роботы.

Далее рассмотрим системы управления, которым соответствуют трехуровневые, двухуровневые и одноуровневые системы управления, т. е. ограничимся рассмотрением трех уровней в системе управления, представленной на рис.1. На всех уровнях рассматриваемых иерархических систем управления принятие решений (формирование плана для нижнего по иерархии уровня) может осуществляться путем решения экстремальных задач разных типов.

Для формализации общей постановки задачи введем следующие множества: X_{BC} – множество состояний внешней среды (ВС), взаимодействующих с объектом управления (ОУ); X_{OU} – множество состояний ОУ; X_{CU} – множество состояний изменяемых частей моделей ВС и ОУ, входящих в состав системы управления. В число ОУ входят также исполнительные органы роботов, взаимодействующих с ВС и изменяющих ее при своем функционировании, поэтому в общем случае пространство состояний исследуемой системы представляет собой декартово произведение перечисленных множеств.

Известно, что при функционировании любая система переходит из одного состояния в другое по некоторой траектории в пространстве состояний:

$$\bar{x}(\bar{c}, \bar{u}, t) = [\bar{x}_{BC}(\bar{c}, t), \bar{x}_{OU}(\bar{u}, t), \bar{x}_{CU}(\bar{x}_{OU}, t)].$$

Здесь $\bar{u}$ – вектор (кортеж) управляющих воздействий, а через $\bar{c}$ обозначен вектор (кортеж) параметров моделей системы управления. В рассматриваемом случае $\bar{c} = (\bar{c}_B, \bar{c}_C, \bar{c}_H)$, т. е. его компонентами являются векторы (кортежи) параметров подсистем моделей высшего, среднего и низшего уровней ОСУ соответственно. Вектор (кортеж) состояния ОСУ состоит из следующих векторных компонентов: $\bar{x}_{CU} \in X_{CU}, \dots, \bar{x}_{OU} \in X_{OU}, \dots, \bar{x}_{BC} \in X_{BC}$.

Для оценки качества функционирования системы задаются целевые функции $F_i (i = 1, 2, \dots, n)$ и ограничения $H_j (j = 1, 2, \dots, m)$ на множестве траекторий ОСУ в пространстве состояний. Таким образом, имеем постановку следующей экстремальной задачи:

$$J \{F_1[\bar{x}(\bar{c}, \bar{u}, t)], \dots, F_n[\bar{x}(\bar{c}, \bar{u}, t)]\} \rightarrow \underset{\bar{x}, \bar{c}, \bar{u}}{\text{extr}},$$

$$H_j[\bar{x}(\bar{c}, \bar{u}, t)] \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n).$$

Формально данная постановка задачи является вполне обычной задачей на поиск экстремума функционала J при ограничениях H_j . Однако при решении конкретных задач возникают проблемы из-за размерности задачи, ее многоэкстремальности, априорной неопределенности и т. п. В наших работах [17–23] рассмотрены возможные пути решения подобных задач. Упомянутые проблемы размерности, многоэкстремальности и априорной неопределенности сложных задач комплексной автоматизации транспортных и технологических процессов в результате декомпозиции по схеме, представленной на рис. 1 и конкретизированной в работах [19–23], переводятся в категорию трудных, но вполне решаемых современными вычислительными средствами задач. К настоящему времени разработан обширный спектр методов, алгоритмов и программных средств решения названных трудных задач. Возможные подходы к их решению рассмотрены в [17, 24, 25]. С позиций современного подхода к ИИ [1] ОСУ, рассмотренные в данной статье и представленные обобщенной структурной схемой на рис. 1, удовлетворяют определению СИИ как систем, которые действуют рационально и оптимально. То есть ОСУ вполне соответствуют четвертому направлению развития ИИ [1]. Здесь уместно процитировать Я.З. Цыпкина [26]: «лозунг современной теории управления: оптимизировать все, что оптимизируется, а что не оптимизируется, сделать оптимизируемым». Несмотря на прошедшие 32 года после опубликования цитируемой работы этот лозунг звучит вполне современно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спектр исследований в области ИИ в настоящее время чрезвычайно обширен. Среди фундаментальных трудов по ИИ отметим монографии [1, 6, 15] как интересные для технических приложений ИИ. Вопросы интеллектуальности систем ИИ являются дискуссионными, и в этой связи нами рассмотрены критерии интеллектуальности СИИ (ИСУ). Оценки интеллектуальности СИИ (ИСУ) – связаны с их сложностью и разнообразием. Применительно к ТС особый интерес представляет определение СИИ (ИСУ) как систем, которые действуют рационально и оптимально [1]. Именно с этих позиций рассмотрены наши исследования по комплексной автоматизации и роботизации транспортных и технологических процессов. С позиций современного подхода к ИИ [1] сложные оптимизационные системы управления удовлетворяют определению ИСУ как систем, которые действуют рационально и оптимально. То есть ОСУ вполне соответствуют четвертому направлению развития ИИ [1]. В рамках этого направления развиваются многие технические приложения ИИ. В качестве примера отметим исследование [27].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – М.: Вильямс, 2006. – 1408 с.
- [2] Хокинг С. Большое, малое и человеческий разум: пер. с англ. / Р. Пенроуз, А. Шимони, Н. Картрайт, С. Хокинг – СПб.: ТИД Амфора, 2013. – 191 с.
- [3] Шестая Всероссийской мультikonференции по проблемам управления (30 сентября – 5 октября 2013 г.) // Материалы мультikonференции: в 4 т. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. – Т. 1. – 178 с.; Т. 2. – 228 с.; Т. 3. – 232 с.; Т. 4. – 250 с.
- [4] Кориков А.М. Еще раз о мехатронике как науке / А.М. Кориков // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 5. – С. 2–8.
- [5] Шалобаев Е.В. О рекомендациях IFToMM по терминологии в области мехатроники / Е.В. Шалобаев, Р.Т. Толочка // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – № 2. – С. 2–5.
- [6] Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект / А.А. Жданов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 359 с.
- [7] Шрейдер Ю.А. Системы и модели / Ю.А. Шрейдер, А.А. Шаров. – М.: Радио и связь, 1982. – 152 с.
- [8] Кориков А.М. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие / А.М. Кориков, С.Н. Павлов. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 288 с.
- [9] Мозг человека: самая сложная структура во Вселенной [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://finam.fm/archive-view/5727/>, свободный (дата обращения: 05.02.2014).
- [10] Толковый словарь по искусственному интеллекту / Сост. А.Н. Аверкин, М.Г. Газе-Рапопорт, Д.А. Поспелов. – М.: Радио и связь, 1999. – 256 с.
- [11] Эшби У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: ИЛ, 1959. – 432 с.
- [12] Saridis G.N. Analytical formulation of the principle of increasing precision with decreasing intelligence for intelligent machines / G.N. Saridis // Automatica. – 1989. – Vol. 25. – № 3. – P. 157–180.
- [13] Лохин В.М. Интеллектуальные системы управления: понятия, определения, принципы построения / В.М. Лохин, В.Н. Захаров // Мехатроника. – 2001. – № 2. – С. 27–35.
- [14] Кориков А.М. Основы теории управления: учеб. пособие. 2-е изд. / А.М. Кориков. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 392 с.
- [15] Васильев С.Н. Интеллектуальное управление динамическими системами / С.Н. Васильев, А.К. Жарков, Е.А. Федосов, Б.Е. Федун. – М.: Физматлит, 2000. – 352 с.
- [16] Сергеев С.Ф. Интеллектуальные симбиоты организованных техногенных средств управления подвижными объектами / С.Ф. Сергеев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – № 9. – С. 30–36.
- [17] Кориков А.М. Оптимизационные системы навигации и управления (обзор) / А.М. Кориков. – Томск: ТАСУР, Деп. в ВИНТИ 16.05.94, №1211-B94, 1994. – 59 с.
- [18] Кориков А.М. Вопросы теории и алгоритмического обеспечения оптимизационных систем управления роботами и технологическими процессами / А.М. Кориков // III Всесоюзное совещание по робототехническим системам: Тезисы докладов, часть IV. – Воронеж: Изд-во Воронежского политехнич. ин-та, 1984. – С. 140–142.
- [19] Тарасенко В.П. Робот – штурман / В.П. Тарасенко, А.М. Кориков // Наука и жизнь. – 1980. – № 7. – С. 84–90.
- [20] Кориков А.М. Управление транспортным роботом при движении по дорогам / А.М. Кориков, В.Г. Резник // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1981. – № 1. – С. 59–66.
- [21] Горитов А.Н. Оптимальность в задачах проектирования и управления роботами / А.Н. Горитов, А.М. Кориков // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 7. – С. 82–90.
- [22] Горитов А.Н. Моделирование адаптивных мехатронных систем / А.Н. Горитов, А.М. Кориков. – Томск: В-Спектр, 2007. – 350 с.

- [23] **Ильин В.А.** Моделирование поведения подвижного робота в неизвестной внешней среде / В.А. Ильин, Т.Р. Ильина, А.М. Кориков // *Электронное моделирование*. – 1984. – № 4. – С. 84–89.
- [24] **Денисов В.И.** Построение оптимальных планов экспериментов в задачах идентификации стохастических линейных непрерывно-дискретных систем / В.И. Денисов, В.М. Чубич, Д.И. Бобылева // *Научный вестник НГТУ*. – 2006. – № 4 (25). – С. 25–43.
- [25] **Хабаров В.И.** Комплексное моделирование организационно-технических систем как способ представления корпоративных знаний / В.И. Хабаров, Е.Б. Тарасов // *Научный вестник НГТУ*. – 2007. – № 4 (29). – С. 191–196.
- [26] **Цыпкин Я.З.** Оптимальность в задачах и методах современной теории управления / Я.З. Цыпкин // *Вестник АН СССР*. – 1982. – № 9. – С. 116–121.
- [27] **Манько С.В.** Перспективы создания и пути разработки автономного электромобиля для городских условий на основе применения интеллектуальных технологий управления / С.В. Манько, С.А.К. Диане // *Мехатроника, автоматизация, управление*. – 2013. – № 12. – С. 46–52.

REFERENCES

- [1] **Rassel S., Norvig P.** *Iskusstvennyi intellekt: sovremennyyi podkhod*. [Artificial Intelligence: A Modern Approach]. Moscow, Vil'iams, 2006, 1408 p.
- [2] Bol'shoe, maloe i chelovecheskii razum / R. Penrouz, A. Shimoni, N. Kartrait, S. Khoking: per. s angl. [Roger Penrose with Abner Shimony, Nancy Cartwright and Stephen Hawking. The Large, the Small and the Human Mind. Cambridge University Press, 1997]. St. Petersburg, TID Amfora, 2013, 191 p.
- [3] Shestaia Vserossiiskoi multikonferentsii po problemam upravleniia (30 sentiabria – 5 oktiabria 2013 g.) [The sixth All-Russian multiconference on management problems (on September 30 – on October 5, 2013)]. Materialy multikonferentsii: v 4 t. [Multiconference materials: in 4 v.]. Rostov-na-Donu: Izd-vo IuFU, 2013, vol. 1, 178 p.; vol. 2, 228 p.; vol. 3, 232 p.; vol. 4, 250 p.
- [4] **Korikov A.M.** Eshche raz o mekhatronike kak nauke [Once Again of Mechatronics as a Science]. *Mekhatronika, avtomatizatsiia, upravlenie*, 2011, no. 5, pp. 2–8.
- [5] **Shalobaev E.V., Tolochka R.T.** O rekomendatsiiakh IFToMM po terminologii v oblasti mekhatroniki [About Recommendations about Terminology in the Field of Mechatronics]. *Mekhatronika, avtomatizatsiia, upravlenie*, 2013, no. 2, pp. 2–5.
- [6] **Zhdanov A.A.** Avtonomnyi iskusstvennyi intellekt [Autonomous artificial intelligence]. Moscow: BINOM. Laboratoriia znaniia, 2013, 359 p.
- [7] **Shreider Iu.A., Sharov A.A.** Sistemy i modeli [Systems and models]. Moscow: Radio i sviaz', 1982, 152 p.
- [8] **Korikov A.M., Pavlov S.N.** Teoriia sistem i sistemnyi analiz [Theory of systems and system analysis]. Moscow: INFRA-M, 2014, 288 p.
- [9] Mozg cheloveka: samaia slozhnaia struktura vo Vselei [Brain of the person: the most difficult structure in the Universe]: <http://finam.fm/archive-view/5727/> (accessed 5 February 2014).
- [10] Tolkovyi slovar' po iskusstvennomu intellektu [The explanatory dictionary on artificial intelligence]. Moscow: Radio i sviaz', 1999, 256 p.
- [11] **Eshbi U.R.** Vvedenie v kibernetiku [Introduction in cybernetics]. Moscow: IL, 1959, 432 p.
- [12] **Saridis G.N.** Analytical formulation of the principle of increasing precision with decreasing intelligence for intelligent machines. *Automatica*, 1989, vol. 25, no. 3, pp. 157–180.
- [13] **Lokhin V.M., Zakharov V.N.** Intellektual'nye sistemy upravleniia: poniatii, opredeleniia, printsipy postroeniia [Intellectual control systems: concepts, definitions, principles of construction]. *Mekhatronika*, 2001, no. 2, pp. 27–35.
- [14] **Korikov A.M.** Osnovy teorii upravleniia [Bases of the theory of management]. Tomsk, Izd-vo NTL, 2002, 392 p.
- [15] **Vasil'ev S.N.** Intellektnoe upravlenie dinamicheskimi sistemami [Intellectual management of dynamic systems] / S.N. Vasil'ev, A.K. Zharkov, E.A. Fedosov, B.E. Fedunov. Moscow, Fizmatlit, 2000, 352 p.
- [16] **Sergeev S.F.** Intellektnye simbioty organizovannykh tekhnogennykh sredstv upravleniia podvizhnymi ob'ektami [Intellect's Symbiotes Organized by Technogenic Environments in the Management of Mobile]. *Mekhatronika, avtomatizatsiia, upravlenie*, 2013, no. 9, pp. 30–36.
- [17] **Korikov A.M.** Optimizatsionnye sistemy navigatsii i upravleniia (obzor) [Optimizing systems of navigation and management (review)]. Tomsk, TASUR, Dep. v VINITI 16.05.94, no. 1211, vol. 94, 1994, 59 p.
- [18] **Korikov A.M.** Voprosy teorii i algoritmicheskogo obespecheniia optimizatsionnykh sistem upravleniia robotami i tekhnologicheskimi protsessami [Questions of the theory and algorithmic providing optimizing control systems with robots and technological processes]. III Vsesoiuznoe soveshchanie po robototekhnicheskimi sistemam: Tezisy dokladov, chast' IV [III All-Union meeting on robotic systems: Theses of reports, part IV]. Voronezh: Izd-vo Voronezhskogo politekhnich. in-ta, 1984, pp. 140–142.
- [19] **Tarascenko V.P., Korikov A.M.** Robot – shturman [The robot – the navigator]. *Nauka i zhizn'*, 1980, no. 7, pp. 84–90.
- [20] **Korikov A.M., Reznik V.G.** Upravlenie transportnym robotom pri dvizhenii po dorogam [Control of the transport robot at movement on roads]. *Izv. AN SSSR. Tekhnicheskai kibernetika*, 1981, no. 1, pp. 59–66.
- [21] **Goritov A.N., Korikov A.M.** Optimal'nost' v zadachakh proektirovaniia i upravleniia robotami [Optimality in problems of design and control of robots]. *Avtomatika i telemekhanika*, 2001, no. 7, pp. 82–90.
- [22] **Goritov A.N., Korikov A.M.** Modelirovanie adaptivnykh mekhatronnykh sistem [Modeling adaptive mechatronic systems]. Tomsk, V-Spektr, 2007, 350 p.

- [23] **Il'in V.A., Il'ina T.R., Korikov A.M.** Modelirovanie povedeniia podvizhnogo robota v neizvestnoi vneshnei srede [Modeling of behavior of the mobile robot in unknown environment]. *Elektronnoe modelirovanie*, 1984, no. 4. pp. 84–89.
- [24] **Denisov V.I.** Postroenie optimal'nykh planov eksperimentov v zadachakh identifikatsii stokhasticheskikh lineinykh nepreryvno-diskretnykh sistem [Creation of optimum plans of experiments in problems of identification of stochastic linear continuous and discrete systems] / V.I. Denisov, V.M. Chubich, D.I. Bobyleva. *Nauch. vestnik NGTU*, 2006, no. 4 (25), pp. 25–43.
- [25] **Khabarov V.I., Tarasov E.B.** Kompleksnoe modelirovanie organizatsionno-tekhnicheskikh sistem kak sposob predstavleniia korporativnykh znaniy [Complex modeling of organizational and technical systems as way of representation of corporate knowledge]. *Nauch. vestnik NGTU*, 2007, no. 4 (29), pp. 191–196.
- [26] **Tsyppin Ia.Z.** Optimal'nost' v zadachakh i metodakh sovremennoi teorii upravleniia [Optimality in tasks and methods of the modern theory of management]. *Vestnik AN SSSR*, 1982, no. 9, pp. 116–121.
- [27] **Man'ko S.V., Diane S.A.K.** Perspektivy sozdaniia i puti razrabotki avtonomnogo elektromobilia dlia gorodskikh uslovii na osnove primeneniia intellektual'nykh tekhnologii upravleniia [Perspectives of Creation and Pathways to Development of Autonomous Electric Cars for Urban Conditions Based on Complex Use of Intellectual Control Technologies]. *Mekhatronika, avtomatizatsiia, upravlenie*, 2013, no. 12, pp. 46–52.

Кориков Анатолий Михайлович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик МАН ВШ и МАИ, заведующий кафедрой автоматизированных систем управления Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), профессор НИ ТПУ. Основное направление научных исследований – автоматизация и оптимизация систем обработки информации и управления. Имеет более 300 научных публикаций, в том числе 10 монографий. E-mail: korikov@asu.tusur.ru.

A.M. Korikov

Intellectual management in technical systems

The current state of research in artificial intelligence (AI). Marked discussion of the concept of AI and natural intelligence (NI) man. Are examples of definitions of AI and AI systems (AIS). Among the technical systems (TS) allocated mechatronic systems (MS) as an example of TS AI. Noted a fundamental difference from conventional MS TS. With respect to TC special interest in determining the AIS (Intelligent Control Systems (ICS)) as systems that operate efficiently and optimally. Considered controversial questions on the assessment of intelligence and criteria intelligence ISU. Analogue intelligence quotient IQ NI human ICS is AIQ. ICS intelligence is determined by their complexity and variety. ICS is a multilevel structure and hierarchy that gave rise to the concept of «level of intelligence» and the degree of intelligence «in the small», «in the large» and «in general.» A critical analysis of these concepts. The possibility of a unified approach to research on complex automation and robotization transport and the technological processes (TP) based on the optimization approach. Complicated optimization control system (OCS) TP meet the definition as ICS systems operating efficiently and optimally. A generalized block diagram of OCS. The formalization of research problems OCS as a hierarchy of extremal problems, discussed ways to solve them.

Key words: artificial intelligence, criteria of intellectuality, control system, complexity, variety, rationality, technical systems, complex automation, optimization.