

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА. Ч. 1: КРЕАТИВНЫЙ КОГНИТИВНЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС – СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ АЛЬЯНСА СОТРУДНИЧЕСТВА «КОЛЛЕДЖ – УНИВЕРСИТЕТ – КОМПАНИЯ – РЫНОК»

Ульянов Сергей Викторович

*Доктор физико-математических наук, профессор;
ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»,
Институт системного анализа и управления;
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;
e-mail: ulyanovsv@mail.ru.*

Кратко обсуждаются основы методологии (up – down – up) автора разработки и примеры ИТ образовательного процесса в интеллектуальной робототехнике.

Ключевые слова: ИТ проектирования, интеллектуальная робототехника, креативные образовательные процессы, альянс сотрудничества

INTELLIGENT ROBOTICS. PT. 1: CREATIVE COGNITIVE EDUCATION PROCESS DESIGN – SYNERGETIC EFFECTS DEVELOPED THROUGH «COLLEGE – UNIVERSITY – COMPANY – MARKET» COOPERATION

Ulyanov Sergey

*Doctor of Science in Physics and Mathematics, professor;
Dubna State University,
Institute of the system analysis and management;
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;
e-mail: ulyanovsv@mail.ru.*

The background of design methodology (up – down – up) and examples of education processes IT in intelligent robotics briefly is discussed.

Keywords: ИТ проектирования, интеллектуальная робототехника, креативные образовательные процессы, альянс сотрудничества.

Введение

Введение в РФ преподавания и чтения курса лекций «Робототехника» в общеобразовательной школе и колледже, а также расширение занимательных дополнительных внеклассных занятий по конструированию и увеличение олимпиад по робототехнике без подготовленной научно-технической базы привело к социальному перекосу в качестве преподавания и подготовке квалифицированных специалистов. Такой эффект объясняется отсутствием квалифицированных преподавателей-специалистов и соответствующего материально – технического базиса, что приводит к искажению смыслового содержания процесса моделирования, проектирования и конструирования робототехнических изделий у школьников. Такой же процесс наблюдается и в технических университетах.

Замена процесса обучения «геймизацией» и «виртуальной действительностью» без реального моделирования в такой междисциплинарной области как робототехника имеет печальные последствия и привело к существенному снижению умственной активности у детей [1]. Попытки исправить сложившуюся ситуацию приведены в [2-4].

Отсутствие продуманной и научно обоснованной отечественной программно-аппаратной платформы для целенаправленного формирования квалифицированных инженерно-технических работников приводит к копированию разработок 90-х годов прошлого столетия и сознательному сведению

данного процесса к формальному образованию вакуума в подготовке необходимых на данном этапе экономического кризиса квалифицированных специалистов для развития промышленности и НИР.

Наступивший в 90-е годы разрыв связи университетов с промышленными предприятиями, с одной стороны, и непонимание университетов потребности промышленности в кадрах при наборе студентов на технические дисциплины, с другой стороны, привел к разрушению накопленного опыта и потери квалифицированных преподавателей, имеющих опыт работы в промышленной автоматизации производственных процессов и инновационных НИР. За последние годы это стало особенно ощутимо с развитием нанотехнологий и внедрения в робототехнические комплексы микро- и нанороботов.

В последнем случае, в связи со скачкообразным изменением идеологии построения процессов взаимодействия человека-оператора с роботом на основе нейроинтерфейсов, потребовалось в 2000 г. пересмотреть весь процесс подготовки кадров на основе проекта *DARPA (The Defense Advanced Research Projects Agency)* в рамках финансирования институтов НАТО [5].

В данной работе излагается опыт автора разработки и чтения лекций по курсу «Интеллектуальная робототехника» в Японии (*University of Electro-Communications, Tokyo, Yamaha Motor Co., Iwata, College, Hamamatsu*), Италии (*Milan University, Milano, ST Microelectronics, Agata Brianza, College, Crema*) и США (*CA University, San Diego*), МИРЭА (базовая кафедра ИФТП (ИПУ) АН СССР) и ГБОУ МО «Дубна» на протяжении последних 40 лет.

В качестве примера рассмотрена ИТ проектирования встраиваемых интеллектуальных когнитивных самоорганизующихся регуляторов в автономных и коллективах, взаимодействующих за счет обмена знаниями (в общем случае с человеком – оператором) роботов (активных агентов) на базе персонального интеллектуального тренажера. Выявлен синергетический эффект от целенаправленного взаимодействия в системе «колледж – университет – компания – рынок», возникающий при разработке интеллектуальной собственности на наукоемкие ИТ как коммерчески привлекательных интеллектуальных продуктов.

Модели робототехники и интеллектуальное когнитивное управление

Хронологически интенсивное развитие промышленной робототехники с 1980-х создало возможности разработки роботов для непромышленной сферы типа: медицина, сфера обслуживания, развлекательные роботы-игрушки, роботы для образовательных процессов, для обслуживания пожилых людей, роботы для людей с ограниченными физическими и умственными способностями, роботы для МЧС и медицины катастроф и т.д. Отличительной особенностью развития данного направления в робототехнике является появление новых видов нелинейного движения, координационного управления подсистемами с не доопределенными параметрами и необходимость развития новых видов интеллектуальных систем управления (ИСУ) для реализации рассматриваемого движения в условиях неопределенности, информационного риска и нештатных ситуаций.

Модели робототехники

Робототехника рассматривается с точки зрения теории управления как «мехатроника» («механика + электроника») аппаратной поддержки (HardWare) робота (объект управления), погруженная в структуру интеллектуальной системы управления (ИСУ). Поэтому сам робот является неотъемлемой частью ИСУ.

На рис. 1 приведена обобщенная структура когнитивной ИСУ.

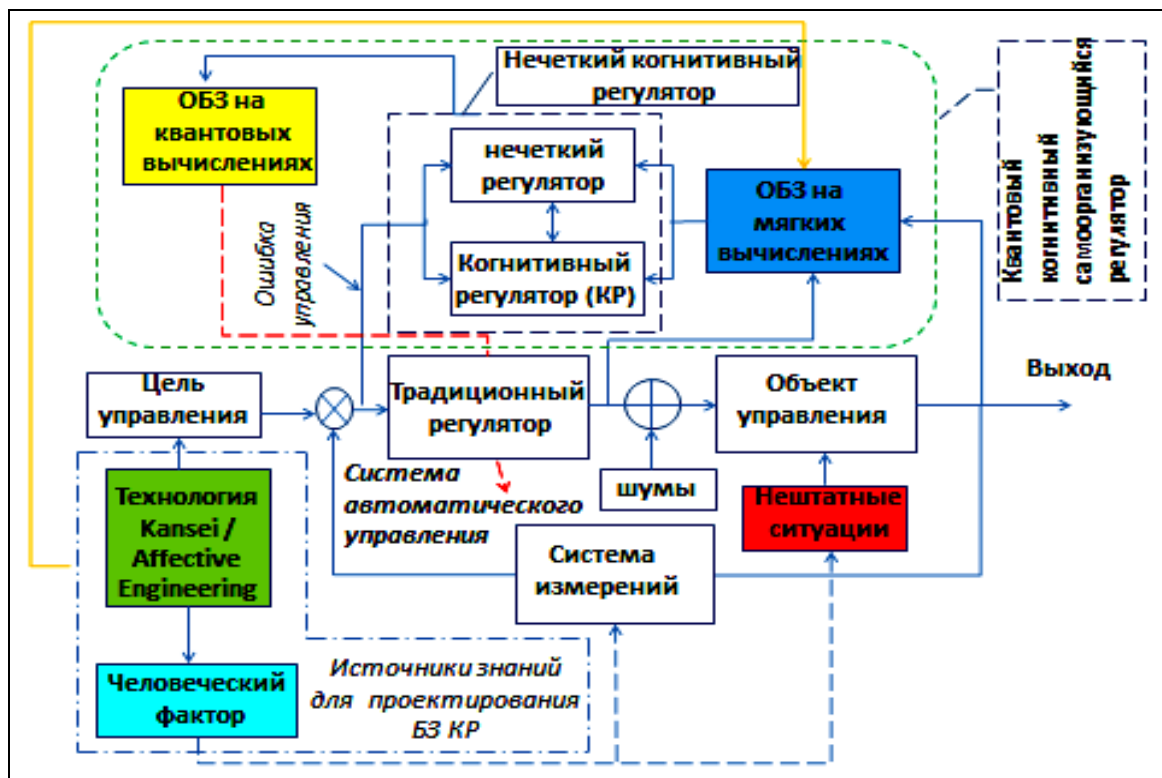


Рис. 1. Структура интеллектуальной когнитивной системы управления (объект управления – робот)

Когнитивная ИСУ, через соответствующую базу знаний, реализует аппаратной частью робота заданную форму движения или технологическую операцию с учетом человеческого фактора или непредвиденных ситуаций управления.

В основе таких платформ ИТ проектирования лежит технология интеллектуальных вычислений и соответствующие оптимизаторы баз знаний (ОБЗ) на мягких, когнитивных, дробных и квантовых вычислениях [6-8]. В [9, 10] приведена хронология развития робототехники на основе опыта работы автора с 1967 по 2016 гг.

В зависимости от размеров аппаратной части робота различают макро-робототехнику, мини-робототехнику и нано-робототехнику.

Примеры возможных реализаций аппаратной частью макро-роботами [8] приведены на рис. 2-5.



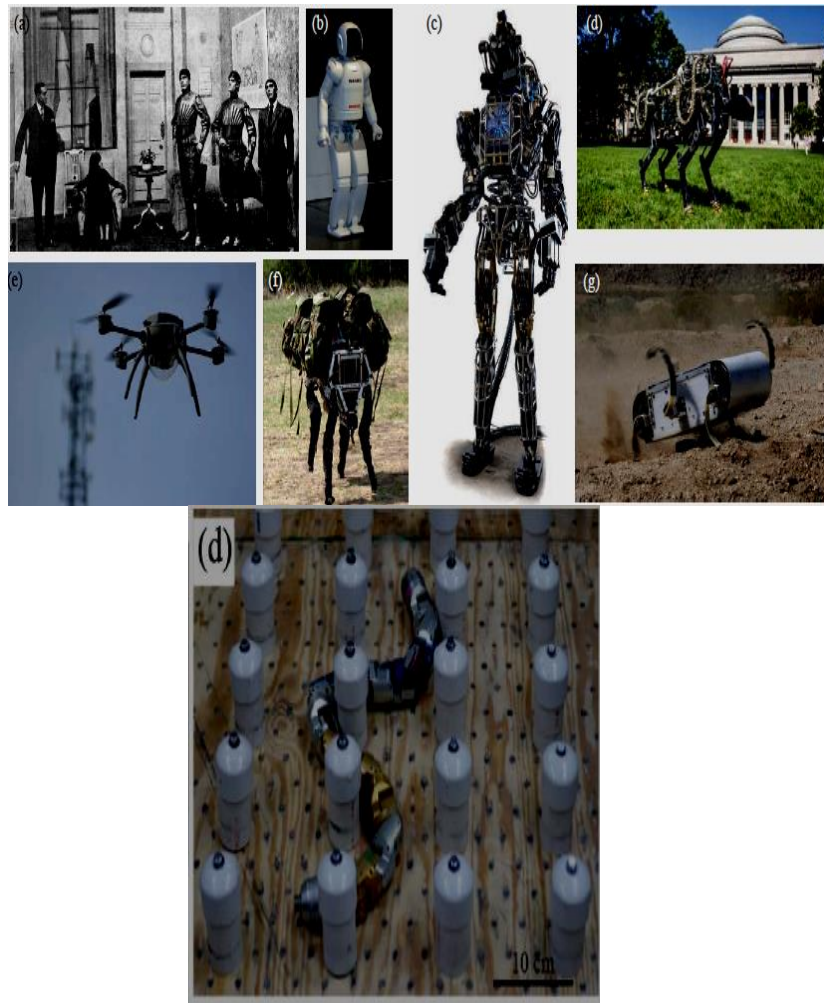


Рис. 2. Биоинспирированные виды движения и их аппаратная реализация роботами

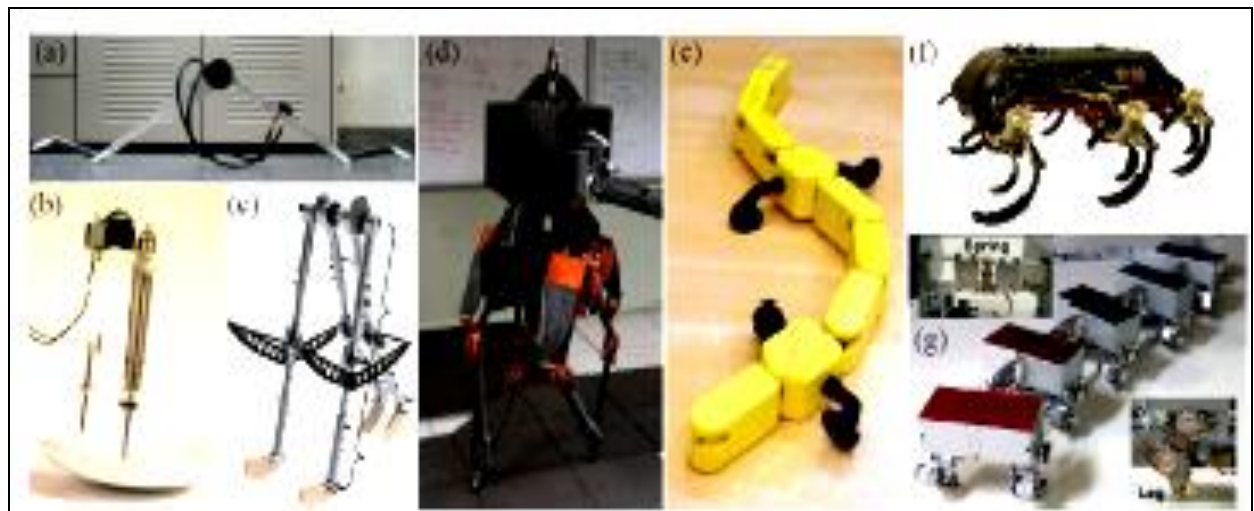


Рис. 3. Автономные роботы для перемещения по твердой поверхности

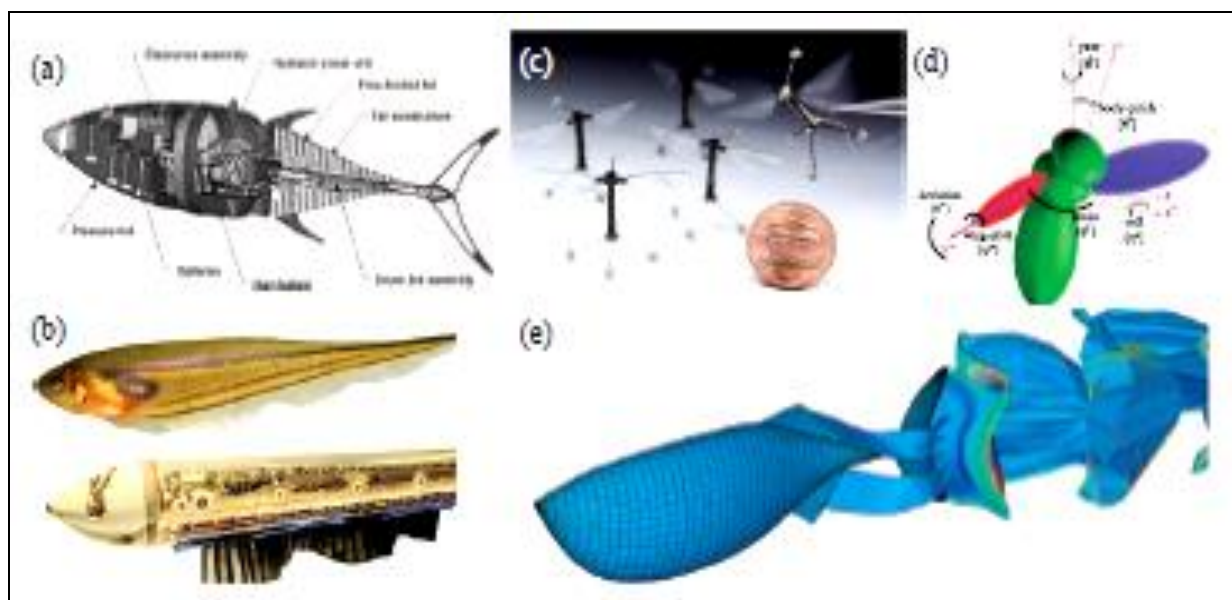


Рис. 4. Роботы для перемещения в жидкой среде

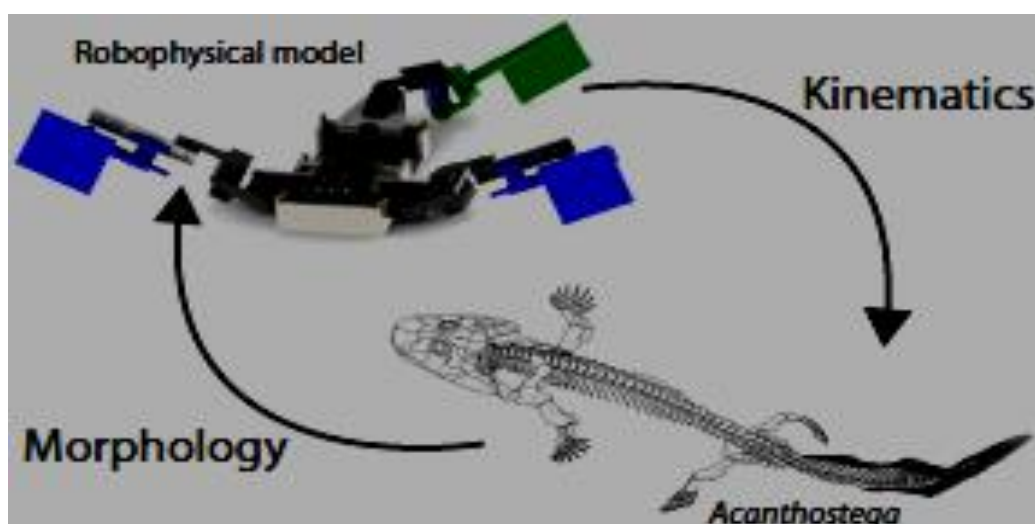


Рис. 5. Методология разработки биоинспирированных роботов

В зависимости от вида среды функционирования проектируется аппаратная часть робота – мехатроника и с помощью соответствующей системы управления осуществляется перемещение робота по заданной поверхности или внутри среды, используя пространственно-временную логику.

Динамика движения и функциональная способность робота, в зависимости от типа и среды функционирования, имитирует поведение заданного биообъекта управления, и подчиняется определенным законам классической механики и термодинамики.

Приведенные на рис. 2-5 роботы используют традиционные системы управления, движение самого объекта управления описывается в рамках классической механики, и имеют предельные аппаратные возможности [6-8, 10, 11].

Переход в проектировании от макро – к микророботам связан с процессом миниатюризации типа микромашин и существенно меняет технологию изготовления микродеталей микроробота.

На рис. 6 представлена модель аэромикроробота [12].

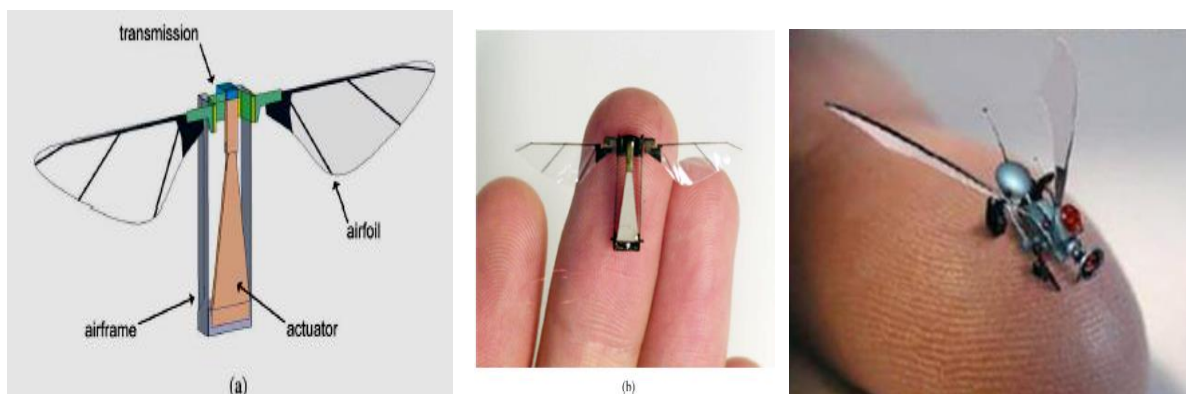


Рис. 6. Модель аэромикроробота.

Переход к описанию моделей нанороботов требует смены платформы физического описания в виде перехода от микро- к нанобиру на основе законов квантовой релятивистской механики [13, 14].

На рис. 7 представлена обобщенная структура построения моделей и управления нанороботами [15].

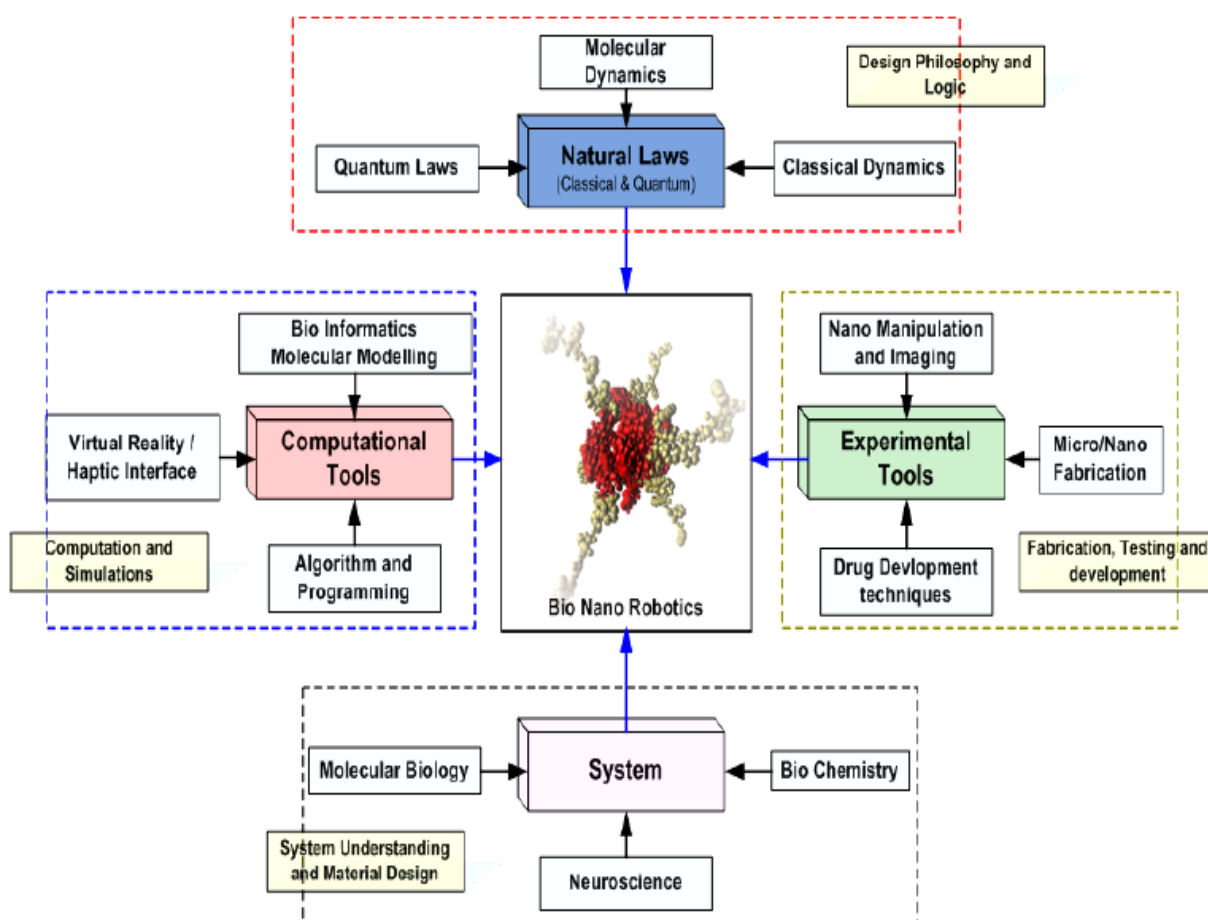
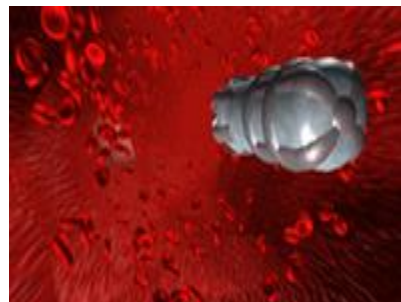
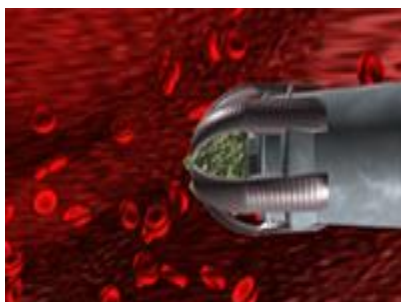
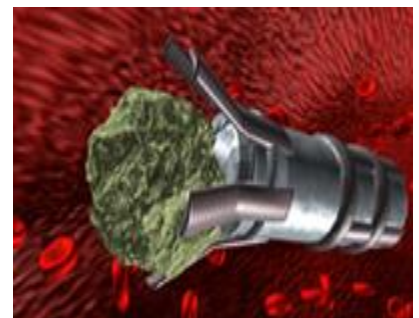
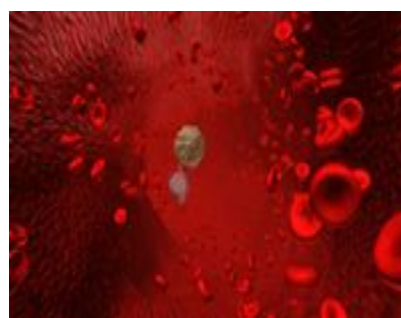
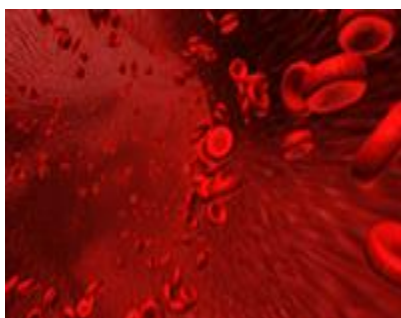
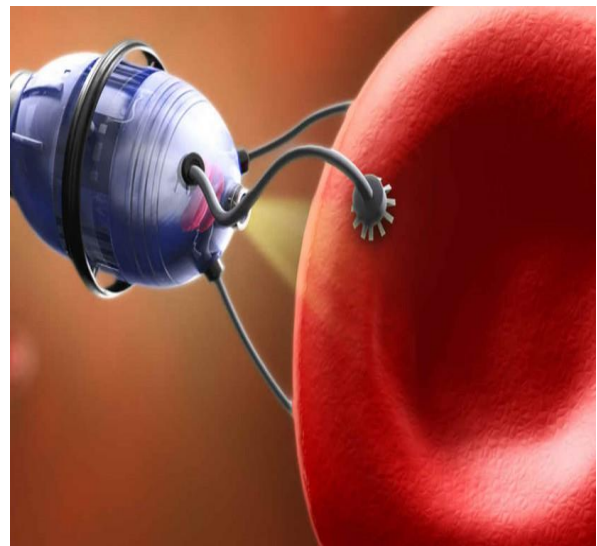
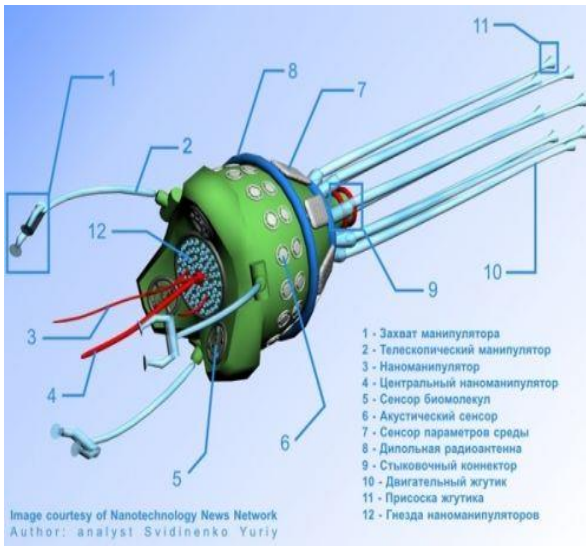


Рис. 7. Обобщенная структура построения моделей и управления нанороботами

Соответственно изменения аппаратной части нанороботов рассматриваются как предельный физический и информационный переход от макро – к микромиру и приводят к развитию биоинспирированных самоорганизующихся моделей исполнительных устройств типа захватывающих устройств, редукторов, передающих устройств, шестеренок и т.п.

На рис. 8 приведены примеры нанороботов и исполнительных устройств нанороботов различного применения [16].



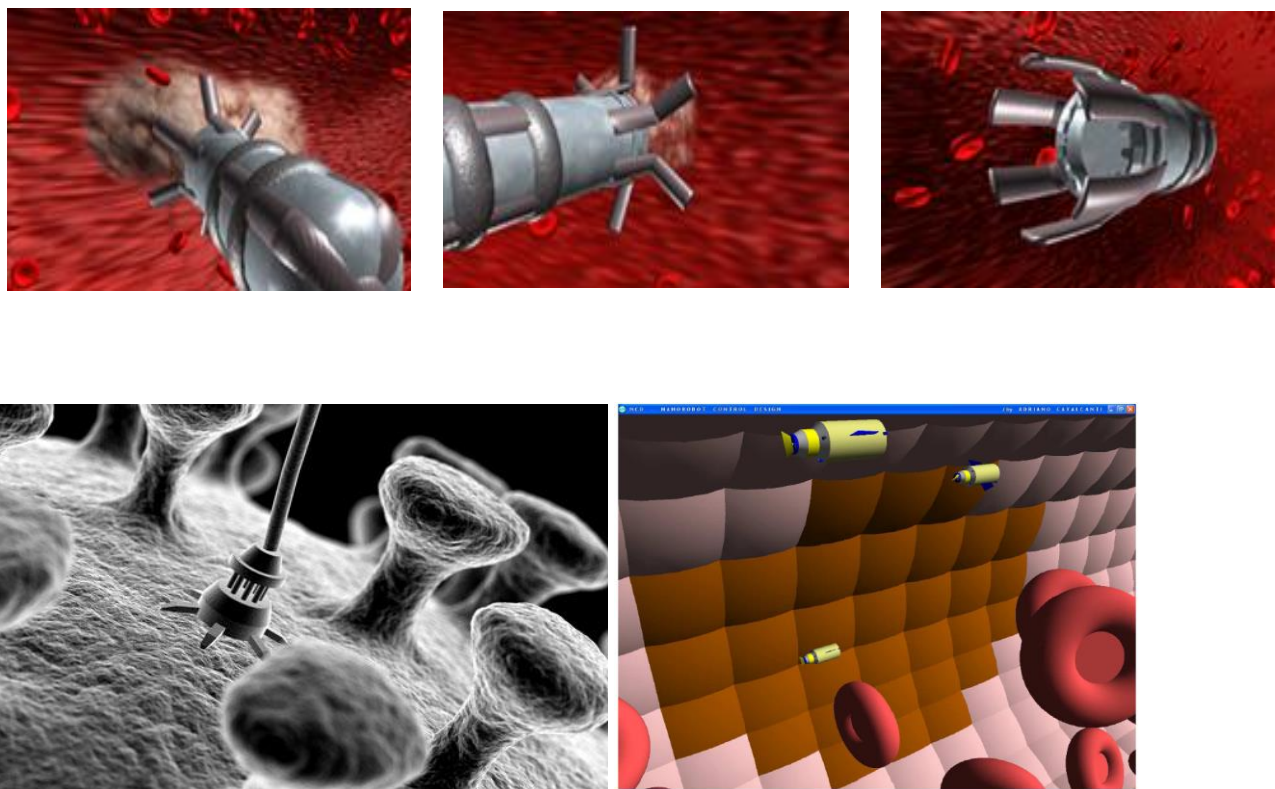


Рис. 8. Нанороботы – манипуляторы медицинского назначения

На рис. 9 представлены возможные модели исполнительных биоинспирированных устройств нанороботов [16].

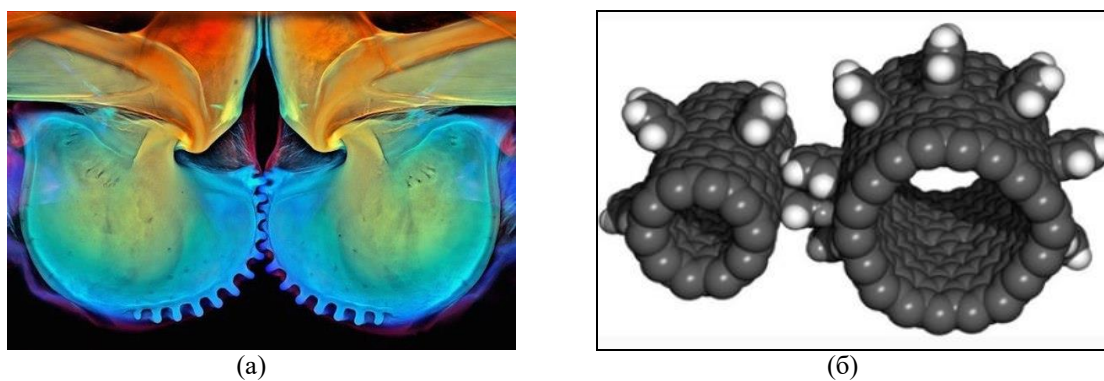


Рис. 9. Сустав прыгательной ноги цикады (а) – пример использования шестеренок в природе; и биоинспирированная шестеренка (б)

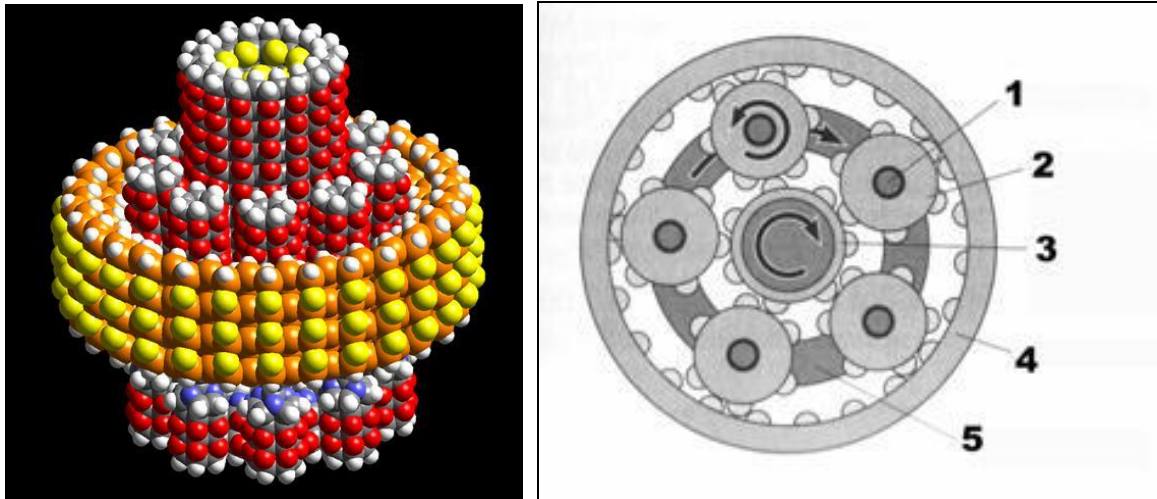


Рис. 10. Схема устройства планетарного редуктора: 1– Подшипник планетарной передачи, 2– Планетарная передача, 3– Солнечная передача, 4– Кольцевая наружная передача, 5– Несущее кольцо планетарных передач

Поэтому рассмотрены новые проблемы проектирования мини- и нано-роботов, описание движения которых требует привлечения законов термодинамики и квантовой механики. Переход от макро-роботов к мини- и нано-роботам аналогично переходу от классической механики к квантовой механике и требует проверки корректности описания соответствующих моделей. Методы квантовой релятивистской информатики [13] позволяют разрабатывать корректные модели мини- и нано-роботов, используя методологию робастного интеллектуального управления для компенсации ошибки аппроксимации.

На рис. 11 приведена квантовая модель нано-робота, способного перемещаться в молекулярных мембранах на основе самоорганизующейся ИСУ [17, 18].

Самоорганизация мобильного нано-робота

Модель мембраны	Математическая модель
	<p>– MMR motion (on classical level):</p> $\ddot{\xi} + F(\xi, \dot{\xi}, t, S) + \frac{dV_0(\xi)}{d\xi} = u(t) \quad (10)$ <p>– MMR coupled motion (on quantum level in Schrödinger picture) (non-linear Schrödinger-type equation with dissipative processes and entropy exchange, obtained from quantum postulat [11]):</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px;"> $i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \{V_0(x) + F(\xi, \dot{\xi}, t, S) x - \xi(t) \} \Psi + \frac{i\hbar}{\tau} (\ln \Psi - \langle \ln \Psi \rangle) \Psi - 2\gamma \alpha \frac{\partial}{\partial x} \Psi ^2 \Psi = H_0 \Psi \quad (11)$ </div> <p>– Fluid medium (on quantum level) (non-linear Schrödinger-type equation with dissipative processes)</p> $i\hbar \frac{\partial \alpha}{\partial t} = (E + \Delta E)\alpha - R_0 J(\omega) \frac{\partial^2 \alpha}{\partial x^2} - G \alpha ^2 \alpha - \frac{i\hbar}{2} Z \alpha + F_j - \frac{2\gamma \alpha}{M} \frac{\partial}{\partial x} \Psi ^2 \quad (12)$ <p>Parameters $E, \Delta E, R_0, J(\omega), G, Z, \gamma$ and γ in [17] are defined. If we use the simple phase-shift transformation $\alpha = \exp\{-i(Z/2)t\} \Psi_1(x, t)$ then obtain new simple form of equation:</p> $i\hbar \frac{\partial \Psi_1}{\partial t} = (E + \Delta E)\Psi_1 - R_0 J(\omega) \frac{\partial^2 \Psi_1}{\partial x^2} - G \Psi_1 ^2 \Psi_1 + F_j - \frac{2\gamma \alpha}{M} \frac{\partial}{\partial x} \Psi ^2 \quad (13)$

Рис. 11. Нано-робот на основе самоорганизующейся ИСУ

Примеры роботов из разных проблемно-ориентированных областей (*man-made robots*) и принципы построения структур ИСУ показали взаимную зависимость и влияние на выбор уровня корректных моделей и описания поведения робота. Корректность построения моделей роботов зависит от

применения законов физики для описания движения и классификации типов движения, биоинспирированных природой. Поэтому для преодоления ограничений осуществляют «интеллектуализацию» системы управления. Так были рассмотрены новые типы макро-роботов, разработанные группой исследователей под руководством автора: робот сервисного обслуживания, одноколесный робот – велосипед, робот-мотоцикл, роботы вертикального перемещения, взаимодействующие в пространстве и времени, и микро-нано-роботы и др. Данные типы роботов реализованы на новых видах ИСУ. Рассмотрим кратко особенности ИТ интеллектуального управления

Интеллектуальное когнитивное управление

Одним из основных назначений и преимуществ эффективного применения ИСУ является возможность гарантированного достижения цели управления с максимальным качеством управления на верхнем уровне и минимальным расходом полезного ресурса системы «*объект управления (ОУ) + регулятор*» на нижнем (исполнительском) уровне иерархической системы автоматического управления. На содержательном уровне данная возможность отражает назначение целенаправленной деятельности ИСУ в общем случае непредвиденных ситуаций управления.

При этом эффективность применения ИСУ зависит от уровня интеллектуальности разработанной системы (формы, вида и глубинного представления знаний). Важную роль при формировании уровня интеллектуальности САУ играет выбор используемого инструментария технологии ИВ для проектирования соответствующей базы знаний (БЗ) при заданной цели управления.

Отметим особенности выбора и применения на практике технологии и методов ИВ.

Особенности технологии ИВ и принципы ИСУ. Из многочисленных моделей ИВ выбраны технологии мягких, дробных и квантовых вычислений, не случайно. Данные инновационные технологии вычислений составляют программно-алгоритмическую платформу для ИТ проектирования самоорганизующихся ИСУ, способных функционировать и гарантировать достижение цели управления в условиях непредвиденных (нештатных) ситуаций и информационного риска с требуемым уровнем робастности. Именно задача разработки самоорганизующихся ИСУ слабо структурированными объектами управления (ОУ), способных функционировать и гарантировать достижение цели управления в условиях непредвиденных (нештатных) ситуаций и информационного риска, является наиболее актуальной (и трудно решаемой) в теории и систем управления. Решение такой задачи связано с необходимостью реализации ряда новых (для робастного интеллектуального управления) физических и информационно-термодинамических принципов:

- *принцип компенсации информационной неполноты описания модели* (слабоструктурированных) ОУ выбором соответствующего уровня ИВ;
- *принцип соответствия алгоритма интеллектуального управления уровню сложности и неполноты представления знаний* о внешней среде функционирования ОУ (связь информационной энтропии с мерой алгоритмической сложности Колмогорова);
- *принцип минимума потерь полезного ресурса* (минимум обобщенной энтропии – физический закон оптимального управления) в системе «ОУ + регулятор»;
- *принцип не разрушения и повышения эффективности нижнего исполнительского уровня системы управления* за счет самоорганизации БЗ интеллектуального регулятора;
- *принцип синергизма извлекаемой скрытой квантовой информации* из классических состояний спроектированных процессов управления.

Перечисленные принципы рассмотрены в [6-8, 10] с позиции проектирования робастных интеллектуальных нечетких регуляторов (НР) в структуре системы управления физическим экспериментом.

Базис реализации ИТ проектирования ИСУ и парадоксы ИВ. Выполнение и реализация новых физических (информационно-термодинамических) принципов интеллектуального робастного управления в робототехнике осуществляются на основе решения следующих трех принципиальных проблем.

А. В первом случае, в отличие от прямой задачи (описания знаний количественными характеристиками), рассматривается решение обратной задачи теории искусственного интеллекта: извлечение, обработка и формирование знаний из количественных данных эксперимента. В этом случае разрабо-

танная технология проектирования объективных БЗ на основе оптимизаторов БЗ на мягких (и далее на квантовых вычислениях) исключает субъективизм экспертных оценок, обеспечивает достижение требуемого уровня робастности ИСУ.

Б. Во втором случае рассматривается проблема разработки и физического обоснования математической модели квантового алгоритма управления самоорганизацией знаний для формирования робастных БЗ в реальном времени. В [13] показана роль прямых аналогов физических (квантовых и термодинамических) эффектов в реализации процесса гарантированного достижения качества управления на основе технологии квантовых, мягких и дробных вычислений. При этом основное внимание уделяется описанию и интерпретации качественных особенностей биологически воспроизводимой (так называемой синергетически биоинспирированной) эволюции самоорганизации, основные компоненты которой описываются квантовыми операторами и составляют физическое содержание разработанной модели квантового алгоритма управления процессом самоорганизации. Рассматривается задача робастного управления в непредвиденных ситуациях на основе квантовых стратегий принятия решений в виде программного инструментария квантового нечеткого вывода как частного случая разработанного квантового алгоритма управления самоорганизацией знаний.

В. Решение третьей проблемы демонстрирует результаты эффективного применения ИТ проектирования робастных БЗ непосредственно в структуре контуров управления ИСУ. Показаны особенности проектирования робастных БЗ для непредвиденных ситуаций управления и в условиях информационного риска для ИСУ, включающих в свою структуру оптимизаторы БЗ.

Синергизм неточной (*imperfect*) информации и синергетический эффект квантовой самоорганизации БЗ в условиях непредвиденных ситуаций рассмотрен в данном пособии и основан на технологии извлечения скрытой в классических состояниях (неизмеримой в общем виде классическими приборами) квантовой информации (дополнительный информационный ресурс).

В качестве классических состояний рассматриваются законы управления изменениями во времени коэффициентов усиления исполнительных автоматических устройств, которые формируют оптимальную управляющую силу (с минимальными потерями полезного ресурса в системе «*ОУ + регулятор*»).

Обоснование необходимости данной методологии. Необходимость в появлении данной методологии обусловлена повышенным интересом широкого круга студенческой, инженерной и исследовательской аудитории самых различных специальностей к разработке современных технологий ИВ [19] и их практического применения для повышения эффективности исследуемых или действующих робототехнических объектов и систем управления. Проблема созрела давно и объясняется следующим, установленным за долгий период времени (1970 – 2016гг.), фактом: из-за предметной новизны применения интеллектуальных систем и математической сложности описания многие из результатов носят для инженерной аудитории в основном методологический или теоретический характер. Так, например, выбор оптимального типа и параметров функции принадлежности, проектирование БЗ в теории нечетких систем (нечетких регуляторах) носит до сих пор эвристический характер, что вызывает трудности при исследовании и разработке ИСУ.

Поясним некоторые общие особенности данной проблемы.

1. Как правило, в публикациях отсутствует необходимая (для инженерной аудитории или начинающих исследователей) корректная физическая интерпретация разработанных моделей мягких вычислений и получаемых на их основе результатов. В частности, учебные университетские программы обучения (как в РФ, так и за рубежом) поверхностно освещают (или совсем не включают) перечисленные вопросы.

2. Отмеченный выше факт объясняется наличием неполного описания практического опыта обучения, проектирования и промышленной эксплуатации интеллектуальных систем, а также отсутствием принципиального решения одной из основных задач теории искусственного интеллекта: извлечение, обработка и формирование объективных знаний из количественных данных физических экспериментов или динамического поведения системы.

3. В инженерном программном инструментарии компании *MathWorks* (МатЛаб) не представлен должным образом раздел проектирования ИСУ и БЗ. В результате, на практике используется по существу инструментарий экспертных систем или элементы технологии мягких вычислений (упро-

ценные модели генетических алгоритмов и нечеткие нейронные сети типа *ANFIS*) без обеспечения, например, необходимого уровня робастности и полноты БЗ.

4. В инженерной аудитории, поэтому, часто бытует мнение об «экзотическом» виде других новых типов ИВ, имеющих ограниченное применение в практике системной инженерии.

Разработанная ИТ проектирования позволяет использовать данный дополнительный информационный ресурс для повышения уровня робастности ИСУ. Само свойство робастности определяется как следствие самоорганизации БЗ в НР (нижний исполнительский уровень управления).

Спроектированная робастная БЗ позволяет ОУ гарантированно достичь поставленной цели управления в условиях информационного риска и непредвиденных ситуаций управления.

Синергетический эффект альянса сотрудничества «колледж – университет – компания – рынок» в образовательном процессе

Рассмотренные модели робототехники создавались по принципу альянса сотрудничества специалистов из разных областей науки и техники с различными уровнями профессиональных знаний. Прообразом такого подхода послужил проект разработки робота сервисного обслуживания [9].

С апреля 1992 г. по март 1997 г. разрабатывался в рамках *R&D* центров промышленных компаний *Seiko-Epson, Dynax-Corp., Nitto-Seiko, Murata Mfg. Corp, Ricoh Corp., Sankyo-Seiki and Shimizu Corp.* совместно с Токийским университетом (*University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo*) проект создания интеллектуального робота сервисного обслуживания ночью высотных офисных зданий как социально значимого продукта с высокой степенью коммерческой привлекательности.

Параллельно была разработана и реализована программа обучения школьников и студентов, и подготовки специалистов высокой квалификации через участие в реальном проекте. Распределение работ осуществлялось через сборку макета школьниками и студентами, моделирование и разработка программного продукта студентами магистрами, дизайн и испытания макета специалистами компаний и студентами. Поскольку при разработке робота были поставлены новые для робототехники задачи, то участие каждого сотрудника регламентировалось совместным выполнением ТЗ, извлечением и приобретением новых знаний из процессов моделирования и разработки ИСУ.

Синергетический эффект альянса сотрудничества проявился в разработке оптимизатора баз знаний на мягких вычислениях, создании алгоритма координационного управления в системе «автономный робот – манипулятор с 7-ю степенями свободы», создания нового алгоритма ускоренного интегрирования дифференциальных уравнений для вычисления функции пригодности в генетическом алгоритме, выполнения новых технологических операций типа «открыть дверь», «выйти в коридор», «найти лифт», «войти в лифт» и др.

Школьники колледжа поступили в университет без экзаменов, студенты прошли по конкурсу в *R&D* центров промышленных компаний, создание робота по срокам сократилось с 7ми лет до 5ти лет, стоимость проекта сократилась на 34%.

Разработанный программный продукт интеллектуального управления является универсальным и применяется в 9-ти коммерческих проектах.

Созданный интеллектуальный тренажер проектирования робототехники [20] содержит необходимые элементы синергетического эффекта и позволяет ускорить проектирование новых видов робототехнических изделий.

Заключение

Создание новых видов интеллектуальной робототехники сопровождается двумя параллельными путями: «сверху – вниз (*up – down*)», исходя из потребностей рынка интеллектуальных продуктов, и «снизу – вверх (*down – up*)», исходя из потребностей подготовки кадров и выполнения проектов с минимальным риском и затрат. Синергетический эффект от взаимодействия указанных направлений позволяет создавать новые виды интеллектуальной когнитивной робототехники на основе разработанного интеллектуального тренажера.

Список литературы

1. The human machine interface as an emerging risk // European Agency for Safety and Health at Work – 2006. (ISBN-13: 978-92-9191-300-8 DOI: 10.2802/21813).
2. Chaudhary V., Agrawal V., Sureka A. An experimental study on the learning outcome of teaching elementary level children using Legmo mindstorms EV3 robotics education kit // arXiv:1610.09610v1 [cs.CY], 30 Oct 2016.
3. Yu J., Han Sh., Rus D. A portable, 3D-printing enabled multi-vehicle platform for robotics research and education // arXiv:1609.04745v1 [cs.RO], 15 Sep 2016.
4. Davison D., Schindler L. Reidsma D. Physical extracurricular activities in educational child-robot interaction // arXiv:1606.02736v1 [cs.RO], 8 Jun 2016
5. Miranda R. A., Casebeer W. D., Hein A. V. et all. DARPA-funded efforts in the development of novel brain-computer interface technologies // J. Neurosci. Methods. – 2015. – Vol. 244. – Pp. 52 – 67.
6. Ульянов С.В. и др. Интеллектуальное робастное управление: технологии мягких вычислений. – М.: ВНИИгеосистем, 2011.
7. Ульянов С.В., Решетников А.Г., Николаева А.В. Интеллектуальные системы управления в непредвиденных ситуациях: Оптимизатор баз знаний на мягких вычислениях. – LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, 2014.
8. Ульянов С.В., Решетников А.Г. Квантовый оптимизатор баз знаний: Интеллектуальные самоорганизующиеся робастные встраиваемые контроллеры и системы управления. – LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, 2014.
9. Ulyanov S.V. et all. Intelligent mobile robot for service use in office buildings developed through university – industry – cooperation (UIC) // Proc. 3rd Intern Conf. on Adv. Mechatronics – Innovative Mechatronics for 21st Century. – Aug. 3 – 6, 1998, Okayama, Japan.
10. Ульянов С.В., Тятушкина О.Ю., Решетников А.Г. и др. Интеллектуальные системы управления: Интеллектуальные регуляторы и робототехника (учебное пособие) / Под ред. проф. С.В. Ульянова – Дубна: Изд – во ГУ «Дубна», 2013.
11. Aguilar J., Zhang T, Qian F., et all, A review on locomotion robophysics: the study of movement at the intersection of robotics, soft matter and dynamical systems // arXiv:1602.04712v1 [cs.RO] – 12 Feb 2016.
12. Wood R.D. The first takeoff of a biologically inspired at-scale robotic insect // IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS –. 2008. – Vol. 24, No. 2. – Pp. 341 – 347.
13. Ульянов С.В. и др. Квантовая релятивистская информатика. – LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, 2015.
14. Blencowe M. Quantum electromechanical systems // Physics Reports. – 2004. – Vol. 395. – №. 2. – Pp. 159 – 222.
15. Khulbe P: Nanorobots: a review // Int J Pharm Sci Res - 2014 – No 5(6). – Pp.2164 - 2173.
16. Bogue R. Microrobots and nanorobots: a review of recent developments // Industrial Robot: An International Journal. – 2010. – Vol. 37. – No 4. - Pp.341 – 346.
17. Ulyanov S.V. et all. Soft computing simulation design of intelligent control systems in micro-nanorobotics and mechatronics // Soft Computing. – 2000. – Vol. 4. – Pp. 147 – 156.
18. Ulyanov S.V., Yamafuji K., Arai F., Fukuda T. Modelling of micro-nano-robots and physical limit of micro control // J. of the Robotics Society of Japan. – 1996. – Vol. 14. – No 8. – Pp. 1102 – 1105.
19. Ульянов С. В. и др. Генетические и квантовые алгоритмы. Ч. 1. Инновационные модели в обучении // Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание. – Дубна, 2010. – №3. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sanse.ru/archive/17> (дата обращения: 16.07.2012). – 0421000111\0030.

20. Ульянов С. В., Решетников А. Г., Базис когнитивного компьютерного обучения робототехнике: Интеллектуальный тренажер формирования активных знаний // // Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание. – Дубна, 2016. – №4. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sanse.ru/archive/6> (дата обращения: 16.01.2017). – 0421000111\0030.