

## **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.



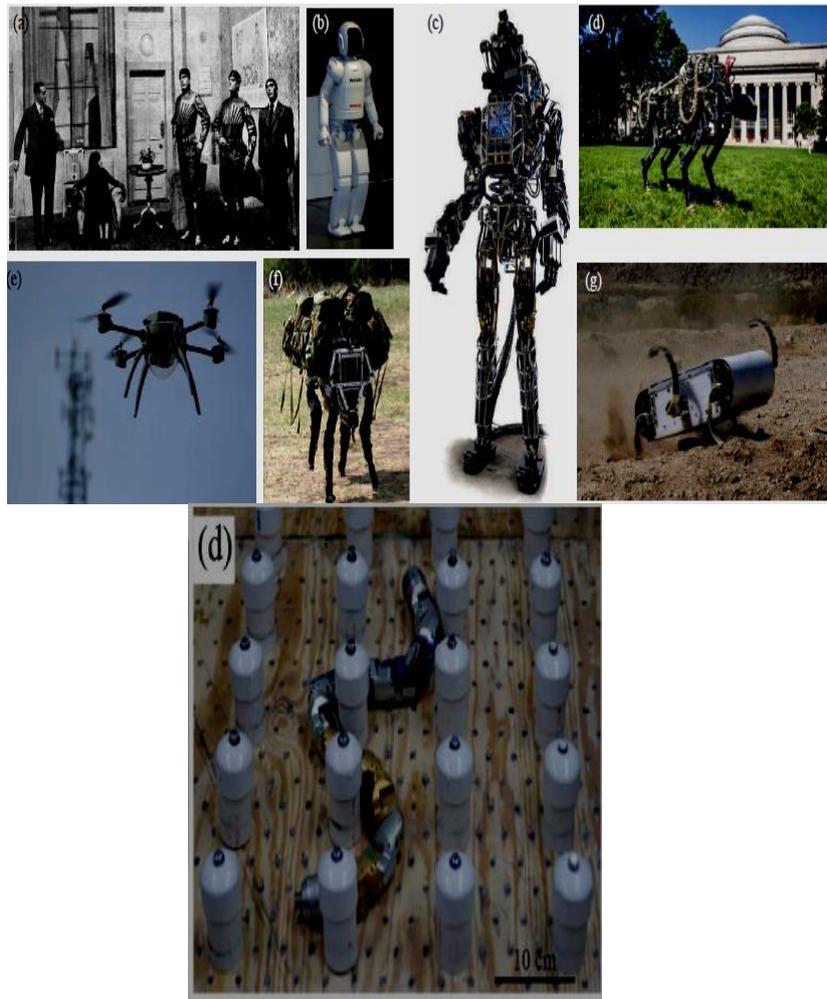


Рис. 2. Биоинспирированные виды движения и их аппаратная реализация роботами

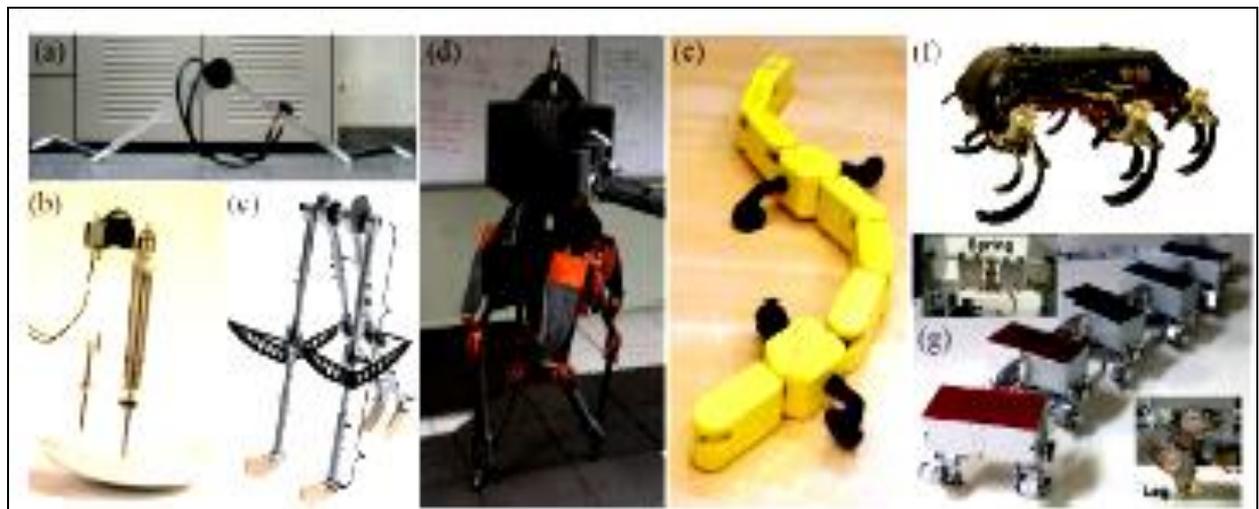


Рис. 3. Автономные роботы для перемещения по твердой поверхности

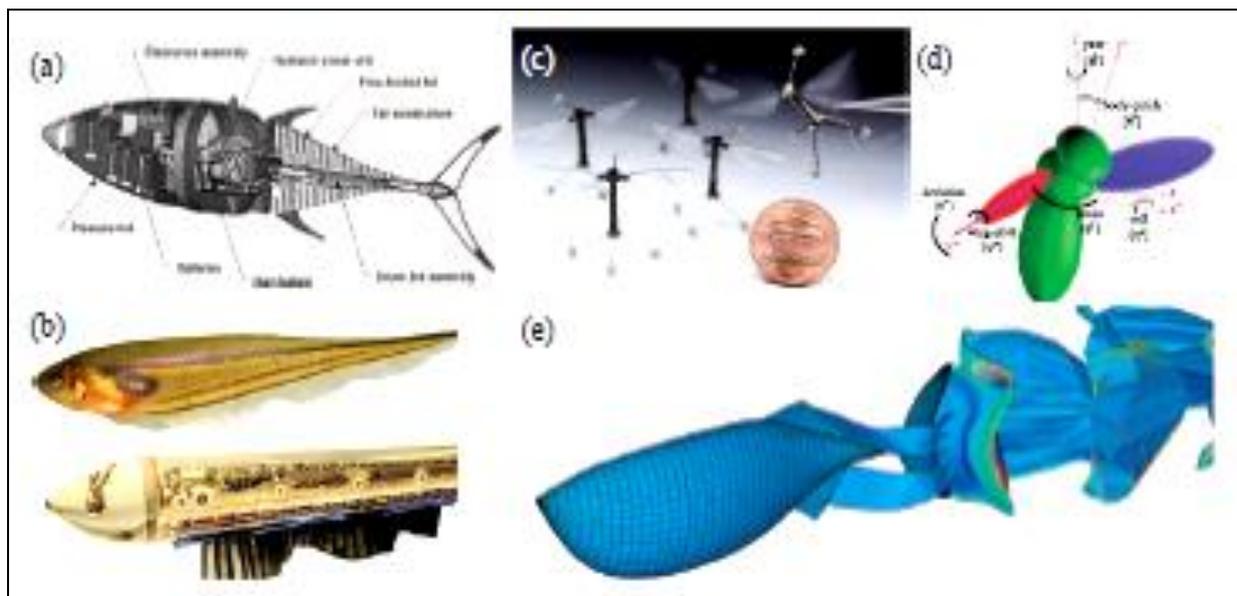


Рис. 4. Роботы для перемещения в жидкой среде

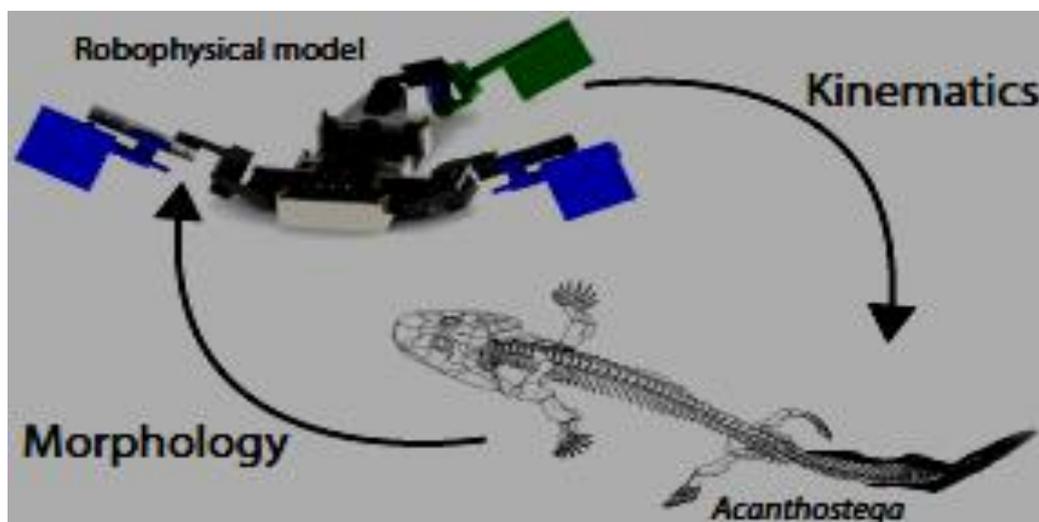


Рис. 5. Методология разработки биоинспирированных роботов

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].

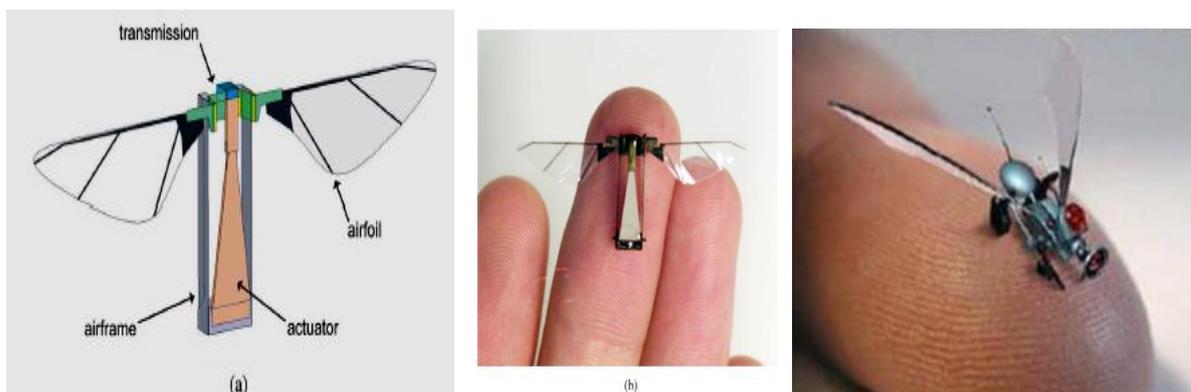


Рис. 6. Модель аэромикроробота.

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

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

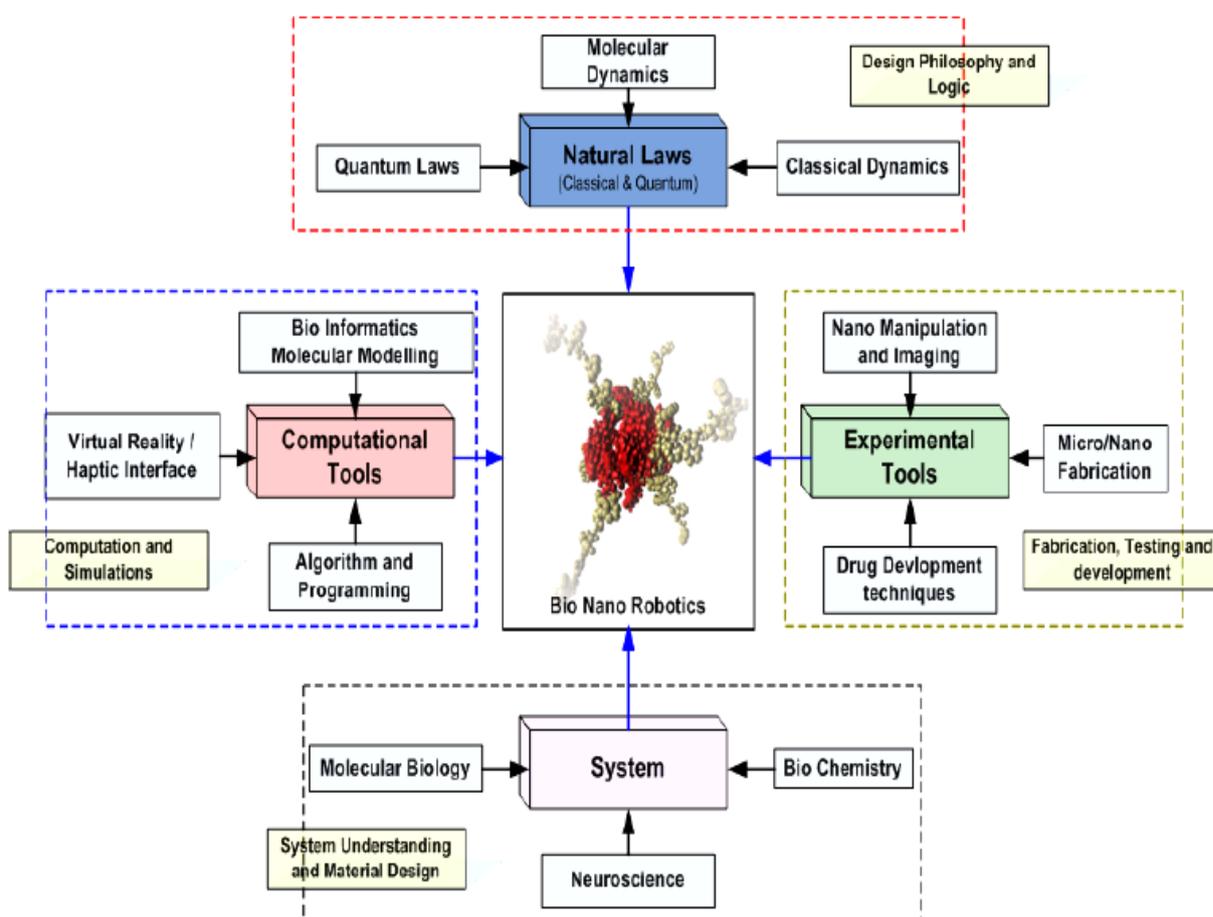
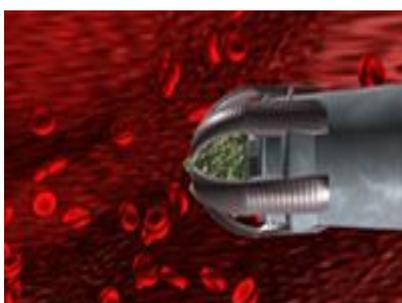
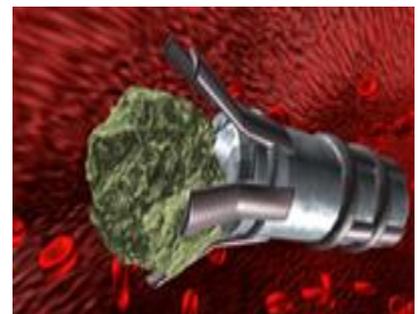
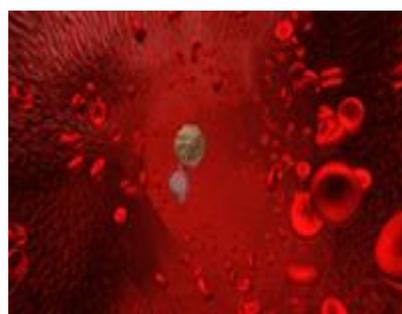
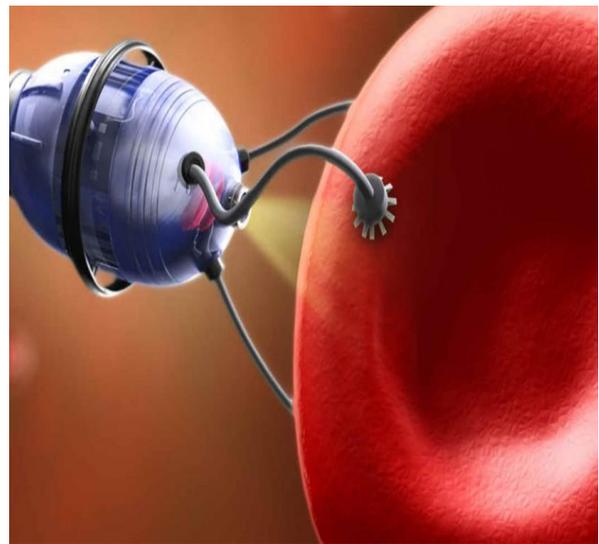
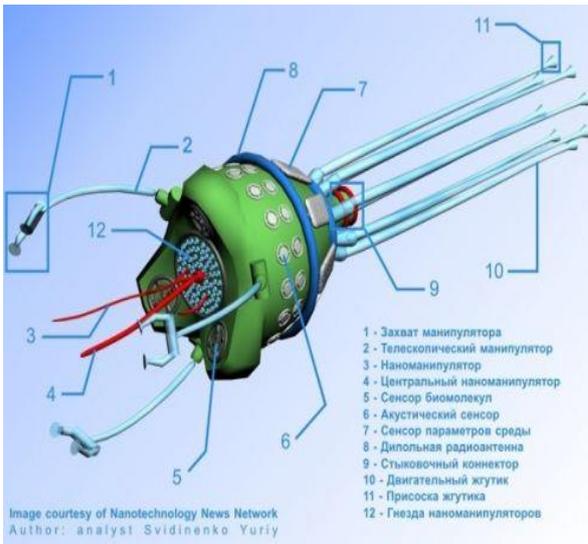
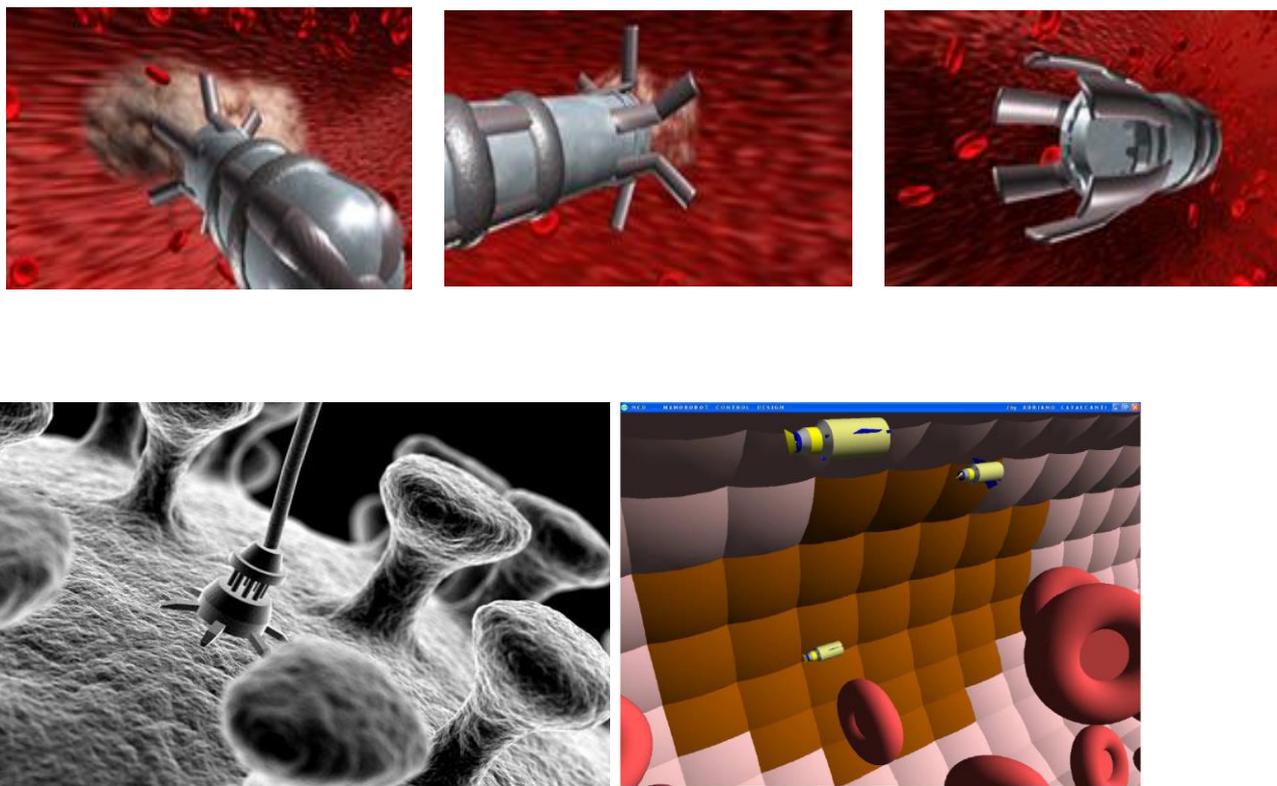


Рис. 7. Обобщенная структура построения моделей и управления нанороботами

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.

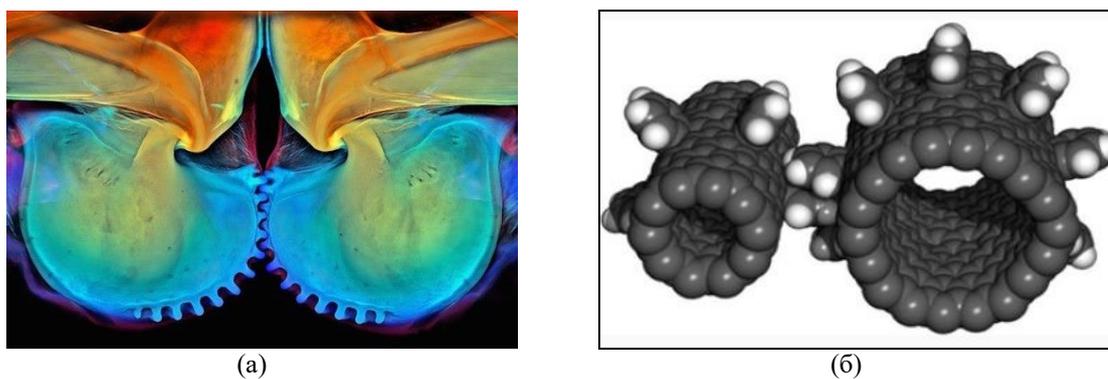
На рис. 8 приведены примеры нанороботов и исполнительных устройств нанороботов различного применения [16].





*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)*

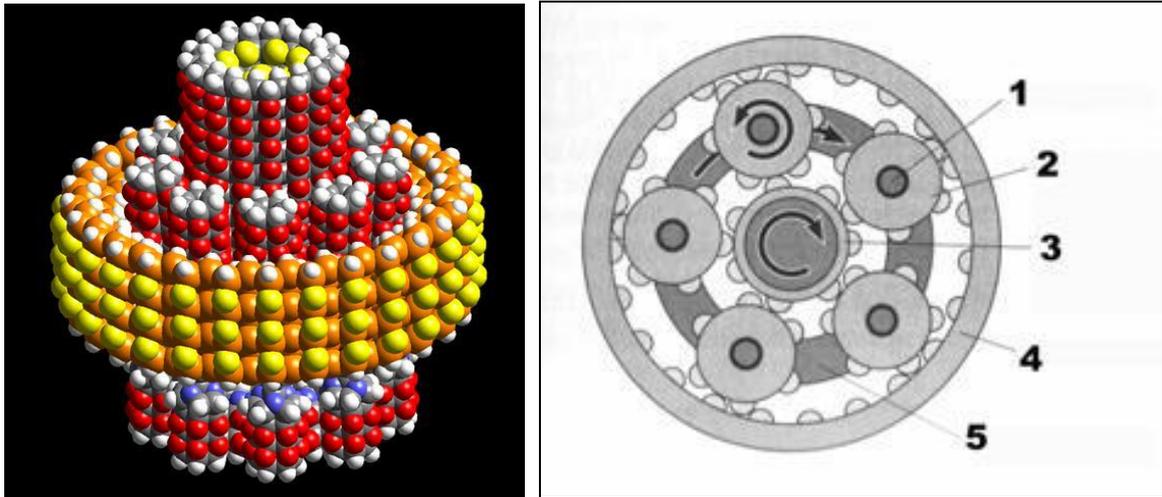


Рис. 10. Схема устройства планетарного редуктора: 1– Подшипник планетарной передачи, 2– Планетарная передача, 3– Солнечная передача, 4– Кольцевая наружная передача, 5– Несущее кольцо планетарных передач

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].

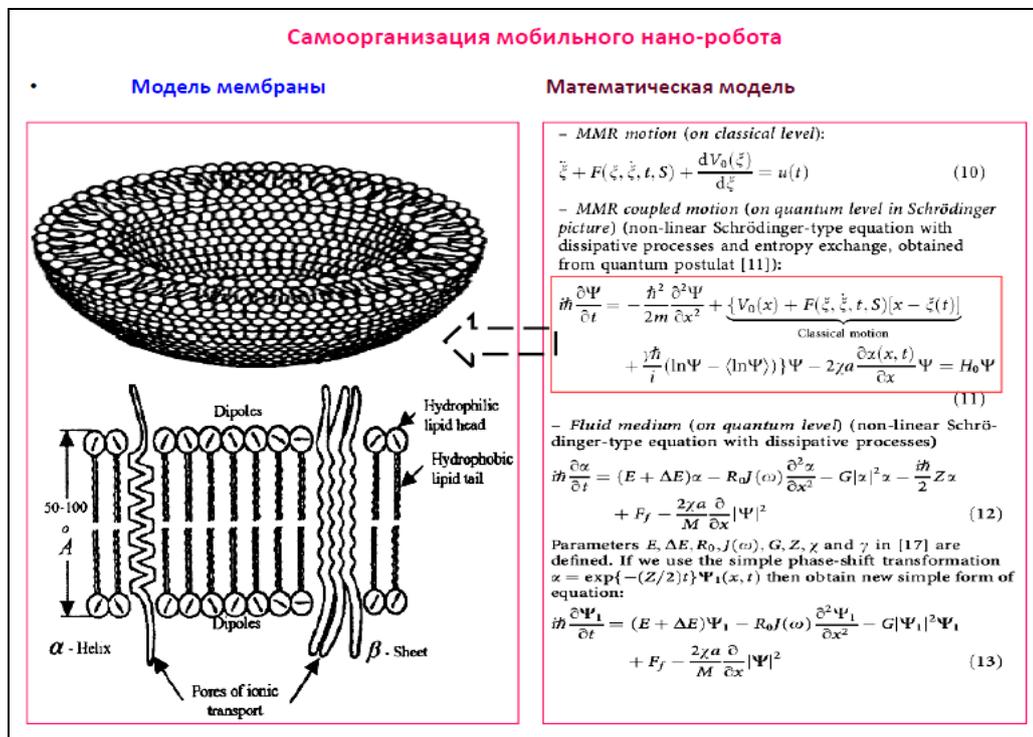


Рис. 11. Нано-робот на основе самоорганизующейся ИСУ

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., Тягушкина 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.