

УДК 004.415.2, 004.588

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА Ч.3: КОНЦЕПЦИЯ КОГНИТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ – ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ РОБОТТЕНАЖЕР

**Решетников Андрей Геннадьевич¹, Тятюшкина Ольга Юрьевна²,
Ульянов Сергей Викторович³**

¹*Доктор информатики (PhD in Informatics), к.т.н., ст. преподаватель;
ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»,
Институт системного анализа и управления;
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;
e-mail: agreshetnikov@gmail.com.*

²*Кандидат технических наук, доцент;
ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»,
Институт системного анализа и управления;
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;
e-mail: tyatushkina@mail.ru.*

³*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.*

Рассматриваются функциональные структуры (социально значимой и востребованной социумом) интеллектуальной робототехники для применения в образовательном процессе. Дано описание структуры научно обоснованного робототренажера для разработки научно-методологического, программно-алгоритмического и технического базиса когнитивного обучения ИТ проектирования интеллектуальных самоорганизующихся робототехнических комплексов, объективно удовлетворяющих необходимым и возможным перспективным потребностям социотехнических систем.

Ключевые слова: робототехника, интеллектуальные системы управления, интеллектуальный тренажер, когнитивное обучение, 3D-моделирование, робастные базы знаний.

INTELLIGENT ROBOTICS PT 3: COGNITIVE COMPUTER EDUCATION CONCEPT – INTELLIGENT ROBOEQUIPMENT

Reshetnikov Andrey¹, Tyatyushkina Olga², Ulyanov Sergey³

¹*PhD in informatics, senior teacher;
Dubna State University,
Institute of system analysis and management;
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;
e-mail: agreshetnikov@gmail.com.*

²*PhD, associate professor;
Dubna State University,
Institute of system analysis and management;
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;
e-mail: tyatushkina@mail.ru.*

³*Doctor of Science in Physics and Mathematics, professor;
Dubna State University,
Institute of system analysis and management;
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;
e-mail: ulyanovsv@mail.ru.*

Necessary and possibly social-technical and social-economic objective conditions for development of scientific – methodological, computational intelligence toolkit and technical basis in the domain of intelligent robotics are described.

Keywords: robotics, intelligent control systems, intelligent training equipment, cognitive education, 3D modeling, robust knowledge base

Введение

Наукоемкая ИТ («философии инженерного проектирования – *System of Systems Engineering Approach*») интеллектуальной робототехники, разработанная школой проф. С.В. Ульянова [1-10], аккумулирует и развивает результаты многих наукоемких ИТ, таких как технология искусственного интеллекта, нейрофизиологии в виде нейроинтерфейсов типа «мозг – компьютер – исполнительное устройство», робастное интеллектуальное когнитивное управление в условиях нештатных ситуаций, нанотехнологий в виде новых интеллектуальных материалов, квантового управления и нанороботов, ИТ интеллектуальных вычислений, технологии разработок новых алгоритмов и программного продукта типа квантовых алгоритмов и квантового программирования для проблемно-ориентированных роботов и мн. др.

Эволюция и развитие самой ИТ проектирования корректных моделей интеллектуальной робототехники, таким образом, зависит от перспективности и степени развития как собственных ИТ, так и многих смежных из перечисленных выше перспективных ИТ проектирования.

Ускоренное развитие ИТ в смежных областях и достижения отдельных компаний и университетов в разработке инновационных ИТ проектирования робототехники отразилось в прогнозировании и обосновании развития направлений работ, с одной стороны, и резком отставании образовательных программ университетов и колледжей при подготовке профессиональных кадров для таких ИТ, с другой стороны. Так, например, существует модель (см. рис. 1), предложенная компанией Gartner для прогнозирования и объяснения тенденций, связанных с появлением новых ИТ.

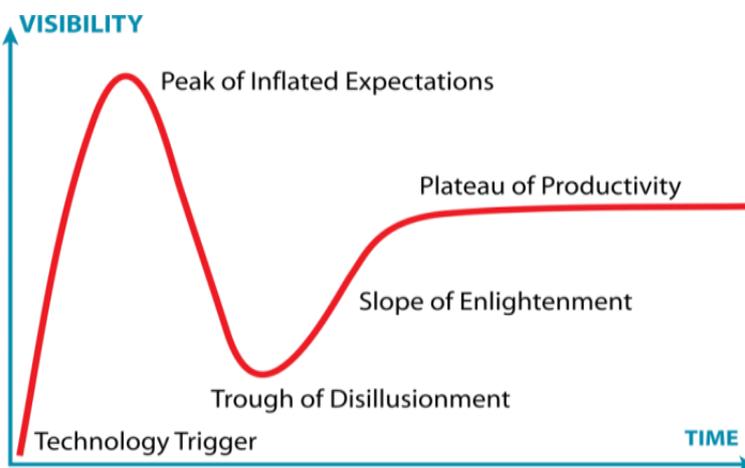


Рис. 1. Прогноз развития перспективных ИТ

Модель показывает, насколько перспективной является технология на основании степени интереса к ней со стороны общества и специалистов. Как правило, она используется при принятии решений об использовании той или иной технологии в бизнесе или инвестировании в бизнес, который использует эту технологию. Цикл представляет собой график кривой, на которой отображаются позиция технологии. На оси абсцисс отображаются этапы во времени, которые проходят технологии. На оси ординат – уровень ожиданий от этой технологии. Точка технологии на графике может принадлежать одному из пяти типов в зависимости от прогноза зрелости конкретной технологии.

Сотрудники американской консалтинговой компании *Gartner* выделяют следующие типы: меньше, чем через 2 года; от 2 до 5 лет; от 5 до 10 лет; больше, чем 10 лет; устарела до плато (*obsolete before plateau*). Любая технология циклически проходит этапы своей зрелости, от рождения до стабильного коммерческого внедрения:

- *technology trigger* (**Технологический триггер**). Технология зарождается. Начинаются обсуждения в среде специалистов с постепенной миграцией публикаций в общественную прессу. Некоторые технологии «умирают» на этой ступени.
- *peak of inflated expectation* (**Пик чрезмерных ожиданий**). Общественный ажиотаж приводит к чрезмерному энтузиазму и нереалистичным ожиданиям. Появляются первые компании, которые пробуют внедрить технологию. Как правило, неудачные, но, благодаря новизне, технология становится популярной и вызывает бурные обсуждения в социуме.
- *trough of disillusionment* (**Пропась разочарования**). Выявляются недостатки технологии. В социуме отмечается разочарование технологией, связанное с несоответствием ожиданиям. Не все технологии могут преодолеть пропасть, оставаясь в ней на долгое время или навсегда.
- *slope of enlightenment* (**Склон просвещения**). Эффективный поиск решений проблем технологии. Технология преодолевает основные недостатки. Появляются первые коммерческие внедрения и стабильная аудитория. После успешных попыток и полученных результатов интерес социума начинает возвращаться.
- *plateau of productivity* (**Плато продуктивности**). Технология переходит из разряда новой в достоверно разработанную и подтвержденную на практике. Внедрение технологии можно повсеместно наблюдать в рамках её бизнес-домена. Общество воспринимает технологию как данное, осознавая её реальные преимущества и недостатки.

Прогноз развития перспективных моделей ИТ от компании *Gartner* на 2016 представлен на рис. 2.

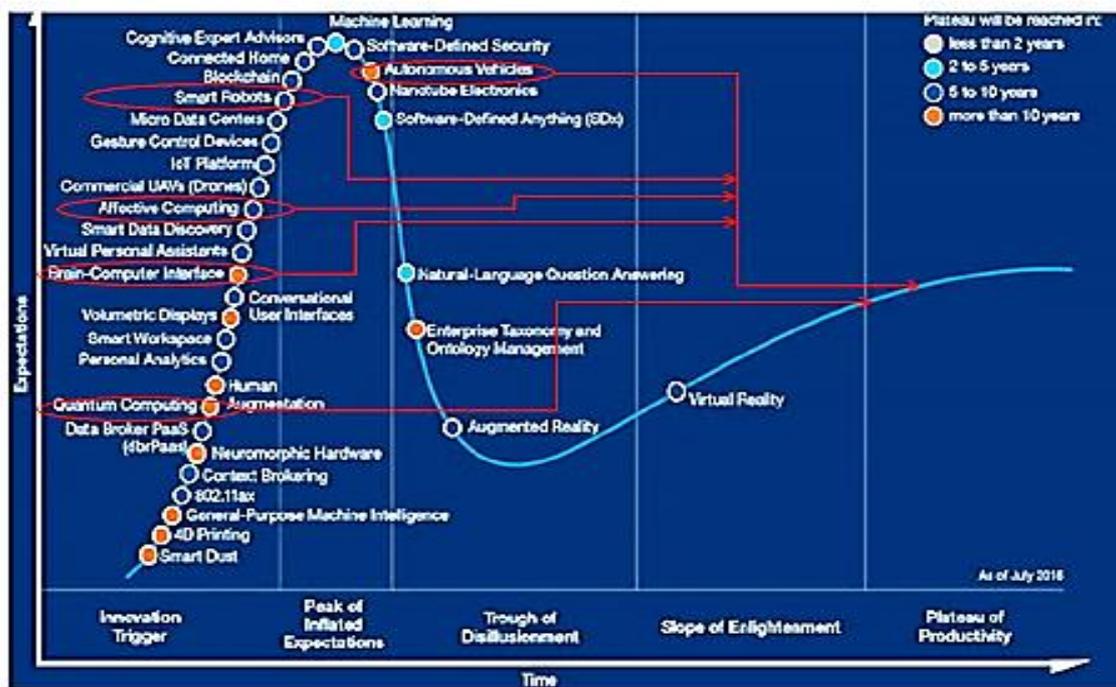
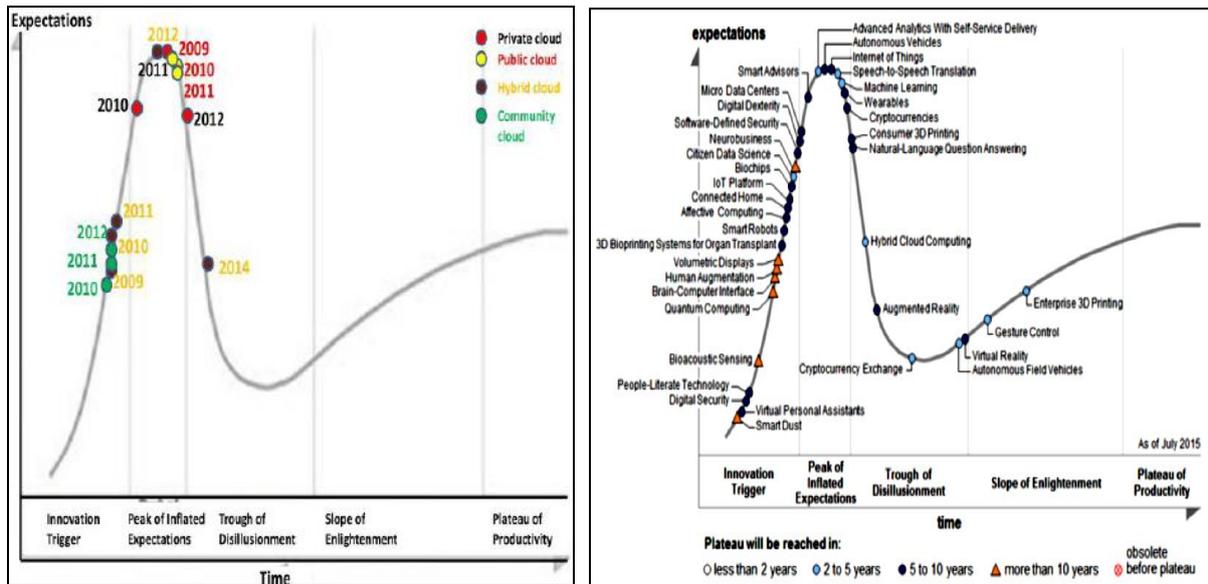


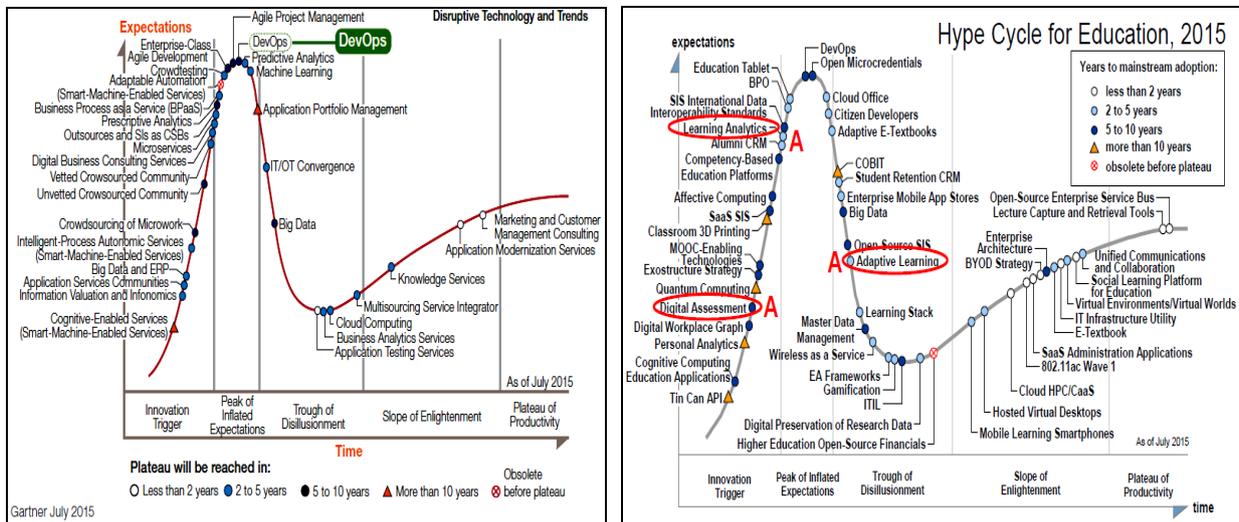
Рис. 2. Перспективы развития ИТ на 2016 г.

На рис. 3, а, б показан анализ перспективных ИТ в области облачных вычислений и робототехники [11-14], соответственно.



(a)

(б)



(v)

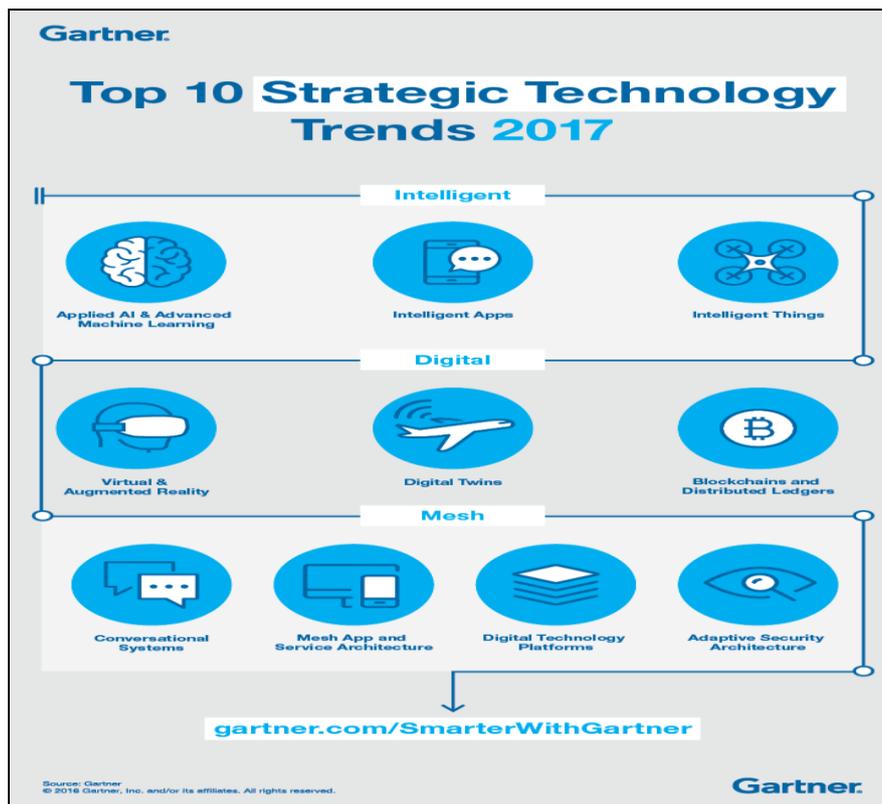
(z)

Рис. 3. Развитие ИТ в области облачных вычислений (а), робототехники (б), автоматизации (в) и образовательных процессов (z)

Основная критика предложенной фирмой *Gartner* модели связана с тем, что о перспективности технологии судят по количеству положительных и отрицательных упоминаний о ней в социуме, а не некоторых объективных критериях, отображающих действительную эффективность технологии. Использование этой модели накладывает риск на того, кто её использует, что и подтверждают небольшое количество неверных заключений самой компании *Gartner*, сделанных при помощи этой модели. В частности, *Gartner* ежегодно составляет «циклы зрелости технологий» – *Gartner Hype Cycle*, в которых прогнозирует темпы развития инноваций. Издание *Startuplife.by* показало, какие 10 трендов, по мнению *Gartner*, будут развивать прогресс в 2017 г. Например, кроме «цикла ажиотажа» *Gartner* собирает ТОП-10 технологий в трёх категориях. Каждый год технологии и циклы преимущественно разные. Так выглядит прогноз агентства *Gartner* на 2017 г.

TOP 10 Trends 2015-2017

2015	2016	2017
Merging the Real World and Virtual World	Digital Mesh	Intelligent
Computing Everywhere	Device Mesh	Artificial Intelligence and Advanced Machine Learning
The Internet of Things	Continuous & Ambient UX	Intelligent Apps
3D Printing	3D Printing Materials	Intelligent Things
Intelligence Everywhere	Smart Machines	Digital
Advanced, Pervasive and Invisible Analytics	Information of Everything	Virtual Reality and Augmented Reality
Context-Rich Systems	Advanced Machine Learning	Digital Twins
Smart Machines	Autonomous Agents & Things	Blockchains and Distributed Ledgers
The New IT Reality Emerges	New IT Reality	Mesh
Cloud/Client Computing	Adaptive Security Architecture	Conversational Systems
Software-Defined Applications and Infrastructure	Advanced Systems Architecture	Digital Technology Platforms
Web-Scale IT	Mesh App & Service Architecture	Mesh App and Service Architecture
Risk-Based Security and Self-protection	IoT Architecture & Platforms	Adaptive Security Architecture



ИТ проектирования интеллектуальной робототехники, как отмечалось выше, по своей сути опирается на ИТ искусственного интеллекта (раздел *Intelligent*), новые виды интеллектуальных и когнитивных вычислений, новые виды интеллектуального когнитивного управления типа нейроинтерфейсы «мозг – компьютер – исполнительное устройство» и др.

Если обратиться к графику на рис. 2 и 3, то видно, что к самым перспективным ИТ относятся в частности ИТ «*quantum computing*», «*brain – computer interface*», «*affective computing*», «*smart robots*», «*machine learning*», «*autonomous vehicle*», которые и составляют платформу интеллектуальной когнитивной робототехники, которые и были ранее заложены в структуру разработанного интеллектуального робототехника.

Данный прогноз от *Gartner* можно в определенном смысле считать достаточно «запоздалым», так как ещё с 1996 г. перечисленные ИТ являются для групп проф. С.В. Ульянова в РФ, Италии, Японии и США предметом интенсивного исследования, и закреплены соответствующей интеллектуальной собственностью высшей категории в виде публикаций и патентов в США, странах ЕС, Китае и Японии (см., например, [1-9] и цитированную литературу).

Эволюция и синергетика ИТ в проектировании корректных моделей интеллектуальных робототехнических систем

Согласно прогнозу данные ИТ могут быть реализованы через 10 и более лет. Однако синергетический эффект, полученный группами проф. С.В. Ульянова на протяжении 37 лет в университетах СССР (МИРЭА и ФизТех, Москва), ИПУ, ИФТП и ИПМ АН СССР (Москва), Японии (*University of Electro-Communications, Tokyo, Chofu*), Италии (*Milan University, Crema*) и США (*CA University, San Diego*), а также в *R&D Centers (ST Microelectronics & Yamaha Motors Co., Ltd.)*, от взаимодействия перечисленных выше ИТ в разработке ИТ проектирования интеллектуальной робототехники, дал положительный результат как в ускоренном развитии и разработке указанных ИТ, так и в реализации самой интеллектуальной робототехники.

Полученный синергетический эффект [10] намного опередил прогноз от компании *Gartner* и составил основу разработки ИТ модели интеллектуального роботренажера.

В частности, появилась возможность создать принципиально новую научно обоснованную платформу образовательного процесса в интеллектуальной робототехнике на основе нового вида интеллектуального самоорганизующегося роботренажера, учитывающий в учебном процессе опережение результатов разработки ИТ проектирования на базисе интеллектуальных вычислений и новых видов мехатроники.

В данном образовательном процессе обучающийся формирует свои активные знания за счет участия в создании новых видов мехатроники, алгоритмического обеспечения и программного продукта для интеллектуального когнитивного управления конкретного робота. В этом случае осуществляется извлечение новых знаний и обучающийся может непосредственно оценить приобретенные знания, сравнивая с предыдущими этапами, например, исследования и формирования БЗ самоорганизующегося нечеткого регулятора и т.п. Поэтому синергетический эффект самоорганизации знаний может быть проверен непосредственно математическим и физическим (натурным) моделированием на разработанном роботренажере.

Рассмотрим кратко концепцию построения интеллектуального самоорганизующегося роботренажера для когнитивного обучения проектированию интеллектуальной робототехники.

Базис и структура интеллектуального роботренажера

Хронологически первые итоги формирования научно-технического базиса ИТ разработки интеллектуальной робототехники (в частности, построения корректных нечетких моделей нелинейных систем, применяемых в робототехнике, с точки зрения информационно-термодинамических критериев), на основе вероятностного исчисления и нечеткого анализа, были доложены в 1975 г. в Бостоне¹ и в 1978 г. в Хельсинки² на Международных конгрессах по автоматическому управлению (*IFAC*) [15, 17] и обобщены разработкой информационной теории систем управления в [18, 19].

В дальнейшем, наукоёмкая ИТ проектирования моделей интеллектуальной робототехники была усилена на основе синергии ИТ интеллектуальных вычислений типа вероятностных, мягких, дробных, когнитивных, квантовых вычислений и *Kansei / Affective computing* [20-22].

¹С.В.У. благодарит проф. Р. Галлагера за помощь в корректировке терминов формата IEEE английского варианта и обсуждение статьи [16] в Бостоне (1975 г.) и Репино (1976 г.).

² Автор (С.В.У.) благодарит Л. Заде за представление и обсуждение доклада в Хельсинки (1978 г.)

На рис. 4 приведены взаимосвязи ИТ интеллектуальных вычислений и современных методов теории управления, применяемых в разработанной ИТ проектирования интеллектуальной робототехники. Как следует из рис. 4 конечным результатом ИТ проектирования когнитивных ИСУ является разработка объектов интеллектуальной собственности через реализацию соответствующих бизнес-программ [23]. Основу интеллектуального когнитивного управления составляет ИТ проектирования самоорганизующихся интеллектуальных когнитивных робастных систем управления, базирующихся на разработанном квантовом алгоритме самоорганизации БЗ в виде нового квантового нечеткого вывода (КНВ).

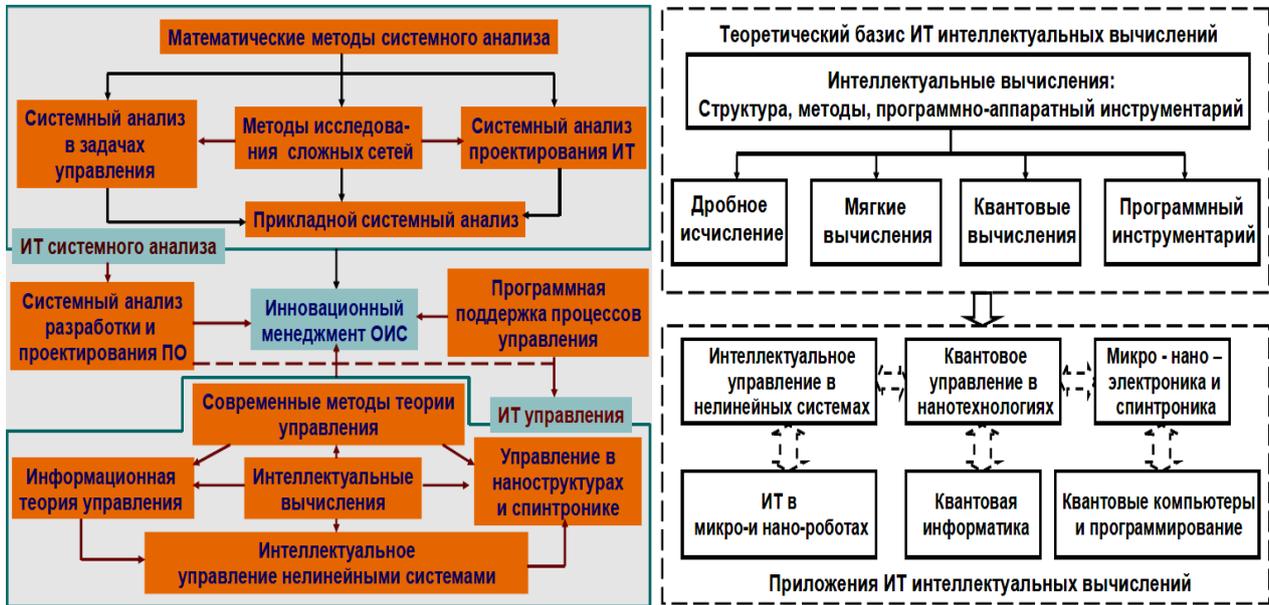


Рис. 4. Взаимосвязи между ИТ интеллектуальных вычислений и ИТ проектирования робототехники

Модель КНВ является частным случаем разработанного квантового алгоритма самоорганизации и представляет, в свою очередь, новый вид квантового поискового алгоритм, а совместно с разработанным новым типом квантового генетического алгоритма позволяет решить задачу достижения глобальной робастности поведения интеллектуального робота в условиях непредвиденных ситуаций управления.

На рис. 5 приведены взаимосвязи квантовой интеллектуальной ИТ, которая составляет основу для проектирования, в частности, нанороботов (подробности см. в [24]).

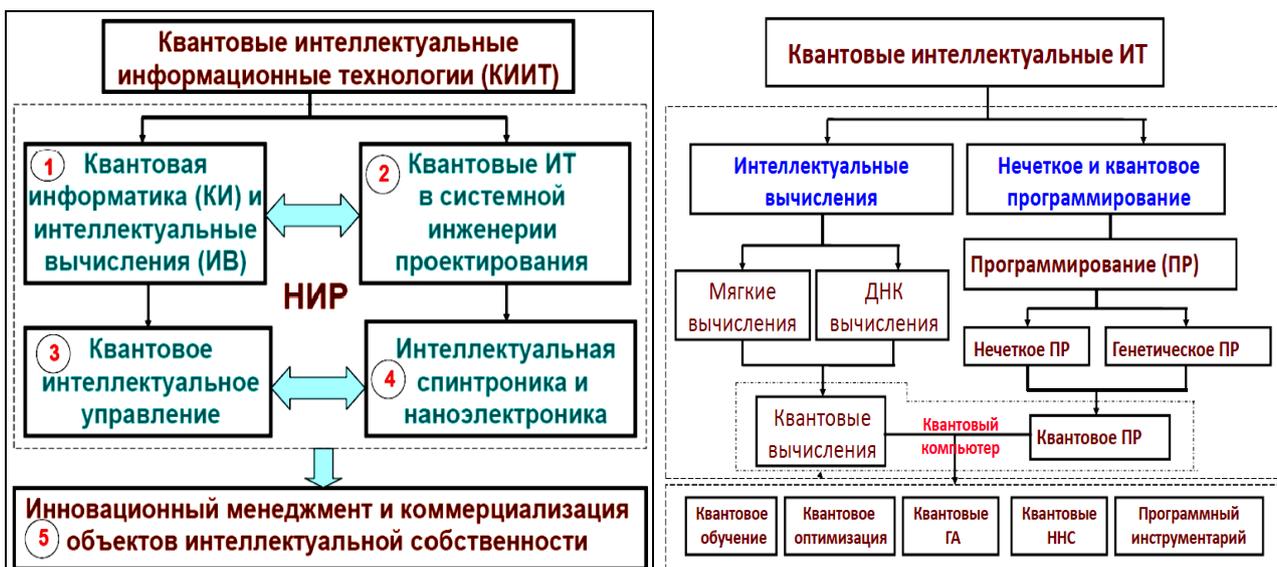


Рис. 5. Взаимосвязи ИТ интеллектуальных вычислений и квантовой информатики

Таким образом, платформу теории и систем робастного интеллектуального управления составляют новые виды интеллектуальных вычислений, которые представляют самостоятельные результаты в области математики и информатики.

Все перечисленные и другие разработанные виды интеллектуальных вычислений защищены патентами и публикациями (см. сайт <http://www.qcoptimizer.com>). Основу новых моделей мехатроники составляют разработанные роботы вертикального перемещения, автономные роботы сервисного обслуживания, одноколесный робот-велосипед, робот-мотоцикл и др. Интеллектуальные системы управления данными роботами основаны на ИТ перечисленных видов интеллектуальных вычислений (см. Часть 4).

Общая концепция развития данного направления заключается в создании так называемого интеллектуального робототренажера (рис. 6).



Рис. 6. Концепция интеллектуального тренажера

Центральным элементом концепции является научно исследовательская группа, сформированная на базе ГУ «Дубна». Ресурсом группы являются информационные технологии проектирования ИСУ на основе разработанных инструментариев для работы со знаниями (извлечение, структуризация, оптимизация). Техническим ресурсом являются апробированные технологии проектирования на конкретных, технических и промышленных стендах, что позволяет демонстрировать отличительные особенности технологий и привлекать сторонних заказчиков.

Разработанный интеллектуальный робототренажер позволяет осуществлять проектирование и реализацию ИСУ для различных технических устройств, сборку макетов робототехнических изделий – тренажеров, для дальнейшей демонстрации потенциальным заказчикам и заинтересованным организациям, программирование, моделирование и реализация программных продуктов в области интеллектуальной робототехники, распознавания образов, взаимодействии многоагентных систем. Персоналом такой группы являются аспиранты и специалисты в области разработки программного обеспечения.

Так же на рис. 7 представлен лабораторный базис интеллектуального робототренажера.



Рис. 7. Базис и модели реализованных робототехнических систем

Разработанный программный продукт в виде оптимизаторов на мягких и квантовых вычислениях решает поставленную проблему: 1) в области ИСУ техническими системами и 2) когнитивного управления на основе интерфейсов «мозг человека – компьютер – исполнительное устройство».

Учен 25-летний опыт разработки и внедрения ИСУ в промышленных компаниях *Yamaha Motor Co.* и *ST Microelectronics* и учебно-образовательного процесса в университетах *University of Electro-Communications (Tokyo, Japan)* и *Milan University* в области интеллектуальной робототехники.

Выводы

Разработана научно обоснованная структура интеллектуального тренажера, позволяющая реализовать проектирование роботов с различными уровнями интеллектуальности. Основу процессов проектирования составляют оптимизаторы БЗ, реализованные на технологиях мягких и квантовых вычислений. В процессе работы с тренажером обучающийся самостоятельно извлекает новые знания о процессе проектирования робастных БЗ и получает навыки проектирования самоорганизующихся ИСУ роботами, функционирующих в условиях непредвиденных (нештатных) ситуаций.

Таким образом, базисом в области современного образовательного процесса может служить концепция интеллектуального робототренажера, которая включает в себя самые современные теоретические и технологические наработки в области технологии проектирования интеллектуальных систем управления, и соответственно разработке программного обеспечения.

Список литературы

1. Ulyanov S.V. et al Fuzzy models of intelligent industrial controllers and control systems: I. Organizational, engineering, cost, and applied aspects // J. of Computer and Systems Sciences Intern. 1994. – Vol. 32. – № 1. – Pp. 123-144. (русский вариант: Изв. АН СССР. Техн. Кибернетика. – 1992. – №5. – С. 171-196).
2. 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. – № 8. – Pp. 1102-1105.

3. Ulyanov S.V., Rizzotto G.G. et all. Soft computing simulation design of intelligent control systems in micro-nano-robotics and mechatronics // *Soft Computing*. – 2000. – Vol. 4. – Pp. 147-156.
4. Ulyanov S. V. et all Design of self-organized intelligent control systems based on quantum fuzzy inference: Intelligent system of systems engineering approach // *Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC', 2005)*. Hawaii, USA. – 2005. – Vol. 4. – Pp. 3835-3840.
5. Ульянов С. В., Тятюшкина О. Ю. Нечеткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления: Научно-организационные, технико-экономические и прикладные вопросы // *Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание*. – Дубна, 2011. – №2. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sanse.ru/archive/2> (дата обращения: 12.02.2017).
6. Ulyanov S.V., Reshetnikov A.G., Nikolaeva A.V. et all. Quantum fuzzy inference gate design in robust intelligent control of robotics and mechatronics // *Proc. IEEE 18th Intern. Conf. on Intelligent Eng. Systems, July 3-5, 2014 (INES' 2014)*, Hungary. – 2014. – Pp. 263-268.
7. Ulyanov S.V. Self-organization quantum robust control methods for situations with uncertainty and risk. – Patent US No 2013 / 0096698 A1 // Заявлено 14.11.2011, опубл. 18.04.2013 (USA Patent Application). Приоритет 14.10.2011 (Россия).
8. Ульянов С.В., Решетников А.Г., Решетников Г.П. Технологии интеллектуальных вычислений: Квантовые вычисления и программирование в самоорганизующихся интеллектуальных системах управления. – Дубна: УИИЦ ОИЯИ (УИИЦ-2015-56), 2015.
9. Ulyanov S.V. et all Quantum information and quantum computational intelligence: Quantum optimal control and filtering – stability, robustness, and self-organization models in nanotechnologies. – *Universita degli Studi di Milano, Polo Didattico e di Ricerca di Crema Publ.* – Vol. 82, 2007.
10. Ульянов С.В. Интеллектуальная робототехника Ч I: Креативный когнитивный образовательный процесс – синергетический эффект альянса сотрудничества «колледж – университет – компания – рынок» // *Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание*. – Дубна, 2016. – №4. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sanse.ru/archive/5> (дата обращения: 06.03.2017).
11. Adamuthe A.C., Tomke J.V., Thampi G.T. An empirical analysis of hyper-cycle: A case study of cloud computing technologies // *Intern. J. of Adv. Res. in Computer and Commun. Eng.* – 2015. Vol. 4. – № 10. – Pp. 316-323.
12. Christensen H.I., Okamura A., Mataric V. et all (Eds) Next generation robotics. – *Computing Community Consortium (CCC) Catalyst*. – 2015.
13. Menzel G., Macaulay A. DevOps – The future of application lifecycle automation. – *Capgemini (Infrastructure Services)*. – 2016.
14. Loweland J.-M. Understanding emerging technologies in high education. – *Gartner*. – 2015.
15. Petrov B.N., Ulanov G.M., Ulyanov S.V. et all. Information foundations of control systems // *Proc. of the IFAC 6th World Congress, Boston/Cambridge, Massachusetts, US, August 24-30, 1975*. – Pp. 712-719.
16. Petrov B.N., Dobrushin R.L., Pinsker M.S., Ulyanov S.V. et all. On some interrelation between the theories of information and control // *Problems of Control and Information Theory*. – 1976. – Vol. 5. – № 1. – Pp. 31-38.
17. Petrov B.N., Pugachev V.S., Ulanov G.M., Ulyanov S.V. et all. Information foundations of qualitative theory of control systems // *Proc. of the Triennial World Congress of IFAC.: Helsinki, Finland, 12-16 June 1978*. – Vol. 3. – Pp. 1037-1046.
18. Петров Б.Н., Уланов Г.М., Хазен Э.М., Ульянов С.В. Информационно-семантические аспекты процессов управления и организации. – М.: Наука, 1977.
19. Петров Б.Н., Гольденблат И.И., Уланов Г.М., Ульянов С.В. Теория моделей в процессах управления: Термодинамический и информационный аспекты. – М.: Наука, 1978.

20. Ulyanov S. V. Intelligent self-organized robust control design based on quantum/soft computing technologies and Kansei Engineering. // Computer Science J. of Moldova. – 2013. – Vol. 21, № 2(62). – Pp. 242-279
21. Ulyanov S. V., Yamafuji K. Intelligent self-organized cognitive controllers. Pt 1: Kansei / Affective engineering and quantum / soft computing technologies // Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание. – Дубна, 2014. – №4. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sanse.ru/archive/5> (дата обращения: 06.02.2017).
22. Ulyanov S.V. et al. Intelligent robust control system based on quantum KB-self-organization: Quantum soft computing and Kansei / Affective engineering technologies // Proc. of the 7th IEEE Intern. Conf. Intelligent Systems (IS'2014), September 24 - 26, 2014. – Warsaw, Poland, Vol. 2: Tools, Architectures, Systems, Applications. – Pp. 37-48.
23. Ульянов С.В., Хендерсон Л. Интеллектуальная собственность в инновационном инженерном менеджменте: Защита от рисков бизнес моделей интеллектуальных систем управления // Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание. – Дубна, 2010. – №4. – [Электронный ресурс]. URL: [http://www.sanse.ru/archive/ 5](http://www.sanse.ru/archive/5). – 0421000111\0037.
24. Ульянов С.В. и др. Квантовая релятивистская информатика. – LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, 2015.