

УДК 001.89; 004.89; 004.94; 602; 620.3; 007.52

MSC 68W50; 92-10; 92C75

DOI: 10.35330/1991-6639-2020-6-98-34-42

ПОИСК МЕТОДОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ БИОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БИОНАНОУСТРОЙСТВ И СИСТЕМ БИОНАНОРОБОТОТЕХНИКИ

А.У. ЗАММОЕВ, Р.Н. АБУТАЛИПОВ

Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр
«Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»
360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а
E-mail: iipru@rambler.ru

С появлением многоклеточных инженерных живых систем (M-CELS) цели и задачи молекулярного производства изменились. Стала актуальной проблема поиска методов и возможностей применения современных технологий виртуального прототипирования и конструирования биоинженерных систем при проектировании бионаноробототехники и систем бионаноробототехники. В статье изложены предложения по развитию бионаноробототехники посредством интеграции базового универсального технологического цикла и масштабируемого конвейера для проектирования реконфигурируемых организмов.

Ключевые слова: бионаноробототехника, биоинженерные системы, M-CELS, масштабируемый конвейер, реконфигурируемые организмы, CDO, ассемблер, фабрикатер, эволюционное моделирование, виртуальное прототипирование, физическое прототипирование.

Интеллектуальная информационно-управляющая система – когнитивная информационно-коммуникационная система (КИКС) БНРТ посредством технических средств нижнего уровня выполняет задачи управления и контроля последовательностью технологических процессов на этапах базового универсального технологического цикла (БУТЦ) БНРТ [1, 2]. Производство опытных образцов модельного ряда как материальная реализация симуляции в процессе проектирования для перехода от моделирования к прототипированию может быть одним из таких этапов [3].

КИКС получает от внешнего агента априорную информацию о целях исследования или проектирования, доступных методах макро- и микромасштабного структурирования среды физического прототипирования и физико-химического стимулирования и контроля статистически наблюдаемых параметров среды. Данные и представления о структуре и поведении объектов среды в КИКС БНРТ могут быть получены методом познавательного моделирования в интеррепрезентационных сетях (ИРС) для реализуемых БУТЦ прототипов проектируемых конструкций [5].

Рассмотрение перспективной области биопроизводства M-CELS, «многоклеточных инженерных живых систем», которые состоят из взаимодействующих популяций клеток, привело нас к выводу о возможности модернизации одной из основных задач БНРТ – осуществление для конкретной технической системы сходства бионаномашин с наномехатронными устройствами, ограниченными спецификой условий бионаносреды (см. в этом же номере другую нашу работу).

Представленный в работе [3] масштабируемый конвейер для создания перенастраиваемых (реконфигурируемых) вычислительно разрабатываемых организмов (computer designed organisms – CDO) обладает сходством с БУТЦ и может с учетом указанной выше

модернизации БНРТ использоваться для проектирования и прототипирования молекулярных биомашин для БНРТ.

Общие черты [1, 2, 3]:

- наличие ограниченно наблюдаемой физической среды с возможностью комбинаторного построения агрегатов с неопределенными заранее свойствами и формами поведения;
- наличие информационно связанных этапов виртуального и реального прототипирования, предусматривающих физическую реализацию техпроцессов и систем, информационные модели которых отбираются в среде симуляции по критерию статистической репрезентативности наблюдения за их поведением в условиях реальной среды (репрезентативность [3-5]), и оценка соответствия целям исследования/проектирования;
- итерации, предусматривающие возникновение сложности объекта;
- идентификация данных, накопление и использование информации о сложности объекта в генетическом коде и информационных процессах его модификации – реконфигурирования.

Различия [1-3, 6]:

- КИКС в управлении БУТЦ БНРТ предусматривает одновременно и познавательное моделирование конфигураций объектов, и самоорганизацию конфигураций объектов, а в масштабируемом конвейере [3] обеспечиваются только условия самоорганизации конфигураций объектов;
- эмерджентность масштабируемого конвейера делает возможной в процессе эволюционного саморазвития реконфигурацию в виде адаптивной подналадки. БУТЦ предусматривает использование для адаптивной подналадки восходящего ряда (from the ground up [1, 3, 5]) когнитивных функций КИКС;
- в КИКС БНРТ допускается традиционное проектирование, известное как подход «сверху вниз».

Как система управления БУТЦ КИКС наблюдает за поведением реализуемых в физической среде интеллектуально-управляемых процессов взаимодействия элементов исследуемой бионаносистемы [2]. Накопленные в процессе наблюдения данные используются познавательным моделированием в проектировании для принятия интеллектуальным агентом решения о переходе между двумя подходами.

Проектирование CDO – это информационное моделирование, в котором, помимо моделей прогнозирования поведения, предусмотрено еще и структурное (топологическое) представление объекта [3, 4, 7]. Конструкции моделей симулируются в 4D среде проектирования «пространство-время» как 4D визуализация [5, 8, 9] по принципам эволюционного развития и как динамика поведения поликубов из полифункциональных вокселей, прогнозируемость поведения которых – основная цель разработки [3, 7].

КИКС предусматривает симуляцию на основе информационного моделирования комплексных объектов, представляющих динамическую совокупность элементов систем с условиями окружения и процессов как в самих системах, так и в условиях окружения систем [6, 10].

Таким образом, КИКС позволяет осуществлять познавательное-целевое моделирование проектируемых объектов в условиях неопределенности, когда материализуемый в реальной среде объект не обладает достоверно прогнозируемым поведением. При этом КИКС БНРТ фактически решает задачу идентификации проявляемых свойств поведения индивидуальной (bespoke) конфигурации объекта, которые явным образом не следуют из свойств элементов, хотя сведения о структуре объекта также могут быть неполными.

Такое свойство КИКС БНРТ позволяет полагать возможность организации процессов проектирования и исследования свойств различных классов объектов в средах их физической материализации с вышеупомянутыми свойствами неопределенности и независимо от масштаба. Например, при проектировании и исследовании свойств реконфигурируемых организмов в качестве такой среды используется биосреда из живых клеток различных ви-

дов, а в БНРТ наномасштабная среда самих живых клеток. Для первого случая нами был приведен пример реализации масштабируемого конвейера прототипирования ВРО [3], а для прототипирования бионаноустройств БНРТ описан БУТЦ [1].

Предложение схемы организации процессов создания объектов БНРТ в эволюционном развитии технологического базиса (в общем виде)

С учетом описания эволюционного подхода масштабируемого конвейера в [3, 4] и с учетом обновленных задач БНРТ предложение о возможном применении представленных в настоящей работе методов виртуального конструирования, проектирования и прототипирования биоинженерных систем БНРТ выглядит следующим образом.

Масштабируемый конвейер для проектирования реконфигурируемых организмов [3] рассматривается как условный образец универсального конвейера эволюционного проектирования объектов БНРТ, который может также использоваться для синтеза исследовательских гипотез при познавательном моделировании. БУТЦ – базовый универсальный технологический цикл, включает 10 тактов, в т. ч. такты самопроцесса и самоорганизации. В контексте данного предложения по физическому (материальному) прототипированию БУТЦ рассматривается как прототип специализированного техпроцесса по производству опытных образцов модельного ряда для материального воплощения симуляции в процессе проектирования для перехода от моделирования к прототипированию, то есть **специальный производственный унифицированный технологический цикл (СПУТЦ)**.

Конвейер – универсальный технологический цикл самопроектирования, включающий СПУТЦ на этапах реального прототипирования и эксперимента при исследовании бионаносистемы (БНС) или в процессе нанопроизводства. Конвейер практически выполняет функции синтеза и проверки исследовательских гипотез при целевом познавательном моделировании.

Конвейер СПУТЦ функционирует в специализированном комплексе технических систем – назовем этот комплекс предварительно «исследовательско-производственный комплекс» (ИПК) БНРТ. Этот комплекс состоит из необходимых технических средств и систем (в т.ч. аппаратная часть КИКС БНРТ и коммуникации), обладает материальным ресурсом (исходное сырье и технологические материалы). В нем используются программное обеспечение и информационные ресурсы, интерфейсы с интеллектуальными агентами и лицами. К лицам, принимающим решения, относятся: исследователь, конструктор, экспертное сообщество, агенты искусственного интеллекта. КИКС БНРТ в ИПК устраивает технологические, информационные и когнитивные процессы, связанные с взаимодействием технических средств в рабочем пространстве с объектами физической среды.

ИПК от стартовой конфигурации развивает исследование свойств и форм поведения бионанообъектов и накоплении знаний о них, поиск методов создания нанообъектов с заданными функциональными свойствами, создающие необходимые для целей решения прикладных задач структуры и поведение, а также организацию их производства.

Создаваемые на каждом цикле СПУТЦ объекты после принятия соответствующего решения включаются в технологическую базу БНРТ и могут быть использованы при создании объектов более высокого технологического уровня в последующих циклах СПУТЦ. В связи с этим в эволюционном развитии можно выделить создание множества объектов БНРТ, технологически связанных между собой. Пробная классификация этих объектов приведена в таблице 1.

ИПК первого рода выступают как стартовые конфигурации КИКС БНРТ, могут быть развиты через МДСИТИ на интегрированных технологических базах жестких, мягких и гибридных конструкций.

На основе стартовых конфигураций ИПК первого рода, позволяющих осуществлять контроль и управление процессами взаимодействия с объектами среды, становится воз-

возможным построение множества конфигураций исследовательских платформ первого рода для решения задач проверки исследовательских гипотез при целевом познавательном моделировании для уточнения и расширения базы знаний БНРТ.

Стартовые конфигурации ИПК первого рода позволяют создавать и контролировать условия для реализации самопроцессов, что дает возможность на их основе создавать стартовые конфигурации ассемблеров, а затем на их базе – стартовые конфигурации фабрикаторов, способные выполнять БУТЦ в КИКС БНРТ, реализуемого ИПК первого рода.

С высокой вероятностью можно ожидать, что на основе стартовых конфигураций ИПК первого рода и стартовых конфигураций фабрикаторов станет возможным создание прикладных наноустройств и систем первого рода.

Таблица 1

ПРОБНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ БНРТ В ЭВОЛЮЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БАЗИСА

№ п/п	Класс объекта	Предполагаемая технологическая база
1	ИПК первого рода (стартовые конфигурации)	А. Жесткие конструкции: интеграция технологий СнК/ЛнК/НБЭХ/МЭМС/НЭМС/LIGA/аддитивное прототипирование/микрофлюидика. Б. Мягкие конструкции: интеграция технологий ОнК/ЛнК/CDO/аддитивное прототипирование/микрофлюидика. В. Гибридные конструкции: интеграция технологий А и Б
2	Исследовательские платформы первого рода	ИПК первого рода
3	Стартовые конфигурации ассемблеров	ИПК первого рода
4	Стартовые конфигурации фабрикаторов	ИПК первого рода и стартовые конфигурации ассемблеров
5	Прикладные наноустройства первого рода	ИПК первого рода и стартовые конфигурации фабрикаторов
6	Прикладные системы наноустройств первого рода	ИПК первого рода и стартовые конфигурации фабрикаторов, прикладные наноустройства первого рода
7	ИПК второго рода	Прикладные системы наноустройств первого рода
8	Исследовательские платформы второго рода	ИПК второго рода
9	Ассемблеры второго рода	ИПК второго рода
10	Фабрикатеры второго рода	ИПК второго рода и ассемблеры второго рода
11	Прикладные наноустройства второго рода	ИПК и фабрикатеры второго рода
12	Прикладные системы наноустройств второго рода	ИПК, фабрикатеры и прикладные наноустройства второго рода

При достижении уровня создания прикладных БНРТС становится возможным переход на ИПК второго рода, создаваемых на их основе. ИПК второго рода предполагают создание объектов, аналогичных объектам первого рода (ассемблеров, фабрикаторов и прикладных БНРТ устройств и систем) на более высоком технологическом уровне.

Создание объектов каждого класса, из приведенных в таблице 1, сопровождается рядом процессов (рис. 1):

- создание концептуальных основ объекта (концептуальное проектирование);
- создание методических и технологических основ СПУТЦ прототипирования объекта как масштабируемого конвейера (поиск и теоретическое обоснование, МДСИТИ, создание или адаптация виртуальной среды симуляции, реализация аппаратно-программных комплексов и систем киберфизического прототипирования и исследования объектов данного класса на основе сформированных интегрированных технологий);
- реализация СПУТЦ как масштабируемого конвейера для проектирования объекта методами эволюционного моделирования (аналогичного описываемому в [3, 4]);

- принятие решений в зависимости от оценки степени приближения к целям проектирования или изменение/коррекция векторов проектирования.
 Приведем краткое описание этих процессов.

I. КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Предполагает создание целей и образа исследуемого или проектируемого объекта.

- формулирование целей исследования/проектирования;
- выбор методов и средств комплексной количественной и качественной оценки достижения целей исследования/проектирования;

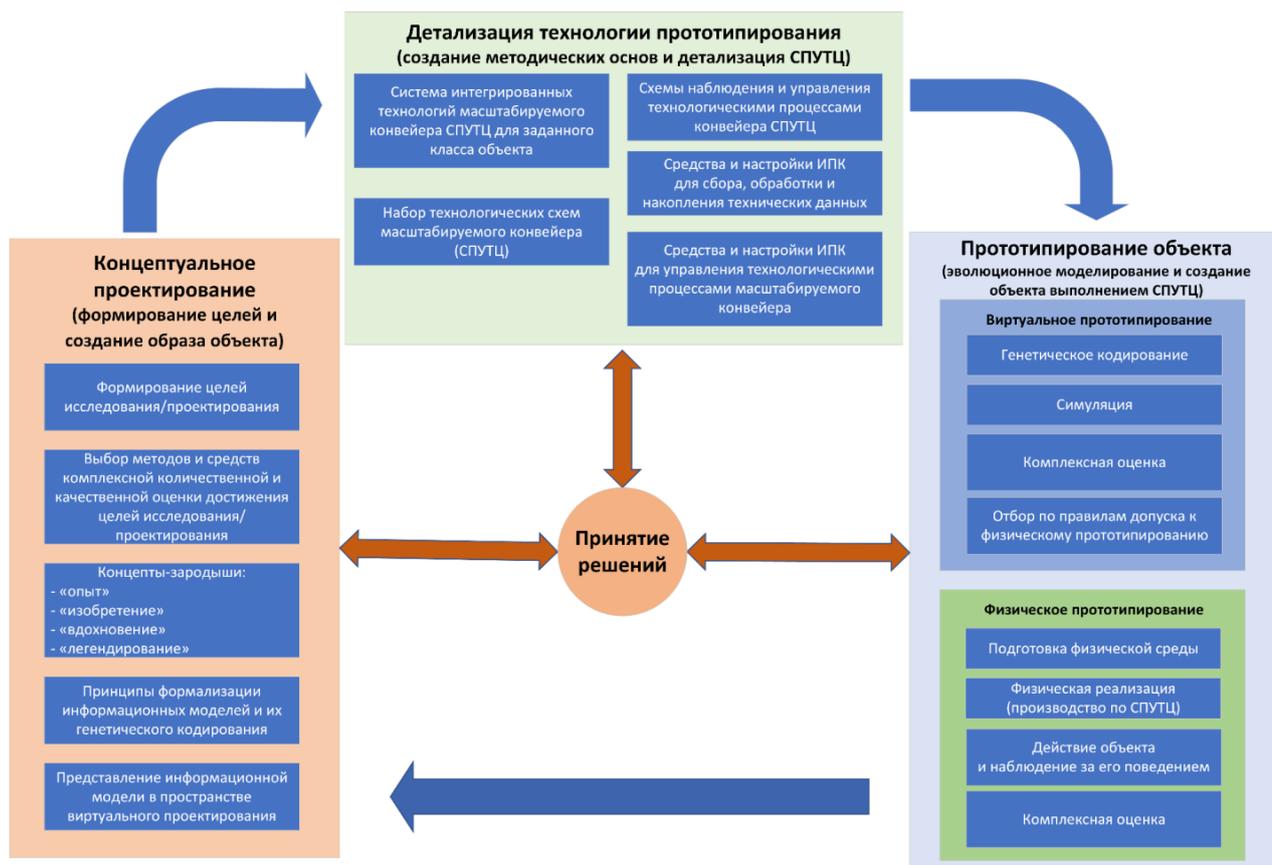


Рис. 1. Схема организации процессов создания объектов БНРТ в эволюционном развитии технологического базиса

- создание концептов-зародышей – гипотетических информационных моделей объектов, выступающих как стартовые конфигурации информационных моделей объектов исследования/проектирования, получаемые по априорной информации («опыт»), спонтанно возникшие догадки («изобретение»), полученные переносом информационных структур (знаний) из других предметных областей («вдохновение») или иного конвейера прототипирования («легендирование (loge)»);
- синтез принципов формализации информационных моделей и их генетического кодирования в категориях физико-химического стимулирования материи, включая методы эволюции и редукции информационных моделей;
- представление информационной модели когнитивной схемы/конструкта/концепта объекта в информационном пространстве виртуального проектирования как совокупности структурированных иерархически связанных между собой теоретических, технических и

экспериментальных данных об объекте, которые накапливаются и изменяются познавательно-целевым моделированием в процессе функционирования КИКС БНРТ.

II. ДЕТАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

Предполагает создание методических и технологических основ исследования-эксперимента и/или проектирования-прототипирования объекта.

Детализация СПУТЦ как линейного конвейера с входными данными о структуре исследуемой/проектируемой БНС, полученными познавательным моделированием КИКС и желаемым поведением изготовленной системы.

Методология МДСИТИ, подходы решения проблем трансдисциплинарного переноса информации, а также имеющиеся априорные и накопленные на предыдущих уровнях технические данные формируют технологический регламент СПУТЦ как масштабируемого конвейера:

- систему интегрированных технологий масштабируемого конвейера для СПУТЦ с учетом специфики элементов целевого объекта;
- набор технологических схем масштабируемого конвейера (СПУТЦ) для виртуального и реального прототипирования (технологические карты);
- схемы наблюдения и управления технологическими процессами конвейера СПУТЦ;
- технические средства, программное обеспечение и настройки ИПК для сбора, обработки, накопления технических данных;
- технические средства, программное обеспечение и настройки ИПК для управления технологическими процессами конвейера;
- масштабируемый подход к проектированию живых систем (living system) *in silico* масштабируемым эволюционным моделированием [8, table 1].

III. ЭВОЛЮЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ

Реализует детализированный СПУТЦ и включает связанные фазы: виртуальное прототипирование эволюционным моделированием и физическое прототипирование (материализация) объекта:

Виртуальное прототипирование

1. Генетическое кодирование информационных моделей по априорным правилам и с учетом критериев доминирования (значимости, адекватности, репрезентативности), априорности (концепты-зародыши), спонтанности (случайные векторы – мутации). Генерация ограниченного вычислительными возможностями симулятора множества индивидуальных информационных моделей как рабочих гипотез концептов объектов – когнитивных схем виртуальных прототипов объектов проектирования.

2. Симуляция информационных моделей по статистически значимым правилам (законам) для условий физического функционирования моделируемых объектов и формирование множества обобщенных метрик моделей для целей исследования/проектирования.

3. Комплексная оценка степени приближения к целям исследования/проектирования по данным симуляции.

4. Отбор информационных моделей по критериям допуска к физическому прототипированию (например, устойчивость объекта и реализуемость).

Физическое прототипирование

1. Подготовка физической среды на оборудовании текущего технологического уровня ИПК в соответствии с информационной моделью виртуального прототипа объекта. Структурное многомасштабное [8, table 1] конфигурирование рабочего пространства, количественная и качественная подготовка субстрата и реагентов в соответствии со стартовой конфигурацией, организация подвода и отвода энергии и вещества, настройка и тестирование каналов ввода-вывода потоков информации в КИКС БНРТ.

2. Физическая реализация средствами ИПК виртуального прототипа по принятому технологическому регламенту СПУТЦ (например, по разработанному 10-тактному базовому универсальному технологическому циклу нанопроизводства – БУТЦ).

3. Создание целевых условий функционирования объекта и наблюдение за поведением рабочей среды по отражающим потоки энергии и материалов сигналам датчиков в КИКС БНРТ ИПК.

4. Комплексная оценка степени приближения к целям исследования/проектирования по данным наблюдения за реальной физической средой.

Принятие решений

Процедуры принятия решений сопровождают переходы между этапами процесса создания объектов БНРТ и в процессе выполнения СПУТЦ, предусматривающего повторение фаз виртуального и реального прототипирования с накоплением экспериментальных и технических данных до выполнения условий достижения целей проектирования или принятия на более высоком уровне решений проектирования о прекращении процесса.

Выводы

1. Анализ масштабируемого конвейера для создания реконфигурируемых организмов (CDO) [3] и БУТЦ БНРТ [1] позволил выявить ряд признаков их сходства и различия, дающих основания для рассмотрения возможности их интеграции в контексте задач БНРТ.

2. Предложена классификация объектов БНРТ в эволюционном развитии технологического базиса.

3. На основе интеграции масштабируемого конвейера [3], БУТЦ [1] и КИКС БНРТ [2] предложена схема организации процессов создания объектов БНРТ эволюционного развития технологического базиса. Дано краткое описание этапов и процессов.

4. Предложена концепция **специального производственного унифицированного технологического цикла** (СПУТЦ) как конвейера материального воплощения симуляции для перехода от моделирования к прототипированию.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абуталипов Р.Н., Заммоев А.У., Нагоев З.В.* Бионаноробототехника: концептуализация, проблематика и задачи исследований // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2016. № 6(74). С. 11-17.

2. *Абуталипов Р.Н., Заммоев А.У.* Поиск, исследование и развитие технологий бионаноробототехники для устойчивого развития горных территорий в эпоху шестого технологического уклада // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 3(37). С. 447-457. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-3-447-457.

3. *Kriegman S. et al.* A scalable pipeline for designing reconfigurable organisms // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2020. V. 117. № 4. Pp. 1853-1859.

4. *Kriegman S., Blackiston D., Levin M., Bongard J.* Supplementary information for «A scalable pipeline for designing reconfigurable organisms». [Электронный ресурс]. URL: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1910837117.

5. *Абуталипов Р.Н., Заммоев А.У., Загазежева О.З.* Интеррепрезентативные сети (ИРС) и репрезентативность VR визуализации наноструктур и процессов в наносреде // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2016. № 4(72). С. 5-9.

6. *Абуталипов Р.Н., Заммоев А.У.* Доменная модель когнитивной инфокоммуникационной системы для интеллектуального медицинского онлайн-сервиса на базе бионаносенсорных устройств // Славянский форум. 2018. № 1. С. 104-113.

7. *Macklin D.N., Ruggero N.A., Covert M.W.* The future of whole-cell modeling // Current opinion in biotechnology. 2014. V. 28. Pp. 111-115.

8. Kamm R.D. et al. Perspective: The promise of multi-cellular engineered living systems // APL bioengineering. 2018. V. 2. № 4. P. 040901.

9. Matas J., James S., Davison A.J. Sim-to-real reinforcement learning for deformable object manipulation. [Электронный ресурс]. URL: arXiv preprint arXiv:1806.07851. 2018.

10. Абуталипов Р.Н., Заммоев А.У. Перспективы применения магнитосом на нижнем уровне физического домена когнитивной инфокоммуникационной системы медицинского онлайн-сервиса на базе бионаносервисных устройств // Материалы второй Международной научной конференции «Модели мышления и интеграция информационно-управляющих систем». 2018. С. 201-205.

REFERENCES

1. Abutalipov R.N., Zammoev A.U., Nagoev Z.V. *Bionanorobototekhnika: kontseptualizatsiya, problematika i zadachi issledovaniy* [Bionanorobotics: conceptualization, problems and research objectives] // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2016. № 6. Pp. 11-17.

2. Abutalipov R.N., Zammoev A.U. *Poisk, issledovanie i razvitie tekhnologii bionanorobototekhniki dlya ustoychivogo razvitiya gornyykh territoriy v epokhu shestogo tekhnologicheskogo uklada* [Search, research and development of bionanorobotics technologies for the sustainable development of mountain territories in the new techno-economic paradigm]. // *Ustoychivoye razvitiye gornyykh territoriy* [Sustainable development of mountain territories]. 2018. V. 10. № 3(37). Pp. 447-457. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-3-447-457.

3. Kriegman S. et al. A scalable pipeline for designing reconfigurable organisms // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2020. V. 117. № 4. Pp. 1853-1859.

4. Kriegman S., Blackiston D., Levin M., Bongard J. Supplementary information for "A scalable pipeline for designing reconfigurable organisms" // www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1910837117.

5. Abutalipov R.N., Zammoev A.U., Zagazezheva O.Z. *Interrepresentativnyye seti (IRS) i representativnost' VR vizualizatsii nanostruktur i protsessov v nanosrede* [Interrepresentative network (IRN) and representativeness of VR visualization of nanostructures and processes in nano-medium] // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2016. № 4 (72). Pp. 5-9.

6. Abutalipov R.N., Zammoev A.U. *Domennaya model' kognitivnoy infokommunikatsionnoy sistemy dlya intellektual'nogo meditsinskogo onlayn-servisa na baze bionanosensornykh ustroystv* [Cognitive infocommunication system domain model for intelligent medical online service based on biosensor devices] // Slavic Forum. 2018. № 1. Pp. 104-113.

7. Macklin D.N., Ruggero N.A., Covert M.W. The future of whole-cell modeling // Current opinion in biotechnology. 2014. V. 28. Pp. 111-115.

8. Kamm R.D. et al. Perspective: The promise of multi-cellular engineered living systems APL bioengineering. 2018. V. 2. № 4. P. 040901.

9. Matas J., James S., Davison A.J. Sim-to-real reinforcement learning for deformable object manipulation // arXiv preprint arXiv:1806.07851. 2018.

10. Abutalipov R.N., Zammoev A.U. *Perspektivy primeneniya magnitosom na nizhnem urovne fizicheskogo domena kognitivnoy infokommunikatsionnoy sistemy meditsinskogo onlayn servisa na baze bionanoservisnykh ustroystv* [Prospects of the application of the magnetosome at the low level of the physical-domain of cognitive infocommunications system of medical online service on the basis of biosensor devices] // *Materialy vtoroy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Modeli myshleniya i integratsiya informatsionno-upravlyayushchikh sistem»* [Materials of the second International scientific conference "Thinking models and the integration of information and control systems"]. 2018. Pp. 201-205.

SEARCH FOR METHODS AND STUDY OF THE POSSIBILITIES OF USING MODERN TECHNOLOGIES OF VIRTUAL PROTOTYPING AND DESIGN OF BIOENGINEERING SYSTEMS IN THE DESIGN OF BIONANODEVICES AND SYSTEMS OF BIONANOROBOTICS

A.U. ZAMMOEV, R.N. ABUTALIPOV

Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
Branch of Federal public budgetary scientific establishment «Federal scientific center
«Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»
360000, KBR, Nalchik, 37-a, I. Armand St.
E-mail: iipru@rambler.ru

With appearance of multicellular engineering living systems (M-CELS), the goals and objectives of molecular production have changed. The problem of searching for methods and possibilities of using modern technologies of virtual prototyping and designing of bioengineering systems in the design of bionanodevices and systems of bionanorobotics has become urgent. The article presents proposals for the development of bionanorobotics by integrating basic universal technological cycle and a scalable pipeline for the design of reconfigurable organisms.

Keywords: bionanorobotics, bioengineering systems, M-CELS, scalable pipeline, reconfigurable organisms, computer designed organisms, assembler, fabricator, evolutionary modeling, virtual prototyping, physical prototyping.

Работа поступила 03.12.2020 г.

Сведения об авторах:

Заммоев Аслан Узейрович, к.т.н., зав. совместной лабораторией ИИПРУ КБНЦ РАН и НПО «Андроидная техника» «Бионаноробототехника», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.

E-mail: zammoev@mail.ru

Абуталипов Ренат Надельшаевич, к.т.н., с.н.с. совместной лаборатории ИИПРУ КБНЦ РАН и НПО «Андроидная техника» «Бионаноробототехника», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.

E-mail: bnt_nat_2016@mail.ru

Information about the authors:

Zammoev Aslan Uzeyrovich, Candidate of Technical Sciences, Head of the joint laboratory “Bionanorobotics” of the Institute of Computer Sciences and Problems of Regional Management of KBSC of RAS and Scientific-Production Association “Android Technics”.

360000, KBR, Nalchik, I. Armand street, 37-a.

E-mail: zammoev@mail.ru

Abutalipov Renat Nadelshaevich, Candidate of Technical Sciences, Senior researcher of the joint laboratory “Bionanorobotics” of the Institute of Computer Sciences and Problems of Regional Management of KBSC of RAS and Scientific-Production Association “Android Technics”.

360000, KBR, Nalchik, I. Armand street, 37-a.

E-mail: bnt_nat_2016@mail.ru