



ИНДУСТРИЯ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ: ОТ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ СУВЕРЕНИТЕТУ

MICRO- AND NANOSYSTEMS INDUSTRY: FROM IMPORT SUBSTITUTION TO TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY

УДК 621.3, ВАК 05.27.01, DOI: 10.22184/1993-8578.2018.11.5.450.461

В.Лучинин*
V.Luchinin*

Доминирующим фактором, определяющим развитие России в условиях глобальной конкуренции, является "технологический прорыв" как стратегический вектор позиционирования государства на рынках военной и гражданской продукции с целью защиты его жизненно важных интересов и перехода к новому технологическому укладу. В системе обеспечения технологической безопасности России в существующей и прогнозируемой системе отношений, в том числе с учетом приоритетов так называемой цифровой экономики, базовым элементом "мягкой силы", безусловно, является интеллектуальный потенциал нации, инновационность и конкурентоспособность продукции микро- и наноиндустрии. Все вышесказанное интегрируется в рамках понятия "научно-технологический суверенитет" (от франц. la souveraineté – независимость, самостоятельность). В условиях глобализации, безусловно, неизбежно сокращение суверенитета, в то время как интеллектуальная изоляция ведет к стагнации, поэтому необходимо обеспечить лидерство по ряду ключевых направлений, определяющих глобальную независимость, паритет и превосходство.

The dominant factor determining the development of Russia in the conditions of global competition is the "technological breakthrough" as a strategic vector of positioning the state in the markets of military and civilian products in order to protect its vital interests and move to a new techno-economic paradigm. In the system of ensuring technological security of Russia in the existing and forecasted system of relations, including taking into account the priorities of the so-called "digital economy", the basic element of "soft power" is undoubtedly the intellectual potential of the nation, innovation and competitiveness of micro- and nanoindustry products. All of the above is integrated within the concept of "scientific and technological sovereignty". In the context of globalization, the reduction of sovereignty is inevitably. While intellectual isolation leads to stagnation, it is therefore necessary to provide leadership in a number of key areas that determine global independence, parity and superiority.

Целью настоящей статьи является анализ базовых направлений парадигмы "технологического суверенитета" России применительно к развитию микро- и нанотехники как базиса инфо-, энерго- и биотехносферы шестого технологического уклада.

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ БАЗИС ШЕСТОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УКЛАДА. МИКРО- И НАНОТЕХНИКА

Следует отметить, что движущими силами, определяющими динамику становления и развития нового технологического уклада, являются не

* Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" (СПбГЭТУ "ЛЭТИ") (197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5) / Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI" (ETU "LETI") (5, ul. Professora Popova, St. Petersburg, 197376, Russia)



Таблица 1. Характеристики 6-го технологического уклада
Table 1. Characteristics of 6th techno-economic paradigm

Базовые технологии Basic technologies	Решаемые задачи Objectives
<ul style="list-style-type: none"> • Атомно-молекулярная инженерия • Бионическая инженерия и робототехника • Биоинформационные и инфо-сетевые технологии • Микро- и наноэнергетика • Транспортные коммуникационные технологии • Космические технологии • Atomic Molecular Engineering • Bionic engineering and robotics • Bioinformatics and info-network technologies • Micro- and nanoenergy • Transport communication technology • Space technology 	<ul style="list-style-type: none"> • Глобальные информационные коммуникационные сети • Системы искусственного интеллекта и искусственные органы • Комплексная роботизация. Нетрадиционная энергетика • Освоение труднодоступного земного и внеземного пространства • Global information communication networks • Artificial intelligence systems and artificial organs • Integrated robotization. Unconventional energy • Development of remote terrestrial and extraterrestrial space

только экономические стимулы, но и ряд базовых факторов, которые тесно связаны с такими понятиями, как национальная и технологическая безопасность, превосходство и паритет. Их обеспечение в рамках государственных интересов наряду с коммерциализацией продукции вносит значительный вклад в эволюции системообразующих технологий, определяющих облик нового технологического уклада (табл.1) [1]. Не обладая достаточной совокупностью знаний, необходимых для анализа всего комплекса технологий, которые определяют формирование шестого технологического уклада, обратимся лишь к направлениям микро- и наноинженерии.

В рамках анализа базовых тенденций развития естественно-научного базиса шестого технологического уклада следует отметить, что основным системным стратегическим направлением, по-видимому,

станет активное использование ранее неизвестных свойств материалов и композиций, возникающих при переходе к объектам следующих видов:

- свойства которых зависят от размерного и конформационного факторов;
- представляющих собой интеграцию искусственно и естественно упорядоченных систем;
- интегрирующих материаловедческий базис неорганической и органической природы;
- в основе функционирования которых лежит комплекс кооперативно-синергетических процессов и явлений.

При решении задач по созданию и практическому использованию объектов с вышеуказанными свойствами необходимо определить и возможные приоритетные направления фундаментально-поисковых исследований для обеспечения интеллектуального базиса инноваций шестого технологического уклада:

The purpose of this article is to analyze the basic areas of the "technological sovereignty" paradigm of Russia in relation to the development of micro- and nanotechnology as the basis of the info-, energy- and biotechnosphere of the sixth techno-economic paradigm.

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL BASIS OF SIXTH TECHNO-ECONOMIC PARADIGM. MICRO- AND NANOTECHNOLOGY

It should be noted that the driving forces that determine the

dynamics of the formation and development of the new technological order are not only economic incentives, but also a number of basic factors that are closely related to such concepts as national and technological security, superiority and parity. Their provision within the framework of state interests, along with the commercialization of products, makes a significant contribution to the evolution of the backbone technologies that determine the appearance of the new techno-economic paradigm (Table 1)

[1]. Lacking a sufficient body of knowledge necessary for the analysis of the whole complex of technologies that determine the formation of the sixth techno-economic paradigm, let us turn only to the areas of micro- and nano-engineering.

As part of the analysis of the basic trends in the development of the natural scientific basis of the sixth technological order, it should be noted that the main system strategic areas is likely to be the active use of previously unknown properties of materials



- зависимость свойств материалов и систем от характеристических размеров;
- нетрадиционные виды симметрии и конформации с динамически перестраиваемой структурой;
- передача энергии, заряда и информации на основе кооперативных синергетических процессов;
- молекулярное распознавание как базис селективности и избирательности процессов;
- процессы самоформирования, самоупорядочения и самоорганизации;
- конвергентные системы – интеграция создаваемых человеком искусственных неорганических систем и объектов биоорганической природы.

Продуктовую модель микро- и нанотехники шестого технологического уклада определяют следующие основные направления прикладных исследований:

- распределенные самоорганизующиеся рефлексивные информационные сети;
- полифункциональный адаптивный человеко-машинный интерфейс;
- искусственные органы и нефармакологическая коррекция состояния биообъектов;
- робототехнические замещающие системы;
- бионические, в том числе когнитивные, алгоритмы и принципы функционирования.

В практику оценки технологий должен войти новый терминологический базис, определяющий их тактико-стратегическую значимость (критические технологии, технологии превосходства, непредвиденные технологии) и функционально-предметную направленность (мультидисциплинарные, природоподобные, бионические,

когнитивные, биоинформационные, конвергентные, киберфизические). Так, развитие совокупности так называемых природоподобных конвергентных технологий определяет более глубокое познание и, безусловно, использование возможностей материального мира на микро- и особенно наноразмерных уровнях, когда фактически становится безразличной исходная принадлежность атома или молекулы к объекту органической или неорганической природы. Это создает предпосылку к синтезу искусственных, ранее не известных в природе, систем не просто по составу и (или) структуре, но и, в первую очередь, по свойствам, а, следовательно, функциональным возможностям. Для таких систем должен быть свойственен особый характер протекания процессов передачи энергии, заряда и конформационных изменений, отличающихся низким энергопотреблением, высокой скоростью и носящих признаки кооперативного синергетического процесса.

Требования к функциональным средам будущего, являющимся основой технологического прорыва в области электронной компонентной базы (ЭКБ) новых поколений включают сверхбольшую информационную емкость, высокую удельную энергонасыщенность, селективность к внешним воздействиям, ассоциативность и распределенность процессов обработки информации. В них также могут сочетаться процессы функционирования и самообновляющегося синтеза.

Характеризуя перспективы развития микро- и наносистем применительно к техно- и биотехносфере, безусловно, следует выделить три наиболее

and compositions arising from the transition to the following types of objects:

- whose properties depend on size and conformational factors;
- representing the integration of artificially and naturally ordered systems;
- integrating materials science base of inorganic and organic nature;
- functioning of which is based on a complex of cooperative synergistic processes and phenomena.

When solving problems of creation and practical use of objects with the above properties, it is necessary to determine the possible

priority areas of fundamental research to ensure the intellectual basis of innovation of the sixth technological structure:

- dependence of the properties of materials and systems on the characteristic dimensions;
- unconventional types of symmetry and conformation with a dynamically tunable structure;
- transfer of energy, charge and information based on cooperative synergistic processes;
- molecular recognition as a basis of selectivity of processes;
- processes of self-formation, self-ordering and self-organization;

- convergent systems – the integration of man-made artificial inorganic systems and objects of bioorganic nature.

The product model of micro- and nanotechnology of the sixth technological paradigm will be determined by the following main areas of applied research:

- distributed self-organizing reflexive information networks;
- multifunctional adaptive man-machine interface;
- artificial organs and non-pharmacological correction of the state of biological objects;
- robotic replacement systems;

прогрессивных динамично развивающихся технологических направления:

- киберфизические технологии;
- бионические технологии;
- энергообеспечивающие рекуперирующие технологии.

Таким образом, целевые функции в рамках формирования VI технологического уклада на данный момент могут быть определены как достижение нового качества жизни в условиях цифровой трансформации общества с обеспечением коммуникабельности, кибер- и биобезопасности и генерации "человеческого капитала" нового поколения.

РОССИЙСКОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛЕ МИКРО- И НАНОТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОЙ КОНКУРЕНЦИИ

Общая ситуация, характеризующая состав современной техносферы в рамках развития востребованной рынком индустрии, может быть определена в рамках совокупности следующих коммерческих и технологических подходов:

- технологии прорывов (интеллектуальное превосходство);
- технологии заимствования (приобретаемые, "воруемые" технологии);
- технологии оптимизации (усовершенствования);
- технологии кооперации (альянс-технологии).

Развитие и реализация всех перечисленных видов требует инвестиций. Стратегия технологического суверенитета, безопасности и конкурентоспособности определяет необходимость дифференцированного подхода и учета совокупности факторов:

- наличия научно-технологических заделов;
- принадлежности к базовым системообразующим технологиям различных отраслевых технологических платформ;
- универсальность и востребованность технологии ведомственными организациями, определяющими национальную, военную и техносферную безопасность государства;
- принадлежность к базовым технологиям с длительным горизонтом коммерческой реализации;
- доступность динамичной реализации собственных конкурентоспособных решений с формированием отечественных технологических ниш;
- отнесение технологий к особо чувствительным, находящимся под санкциями, исключаяющими возможность их заимствования;
- необходимость получения и доступность передовых зарубежных технологий;
- серийность продукции на базе развиваемой технологии;

Таблица 2. Системные технологические приоритеты при создании ЭКБ

Table 2. System technological priorities when creating electronic components

Группа технологий Technology group	Системные технологические приоритеты Technological priorities
Технологии искусственных и природоподобных материалов Technologies of artificial and nature-like materials	<ul style="list-style-type: none"> • Наноматериалы. • Метаматериалы • Углеродные материалы • Органо-неорганические гибридные композиции • Nanomaterials • Metamaterials • Carbon materials • Organic-inorganic hybrid compositions
Технологии трансферного и биотехносферного мониторинга (космос, воздушное, наземное и подводное пространства, биопространство) Technologies of transfer and biotechnospheric monitoring (space, air, ground and under-water spaces, biospace)	<ul style="list-style-type: none"> • Электромагнитный и акустический мониторинг • Мультиспектральные технологии • Нейроподобные информационные системы и алгоритмы • Electromagnetic and acoustic monitoring • Multispectral technology • Neural-like information systems and algorithms
Технологии киберфизического пространства Technologies of cyber-physical space	<ul style="list-style-type: none"> • Интернет вещей и RFID- технологии • Биоподобные сигналы и алгоритмы • Большие массивы данных, облачные вычисления • Виртуальная и дополненная реальность • Кибербезопасность • Internet of things and RFID technologies • Biosimilar signals and algorithms • Large data arrays, cloud computing • Virtual and augmented reality • Cybersecurity
Природоподобные бионические и когнитивные технологии Nature-like bionic and cognitive technologies	<ul style="list-style-type: none"> • Нейроморфные системы • Искусственные органы • Лаборатории-на-чипе • "Умная одежда" • Биороботы • Neuromorphic systems • Artificial organs • Lab-on-a-chip • Smart clothes • Biorobots



Таблица 3. Направления фотоники

Table 3. Areas of development of photonics

Направление Area	Область применения Applications
Промышленная фотоника Industrial photonics	<ul style="list-style-type: none"> • Оптические технологии нанесения, удаления и модифицирования материалов • Диагностика (оптические измерительные системы, техническое зрение) • Optical technologies for applying, removing and modifying materials • Diagnostics (optical measuring systems, technical vision)
Информационная фотоника Information photonics	<ul style="list-style-type: none"> • Оптическая связь • Оптическая навигация • Устройства отображения информации • Квантовая информатика • Optical communication • Optical navigation • Displays • Quantum informatics
Радиофотоника Microwave photonics	<ul style="list-style-type: none"> • Радиолокация • Радиомониторинг и опознавание • Radar • Radiomonitoring and recognition
Фотовольтаика Photovoltaic	<ul style="list-style-type: none"> • Солнечная энергетика • ИК-фотоника • Solar energy • IR photonics
Биосенсорика Biosensorics	<ul style="list-style-type: none"> • Промышленная • Специальная (локация, дальнометрия, управление) • Industrial • Special (location, ranging, management)
Биофотоника Biophotonics	<ul style="list-style-type: none"> • Оптосенсорика и диагностика • Фототерапия и хирургия • Optosensory and diagnostics • Phototherapy and surgery
Архитектурная фотоника Architectural photonics	<ul style="list-style-type: none"> • Освещение • Интеллектуальное остекление • Lighting • Smart glasses

- конкурентоспособность продукции на базе развиваемой технологии;
- экспортный потенциал продукции на базе развиваемой технологии.

Создание и адаптация базовых элементов индустрии электронной компонентной базы гармонизируются в рамках стратегии технологической независимости по критериям экономической эффективности, оперативности постановки на производство, широте номенклатуры и востребованной серийности, а также импортозамещению и импортонезависимости. Целесообразна структуризация инфраструктурного технологического базиса исходя из совокупности ранее перечисленных функций, которые он должен выполнять:

- системообразующие инфраструктурные серийные производства;
- гибкие адаптивные линии мелкосерийного многономенклатурного производства;
- технологические центры коллективного пользования контрактного производства;
- технологические центры коллективного пользования дорогостоящим "санкционным" и уникальным оборудованием;
- уникальные кооперационные кластеры технологических прорывов-превосходства.

В рамках анализа ключевых технологий, определяющих технологическую независимость могут быть определены следующие прослеживаемые в их эволюции базовые технологии:

- наноразмерные [2];
- печатные (гибкие, конформные);
- 2D- и 3D-интеграции (сборочные);
- гетерогенной мультифункциональной интеграции (оптоэлектронные, радиофотонные);
- мультидисциплинарной интеграции (киберфизические, бионические).

В качестве ответа на глобальные вызовы и угрозы с учетом технологической независимости при создании ЭКБ могут быть определены системные технологические приоритеты (табл.2).

Современный этап характеризуется бурным целенаправленным развитием природоподобных и трансдисциплинарных технологий [3], определяющих гармоничное сочетание искусственного и естественного интеллекта в таких областях, как:

- качество жизни человека – биотехносфера (технологии персонифицированной и прогностической медицины);
- эффективность человека в "цифровом мире" – инфотехносфера (человеко-машинный интерфейс, коммуникабельность и кибербезопасность);

- bionic, including cognitive, algorithms and principles of operation.

The practice of technology assessment should include a new terminological basis, which determines their tactical and strategic importance (critical technologies, superior technologies, unforeseen technologies) and functional-subject orientation (multidisciplinary, nature-like, bionic, cognitive, bio-information, convergent, cyber-physical). Thus, the development of the so-called nature-like convergent technologies determines a deeper knowledge and, of course, the use of the capabilities of the material world at the micro and especially nanoscale levels, when the original identity of an atom or molecule to an object of organic or inorganic nature actually becomes indifferent. This creates a prerequisite for the synthesis of artificial, previously unknown in nature, systems not only in composition and (or) structure, but, first of all, in properties and, therefore, functionality. Such systems must be characterized by the special nature of the processes of energy transfer, charge and conformational changes, characterized by low energy consumption, high speed and bearing signs of a cooperative synergistic process.

The requirements for the future functional environments that are the basis of the technological breakthrough in the field of electronic components of new generations include extra-large information capacity, high specific energy content, selectivity to external influences, associativity and distribution of information processing. They can also combine the processes of functioning and self-renewing synthesis.

Describing the prospects for the development of micro- and nanosystems in relation to the techno- and bio-technosphere, three of the most

progressive dynamically developing technological areas should certainly be singled out:

- cyber-physical technologies;
- bionic technology;
- energy supplying recovery technologies.

Thus, the objective functions within the framework of the formation of the VI techno-economic paradigm at the moment can be defined as the achievement of a new quality of life in the conditions of the digital transformation of society with ensuring sociability, cyber and biosafety, and new generation of human capital.

RUSSIAN TECHNOLOGY FIELD OF MICRO AND NANOTECHNOLOGY IN CONTEXT OF GLOBAL COMPETITION

The general situation characterizing the composition of the modern technosphere within the framework of the development of the industry demanded by the market can be determined within the framework of the following commercial and technological approaches:

- breakthrough technologies (intellectual excellence);
- borrowing technologies (acquired, "stolen" technologies);
- optimization technologies (improvements);
- cooperation technologies (alliance technologies).

The development and implementation of all these types requires investment. The strategy of technological sovereignty, security and competitiveness determines the need for a differentiated approach and taking into account a combination of factors:

- availability of scientific and technological groundworks;
- affiliation to the basic system-forming technologies of various sectoral technological platforms;
- universality and demand for technology by departmental organizations that determine the national,

military and technospheric security of the state;

- belonging to the basic technologies with a long horizon of commercial implementation;
- availability of dynamic implementation of own competitive solutions with the formation of domestic technological niches;
- classifying technologies as especially sensitive, under sanctions, excluding the possibility of their borrowing;
- need for and availability of advanced foreign technologies;
- serialization of production based on the technology being developed;
- competitiveness of products based on the technology being developed;
- export potential of products based on the technology being developed.

The creation and adaptation of the basic elements of the electronic industry are harmonized within the framework of the technological independence strategy according to the criteria of economic efficiency, production efficiency, breadth of the nomenclature and demand of serialization, as well as of import substitution and import independence. It is advisable to structure the infrastructure technological basis, based on the totality of the previously listed functions that it should perform:

- backbone infrastructure serial production;
- flexible adaptive lines of small-scale multi-product manufacturing;
- technological centers for collective use of contract manufacturing;
- technological centers for collective use of expensive and unique equipment;
- unique cooperative clusters of technological breakthroughs and superiority.



- обеспечение человека ресурсами – энерготехносфера (чистая ресурсосберегающая энергия, рекуперация энергии из эфира и окружающей среды).

ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА ДЛЯ ШЕСТОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УКЛАДА

Востребованность ЭКБ будет определяться исходя из особенностей рынка, ориентированного на оборонно-промышленный комплекс и, безусловно, развитие социально-ориентированных гражданских технологий. Наиболее широко используемой в мировой практике классификацией ЭКБ, позволяющей определить ее функциональное назначение, следует считать следующую:

- информационная электроника;
- силовая энергообеспечивающая электроника;
- микроволновая (СВЧ) электроника;
- оптоэлектроника (фотоника);
- микросистемная техника, включая сенсорику.

Для дополнительных уточнений широко используются понятия: наноэлектроника, плазменная электроника, вакуумная электроника, магнитоэлектроника, фотовольтаика, квантовая электроника, органическая электроника, биоэлектроника и др.

Чрезвычайно значимой альтернативой и определенным дополнением электроники с точки зрения генерации и обработки сигналов, передачи энергии и информации является фотоника. Дорожная карта "Развитие оптоэлектронных технологий (фотоника)" утверждена Распоряжением Правительства РФ от 24 июля 2013 года № 1305-пР с изменениями, утвержденными Распоряжением Правительства РФ от 23 июня 2016 года № 1299-пР. Фотоника определена как область

науки и техники, связанная с генерацией и распространением потоков фотонов, управлением ими и использованием их взаимодействия с веществом. Продукция фотоники (фотонные устройства) – приборы и системы, для которых базовым процессом является передача энергии или информации потоком фотонов. Фактически, если отвлечься от множества понятий, используемых в рамках современной терминологии "фотоника" (иконика, когерентная оптика, квантовая оптика, нанофотоника, квантовая электроника, оптическая информатика, оптоэлектроника, фотовольтаика, радиофотоника, фотоинформатика, фотоэлектроника, интегральная оптика, волновая оптика, лазерная техника) и определить ее функциональное назначение, то условно можно выделить ряд значимых промышленных направлений (табл.3).

Указанные технологии фотоники имеют широкие военный и гражданский рынки, однако с точки зрения перспективной ЭКБ особое внимание сейчас обращается на два направления: информационную и радиофотонику. Фундаментальные отличия электрона и фотона как носителей энергии и информации, а также переход от систем гальванических связей на оптические проявляются в первую очередь в быстродействии, широкополосности, помехозащищенности, информационной емкости. Ограничения, которые должны быть преодолены в рамках развития данных технологий тоже хорошо известны. Для радиофотоники – это аппаратный обратимый микро- наноинтерфейс, "электроника-оптика", а для информационной фотоники – адаптация классического материаловедческого базиса

As part of the analysis of key technologies that determine technological independence, the following basic technologies that can be traced in their evolution can be identified:

- nanoscale [2];
- printed (flexible, conformal);
- 2D and 3D integration (assembly);
- heterogeneous multifunctional integration (optoelectronic, microwave photonic);
- multidisciplinary integration (cyber-physical, bionic).

As a response to global challenges and threats, taking into account technological

independence in creating electronic components, system technological priorities can be defined (Table 2).

The modern stage is characterized by rapid purposeful development of nature-like and transdisciplinary technologies [3], which determine the harmonious combination of artificial and natural intelligence in such areas as:

quality of human life – biotech-nosfera (technologies of personalized and prognostic medicine);

human efficiency in the "digital world" – information technology (human-machine interface, interpersonal skills and cyber security);

human resources – energy technology (clean resource-saving energy, energy recovery from the ether and the environment).

ELECTRONIC COMPONENTS FOR SIXTH TECHNO-ECONOMIC PARADIGM

The demand for electronic components will be determined on the basis of the characteristics of the market, focused on the military-industrial complex and, of course, on the development of socially-oriented civilian technologies. The most widely used in world practice classification of electronic

и технологии микро-, нано- и оптоэлектроники к решению задач создания оптических компьютерных платформ.

Особое место занимают технологии создания ЭКБ для сверхэкстремальных условий эксплуатации: аэрокосмической сферы, техногенно-опасных объектов, включая ядерную энергетику, химические производства, энергосети и транспортные средства с высоким уровнем электрических и магнитных полей, импульсных силовых энергогенерирующих и энергопреобразующих систем. Успех в данной сфере обеспечивается в первую очередь материаловедческой базой и компетенциями разработчика. Необходимые экстремальные параметры невозможно достичь на материалах низкого качества. Поддержание технологического потенциала, обеспечивающего независимость и безопасность государства в условиях реальных, практически бессрочных санкций должно рассматриваться как приоритетная задача с достижением полного суверенитета и импортонезависимости. В данном случае при оценке эффективности продукции в качестве критериев потребительских качеств доминируют интеллектуальный и инновационный потенциалы, значимость в решении задач обеспечения безопасности государства, человека и общества.

Характеризуя развитие технологий ЭКБ для социально-ориентированной сферы, отметим, что в рамках шестого технологического уклада, безусловно, получают свое развитие так называемые киберфизические технологии – Интернет вещей. В современном понимании это "Интернет людей", включая биомедицинские персонализированные технологии прогностической медицины [4]:

домашняя диагностика и нефармакологическая коррекция физиологического состояния, умная одежда, интеллектуальная кожа, сенсорно-корректирующие биоимпланты. Спрос на новое качество жизни и долголетие требует экономически доступного дружественного интерфейса "человек – сенсорно-информационная и корректирующая биотехническая среда". Персонализированный, доступный для широкого круга пациентов биомедицинский мониторинг predeterminedil развитие крупносерийной индустрии сенсоров и меток с широким использованием печатных технологий [5] в сочетании с 2D- и 3D-сборкой, в том числе гибридных систем. Наряду с низкой себестоимостью продукции гибкая печатная электроника и фотоника обеспечивает конформную интеграцию в биообъекты и реализацию обмена по технологиям Интернета вещей. Фактически, жизнь человека должна стать первостепенным объектом технологических революций, и персонализированный медико-биологический экспресс-мониторинг может рассматриваться как адаптированная киберфизическая технология.

ИНВЕСТИЦИИ В "ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ КАПИТАЛ"

Важнейшим элементом в достижении технологической независимости является изменение парадигмы кадрового обеспечения технологий, то есть инвестиций в "человеческий капитал". Современное состояние кадрового обеспечения высоких технологий характеризуется следующими чертами:

- общим снижением естественно-научного образовательного уровня выпускников школ, их

components, which allows to determine its functional purpose, should be considered the following:

- information electronics;
- power electronics;
- microwave electronics;
- optoelectronics (photonics);
- MEMS, including sensorics.

For additional refinements, the following concepts are widely used: nanoelectronics, plasma electronics, vacuum electronics, magneto-electronics, photovoltaics, quantum electronics, organic electronics, bio-electronics, and others.

An extremely important alternative and a certain addition to

electronics in terms of generating and processing signals, transmitting energy and information is photonics. The roadmap "Development of Optoelectronic Technologies (Photonics)" was approved by the Order of the Government of the Russian Federation. Photonics is defined as the field of science and technology associated with the generation and propagation of photon fluxes, their control and the use of their interaction with matter. Photonics devices are devices and systems for which the basic process is the transfer of energy or information by the flow of photons. In fact,

apart from a variety of terms used in the framework of the modern terminology of photonics (iconics, coherent optics, quantum optics, nanophotonics, quantum electronics, optical computing, optical engineering, optoelectronics, photovoltaics, microwave photonics, photoelectronics, integrated optics, wave optics laser technology) and determine its functional purpose, it is conditionally possible to identify a number of significant industrial areas (Table 3).

These technologies of photonics have wide military and civilian markets, however, from the



недостаточной профессиональной ориентацией и низким уровнем мотивации;

- отставанием образовательной среды большинства вузов и, как следствие, профессионально-компетентностного уровня выпускников от реальных потребностей экономики;
- фактически потерей отраслевой и отсутствием корпоративной и индустриально-рыночно адаптированной науки;
- слабым использованием индустриально-промышленными партнерами кадрового потенциала, а также лабораторно-экспериментальной базы организаций Академии наук и вузов для проведения прикладных исследований и трансфера технологий;
- отсутствием координации программно-целевого планирования при реализации отраслевых программ с государственными инвестициями в науку и образование в форме проектов и грантов;
- отсутствием баз данных критических и востребованных технологий отраслевой направленности;
- отсутствием мотивационных механизмов для промышленных предприятий, обеспечивающих "превращение" научных подразделений вузов и Академии наук в отраслевые лаборатории для трансфера технологий и кадрового потенциала.

В рамках реализуемых грантов и проектов, инвестируемых государством, в качестве базовых показателей используются не всегда адекватные критерии оценки, которые не отражают потребности реальной экономики и, в частности, индустриально-промышленной сферы. Новая образовательная парадигма профессионально-ориентированного образования

должна включать ряд конкретных действий, гармонично воспринимаемых промышленностью и научно-образовательной средой:

- формулировка атласа новых востребованных профессий, включая так называемые "загоризонтные";
- определение госзаказа на перечень специалистов, направлений и профилей подготовки;
- оптимизация (селекция) профессиональных стандартов и их гармонизация с образовательными;
- формулировка требований к квалификации и ее независимой оценке;
- развитие представлений об индивидуальных профилях компетенций – то есть персонализированных траекториях на рынке труда;
- анализ потребности в компетенциях "цифрового инженера" для различных сфер деятельности (научной, индустриальной, коммуникационно-информационной, бизнес-товарной).

Без вышеуказанных мероприятий невозможно сформировать эффективную современную образовательную парадигму, учитывающую профессиональную направленность. Это декларируют Минтруд, Фонд инфраструктурных и образовательных программ РОСНАНО и другие организации, действующие в национальной системе кадрового обеспечения и квалификации.

Обеспечение глобальной конкурентоспособности в области прорывных технологий, инновационной продукции и реализация задач технологической независимости (суверенитета) определяют необходимость, во-первых, резкого возрастания значимости интеллектуальной составляющей "человеческого

perspective of a promising electronic components, special attention is now being paid to two areas: information and microwave photonics. The fundamental differences between an electron and a photon as carriers of energy and information, as well as the transition from galvanic coupling systems to optical links, are primarily manifested in speed, broadband, noise immunity, information capacity. The limitations that must be overcome in the development of these technologies are also well known. For microwave photonics, it is a reversible hardware micro-nano

interface, electronics-optics, and for information photonics it is an adaptation of the classical materials science basis and micro-, nano- and optoelectronics technology to solve problems of creating optical computer platforms.

A special place is occupied by the technology of creating electronic components for super-extreme operating conditions: aerospace, technologically hazardous facilities, including nuclear energy, chemical production, power grids and vehicles with a high level of electric and magnetic fields, pulsed power-generating and energy-transforming

systems. Success in this area is ensured primarily by the material science base and developer competencies. The necessary extreme parameters cannot be achieved on poor quality materials. Maintaining the technological potential that ensures the independence and security of the state in the face of real, practically indefinite sanctions should be considered as a priority task with the achievement of full sovereignty and import independence. When evaluating the effectiveness of products, intellectual and innovative potentials, and importance in solving the tasks of

капитала", доминирование в достижении эффективности труда индивидуального профессионального фактора, социальных и мотивационных аспектов деятельности (инновации должны иметь мотивации), во-вторых, сбалансированности финансирования при создании новых производственных мощностей, а также технологий и кадров научно-образовательных кластеров, осуществляющих трансфер знаний (соизмеримость вложений в материальную и интеллектуальную продукцию).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Базовая цель при достижении технологической независимости в рамках наукоемких технологий отечественной микро- и нанотехники – формирование новой индустриальной среды и механизма промышленно-научно-образовательного партнерства, ориентированных на конвергенцию наук и технологий для реализации междисциплинарных исследований и разработок, развитие персонализированного профессионально-ориентированного образования и обеспечения межотраслевой научно-инженерной деятельности на рынке наукоемкой продукции нового технологического уклада.

При этом решаются следующие задачи:

- реализация фундаментальных и поисковых исследований, определяющих технологии превосходства с длительным научно-технологическим горизонтом реализации и социально-экономической эффективностью;
- проведение прикладных исследований с селекцией, систематизацией и накоплением

знаний в междисциплинарных областях, формирование конкурентоспособных технологических ниш с динамичной экспресс-трансформацией знаний от исследовательской стадии к производственной;

- предоставление современных профессионально-ориентированных образовательных услуг для формирования новой генерации профессиональной элиты как базиса обеспечения конкурентоспособности отечественной продукции и технологического суверенитета.

В качестве приоритетных направлений, требующих концентрации интеллектуальных, инфраструктурных и финансовых ресурсов, определяющих возможность реализации научно-технологических прорывов, длительных востребованных государством и обществом горизонтов индустриально-технологического развития, следует определить системное обеспечение технологического суверенитета в совокупности областей создания микро- и нанотехники:

- конформной персонализированной биотехносферы (технологии прогностической и персонализированной медицины, пищевой и фармакологической безопасности);
- гармонизированной безопасной инфотехносферы (нейроморфные компьютерные платформы, Интернет вещей, кибербезопасность);
- эффективной ресурсосберегающей энерготехносферы (рекуперация энергии из эфира и окружающей среды).

Конечная цель гармонизирована с задачей по развитию на базе предприятий

security of the state, individual and society, dominate as criteria for consumer qualities.

Describing the development of electronic components for the socially-oriented sphere, we note that the so-called cyber-physical technologies, the Internet of things, will certainly be developed within the framework of the sixth techno-economic paradigm. In the modern sense, this is the "Internet of people", including biomedical personalized prognostic medicine technologies [4]: home diagnostics and non-pharmacological correction of the physiological state,

smart clothes, smart skin, sensor-corrective bioimplants. The demand for a new quality of life and longevity requires an economically accessible friendly "human – sensory-information and corrective biotechnical environment" interface. Personalized biomedical monitoring available for a wide range of patients predetermined the development of a large-scale sensor and label industry with extensive use of printing technologies [5] in conjunction with advanced packaging, including hybrid systems. Along with the low cost of production, flexible printed electronics

and photonics provide conformal integration into bio-objects and implementation of the exchange using the "Internet of things". In fact, human life should be the primary object of technological revolution, and personalized biomedical express monitoring can be considered as an adapted cyber-physical technology.

INVESTMENTS IN HUMAN CAPITAL

The most important element in achieving technological independence is a change in the paradigm of staffing technology, that is, investment in the human capital.



оборонно-промышленного комплекса производства гражданской наукоемкой продукции и может быть определена как генерация и трансфер знаний и технологий в наукоемкую инновационную сферу для обеспечения персонифицированной комфортной безопасной экономически эффективной среды обитания человека.

Можно отметить следующие угрозы и риски на этапе перехода РФ к шестому технологическому укладу и обеспечению технологического суверенитета:

- стагнация инновационных технологий (низкая эффективность экономических вложений);
- снижение качества человеческого капитала (общее снижение образовательного уровня и мотивации);
- заимствование базовых аппаратно-программных средств информационной инфраструктуры (угрозы информационной зависимости и терроризма);
- искусственное ускорение технической эволюции без оценки "опасности" создаваемых материалов и технологических процессов (экономическое стимулирование технологий, не прошедших "эволюционный отбор").

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. **Лучинин В.В.** Формирование шестого технологического уклада. Эволюция биотехносферы // Биотехносфера. 2011. № 1-2 (13-14). С. 5-12.
Luchinin V.V. Shaping the sixth technological mode. Biotechnosphere evolution. Biotekhnosfera. 2011. No. 1-2 (13-14). P. 5-12. (In Russian).
2. **Кутузов В., Лучинин В.** Реализация инновационного потенциала вуза. Нанотехнологическая платформа ЛЭТИ // НАНОИНДУСТРИЯ. 2012. № 7 (37). С. 34-39.
Kutuzov V., Luchinin V. Implementation of the innovation potential of an institution of higher education. Nanotechnological platform of "LETI". NANOINDUSTRY. 2012. No. 7 (37). P. 34-39.
3. **Лучинин В.В.** Социально-ориентированная микро- и нанотехника - мотивированные инвестиции в человеческий капитал // Биотехносфера. 2017. № 6 (54). С. 2-10.
Luchinin V.V. Socio-oriented micro- and nanotechnics-motivated investments in human capital. Biotekhnosfera. 2017. No. 6 (54). P. 2-10. (In Russian).
4. **Кутузов В., Лучинин В., Юлдашев З.** Реализация инновационного потенциала вуза: междисциплинарная платформа ЛЭТИ "Биотехносфера" // НАНОИНДУСТРИЯ. 2014. № 7 (57). С. 42-49.
Kutuzov V., Luchinin V., Yuldashev Z. Implementation of innovative potential of the university: Interdisciplinary platform Biotechnosphere. NANOINDUSTRY. 2014. No. 7 (57). P. 42-49.
5. **Лучинин В.В.** Российский пилотный проект инжинирингового центра "гибкой печатной электроники и фотоники" // Нано- и микросистемная техника. 2017. Т. 19. № 8. С. 456-462.
Luchinin V.V. Russian pilot project on engineering center "Flexible printed electronics and photonics". Nano- and microsystems technology. 2017. Vol. 19. No. 8. P. 456-462. (In Russian).

The current state of high-tech staffing is characterized by the following features:

- a general decrease in the natural-science educational level of school graduates, their lack of professional orientation and a low level of motivation;
- lag in the educational environment of most universities and, as a result, in the professional and competence level of graduates from the real needs of the economy;
- in fact, the loss of industry and the lack of corporate and industrial-market-adapted science;
- weak use by industrial partners of human resources, as well as laboratory and experimental base of organizations of the Russian Academy of Sciences and universities for carrying out applied research and technology transfer;
- lack of coordination of program-target planning in the implementation of sectoral programs with public investment in science and education in the form of projects and grants;
- lack of databases of critical and demanded sectoral technologies;
- lack of motivational mechanisms for industrial enterprises

that ensure the "transformation" of scientific departments of universities and the RAS into industry laboratories for the transfer of technology and personnel potential.

In the framework of grants and projects implemented by the state, not always adequate evaluation criteria are used as basic indicators, which do not reflect the needs of the real economy and in particular of the industrial sphere. A new educational paradigm of vocational education should include a number of concrete actions that are harmoniously perceived by



industry and the scientific and educational environment:

- creation of the atlas of new sought-after professions, including the so-called "over-the-horizon";
- determination of the state order for the list of specialists, training areas and profiles;
- optimization (selection) of professional standards and their harmonization with educational ones;
- formulation of requirements for qualification and its independent assessment;
- development of conception of individual competency profiles that is personalized trajectories in the labor market;
- analysis of the need for competencies of the "digital engineer" for various fields of activity (scientific, industrial, communication, information, business-commodity).

Without the above activities, it is impossible to form an effective modern educational paradigm that takes into account professional orientation. This is recited by the Ministry of Labor, the Fund for Infrastructure and Educational Programs of RUSNANO and other organizations operating in the national system of staffing and qualifications.

Ensuring global competitiveness in the field of breakthrough technologies, innovative products and the implementation of the tasks of technological independence determine the need, firstly, of a sharp increase in the importance of the intellectual component of the human capital (innovations should be motivated), secondly, the balance of funding when creating new production facilities, as well as technology and personnel of scientific and educational clusters engaged in the transfer of knowledge (commensurate investments in material and intellectual products).

CONCLUSION

The basic goal in achieving technological independence in the framework of high-tech domestic micro and nanotechnologies is the formation of a new industrial environment and a mechanism of industrial, scientific and educational partnership focused on the convergence of science and technology for the implementation of interdisciplinary research and development, development of personalized vocational education and provision interdisciplinary scientific and engineering activity in the market of high-tech products of a new techno-economic paradigm.

The following tasks are solved:

- implementation of fundamental and exploratory research that determines the technology of excellence with a long-term scientific and technological horizon of implementation and socio-economic efficiency;
- carrying out applied research with the selection, systematization and accumulation of knowledge in interdisciplinary areas, the formation of competitive technological niches with a dynamic, rapid transformation of knowledge from the research stage to the production stage;
- provision of modern vocational-oriented educational services for the formation of a new generation of professional elite as the basis for ensuring the competitiveness of domestic products and technological sovereignty.

The priority areas requiring the concentration of intellectual, infrastructural and financial resources that determine the possibility of implementing scientific and technological breakthroughs, long-term industrial and technological development horizons in demand by the state and society should determine the system support of technological sovereignty

in the aggregate areas of micro and nanotechnology creation:

- conformal personalized biotechnosphere (prognostic and personalized medicine technologies, food and pharmacological safety);
- harmonized secure information technology sphere (neuromorphic computer platforms, Internet of things, cybersecurity);
- efficient resource-consuming energy technology (energy recovery from the ether and the environment).

The ultimate goal is harmonized with the task of developing civilian high-tech products on the basis of enterprises of the military-industrial complex and can be defined as the generation and transfer of knowledge and technology to the knowledge-intensive innovation sphere to provide a personified, comfortable, safe, economically efficient human environment.

The following threats and risks can be noted at the stage of transition of the Russian Federation to the sixth techno-economic paradigm and ensuring technological sovereignty:

- stagnation of innovative technologies (low efficiency of economic investments);
- decrease in the quality of human capital (general decrease in educational level and motivation);
- borrowing the basic hardware and software of the information infrastructure (threats of information dependence and terrorism);
- artificially accelerating technical evolution without evaluating the "danger" of the materials created and technological processes (economic incentives for technologies that have not undergone "evolutionary selection").