



НАНОТЕХНОЛОГИИ РОДОМ ИЗ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

NANOTECHNOLOGY ORIGINATING FROM NUCLEAR INDUSTRY



Валентин Борисович Иванов, доктор технических наук, Заслуженный деятель науки РФ, генеральный директор ВНИИНМ им. А.А.Бочвара

Valentin Ivanov, Doctor of Technical Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, General Director of VNIINM

Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. акад. А.А.Бочвара (ВНИИНМ) – один из ведущих научно-исследовательских центров и головная организация Госкорпорации "Росатом" по проблемам материаловедения и технологий ядерного топливного цикла. В рамках "Росатома" ВНИИНМ входит в структуру топливной компании "ТВЭЛ". Институт, который в декабре 2015 года отпразднует 70-летний юбилей, – ровесник атомной отрасли. Сотрудники НИИ-9 – так ВНИИНМ назывался до начала 1970-х годов – участвовали в создании ядерного щита страны, атомного флота, атомной энергетики, космической техники. Современное ядерное топливо для АЭС, ледоколов и подводных лодок, а также научно-исследовательских реакторов производится на предприятиях "ТВЭЛ" по технологиям, разработанным ВНИИНМ. 27 сотрудников института стали лауреатами Ленинской премии, 160-ти присуждена Государственная премия, 530 награждены орденами и медалями. Признанием заслуг и роли ВНИИНМ в развитии науки и техники стало присвоение ему статуса Государственного научного центра РФ.

Помимо разработки ядерного топлива, материалов для атомных реакторов и технологий переработки радиоактивных отходов, институт занимается широким кругом материаловедческих проблем. В частности, в 2006 году во ВНИИНМ был создан Центр нанотехнологий и наноматериалов Росатома. О высокотехнологичных разработках института для различных отраслей экономики рассказал генеральный директор ВНИИНМ В.Б.Иванов.

A.A.Bochvar High-technology Research Institute of Inorganic Materials (VNIINM) is one of the leading research centers and the parent organization of the state corporation Rosatom working with material science and nuclear fuel cycle technologies. In the framework of Rosatom, VNIINM is part of the fuel company TVEL. In 2015, the Institute will celebrate its 70th anniversary, so it has the same age as the nuclear industry. The staff of the Research Institute 9, as VNIINM had been called until the early 1970s, participated in the creation of the nuclear shield of the country, nuclear fleet, nuclear energy, and space technology. Today, the nuclear fuel for nuclear power plants, icebreakers, submarines, and research reactors is manufactured at the enterprises of TVEL using the technologies developed by VNIINM. Twenty-seven employees of the Institute became laureates of the Lenin Prize, 160 were awarded the State Prize, 530 were awarded orders and medals. The role and merits of VNIINM in the development of science and technology were recognized when it acquired the status of the State Scientific Center of the Russian Federation.

Besides the development of nuclear fuel, materials for nuclear reactors and technologies for processing radioactive waste, the Institute is engaged in researching a wide range of material science issues. In 2006, VNIINM established the Rosatom Center for Nanotechnology and Nanomaterials. VNIINM's General Director, V.B.Ivanov, told us about high-tech innovations of the Institute used in various sectors of the economy.



Валентин Борисович, какие направления научно-технической деятельности института связаны с развитием российской наноиндустрии?

Термин "нанотехнологии" не в полной мере формализован, поэтому целесообразно отнести к этой области не только проекты по созданию и использованию объектов с размерами меньше 100 нм, но и направления, в которых применяются типичные для наноиндустрии подходы и решения. Помимо ядерных технологий мы разрабатываем сверхпроводящие материалы, решения на базе нанобериллия, композитные наноматериалы, высокопрочные наноструктурные электропровода, широкий спектр технологий обработки поверхности, а также порошки для аддитивных технологий.

Насколько близки к промышленной стадии работы в области сверхпроводящих материалов?

Сверхпроводники принято делить на низкотемпературные (НТСП), которые обладают нулевым электрическим сопротивлением при температуре жидкого гелия, и высокотемпературные (ВТСП), работающие при температуре жидкого азота. Промежуточное положение между НТСП и ВТСП занимает диборид магния (MgB_2), который приобретает сверхпроводящие свойства при температуре жидкого водорода. Чем выше рабочая температура сверхпроводника, тем меньше затраты на криогенную технику при его эксплуатации.

Технология промышленного производства НТСП разработана нашим институтом и внедрена на Чепецком механическом заводе, который выпу-

стил около 220 т сверхпроводников для международного термоядерного реактора ИТЭР. Также НТСП используются в медицинских томографах. К сожалению, наша медицина долгое время обходилась исключительно иностранным оборудованием, а производство отечественных приборов этого типа только начинает развиваться.

В области ВТСП ведутся разработки второго поколения материалов. К внедрению в промышленность наиболее близки ограничители тока, которые защищают электрические машины, например в железнодорожном транспорте или метро, от повреждения при коротких замыканиях. Ограничители тока на базе сверхпроводящих материалов по своему быстродействию существенно превосходят обычные устройства. Принцип работы основан на том, что при превышении установленного критического значения силы тока ВТСП-элемент теряет сверхпроводящие свойства, и сопротивление сети резко увеличивается. Такие токоограничители уже разработаны, дело за их внедрением.

Хотя в рамках президентской программы ГК "Росатом" должна завершить в текущем году крупный проект, результатом которого станет разработка оборудования и технологии для производства ВТСП-проводов длиной до 1 км, приходится констатировать, что пока в этой области мы отстаем от других развитых стран. Судя по информации, поступающей из-за рубежа, сверхпроводники находят все более широкое применение как в энергетике, так и в военной технике, в частно-

Valentin Borisovich, what directions of scientific-technical activities of the Institute are associated with the development of the Russian nanoindustry?

The term "nanotechnology" is not fully formalized yet. Therefore, it is advisable to associate this area not with only projects of creating and using items with the size of less than 100 nm, but also the areas where typical nanoindustry approaches and solutions are used. Besides nuclear technology, we are developing superconducting materials, solutions based on nanoberyllium, composite nanomaterials, high-strength nanostructured

wires, a wide range of surface processing technologies, and powders for additive technologies.

How close is the work in the field of superconducting materials to the industrial stage?

Superconductors can be divided into low-temperature (LTSC), which have zero electrical resistance at the temperature of liquid helium, and high-temperature (HTSC), operating at the temperature of liquid nitrogen. In an intermediate position between LTSC and HTSC, there is magnesium diboride (MgB_2), which acquires superconducting properties at the temperature of liquid hydrogen. The

higher the operating temperature of the superconductor, the lower the cost of cryogenic equipment during its operation.

The technology of industrial manufacture of LTSC was developed by our Institute and implemented at the Chepetsky Mechanical Plant, which has produced about 220 tons of superconductors for the international thermonuclear reactor ITER. In addition, LTSC are used in medical tomography. Unfortunately, our medicine has long been using exclusively foreign equipment, so the domestic manufacture of devices of this type is just beginning to develop.



сти, для уменьшения массы и габаритов электрооборудования подводных лодок.

Помимо ВТСП, в США, Италии и других странах развиваются сверхпроводящие материалы на базе диборида магния, которые характеризуются относительной дешевизной, технологичностью производства и хорошими техническими параметрами. В прошлом году я встречался с Карло Руббиа, лауреатом Нобелевской премии, и он считает сверхпроводники на базе диборида магния чрезвычайно перспективным направлением. Этот материал уже сейчас позволяет создавать ЛЭП длиной в несколько сотен километров, которые могут передавать достаточно высокие токи. Следует отметить, что ВНИИНМ имеет хорошие наработки в области применения диборида магния, и при необходимости мы можем в короткие сроки довести эту технологию до промышленной стадии, но пока на государственном уровне акцент делается на развитии ВТСП.

По моему мнению, за сверхпроводящими материалами будущее электротехники, поэтому в него целесообразно инвестировать больше средств, искать новые области применения, реализовывать пилотные проекты. Если за рубежом ведутся испытания, создается оборудование, накапливается практический опыт в создании проводников, в криогенике и других смежных областях, то в России, к сожалению, этой тематике пока не уделяется должного внимания. Хотя именно у нас сверхпроводимость обеспечит колоссальную экономию, принимая во внимание расстояния, на которые передается электроэнергия.

Еще одна разработка ВНИИНМ в сфере электротехники – наноструктурные сверхпрочные электропровода. В каких областях они могут быть востребованы, и как соотносится их стоимость с ценами на обычные электропровода?

Сверхпрочные провода представляют собой медную матрицу, содержащую десятки тысяч ниобиевых нитей. Такой провод имеет электропроводность до 75–80% от электропроводности высокочистой меди при прочности на уровне стали – до 1500 МПа. Возможные области применения – там, где электропровода в процессе эксплуатации подвергаются высоким механическим нагрузкам. Например, в контактных проводах для высокоскоростного железнодорожного транспорта. При скоростях поездов более 300 м/ч контактные провода из обычных материалов очень быстро выходят из строя, если же использовать наши высокопрочные провода, то и срок службы будет выше, и число опор можно уменьшить.

Еще одна интересная область применения – сверхмощные электромагниты. Магнитные поля выше нескольких десятков Тесла приводят к возникновению высоких внутренних напряжений, которые буквально разрывают провода из обычных материалов, а наши высокопрочные провода выдерживают магнитную индукцию до 100 Тесла и выше, – это подтвердили, в частности, испытания, проведенные в Лос-Аламосской национальной лаборатории Министерства энергетики США.

Сверхпрочные провода также могут применяться в авиационной и космической технике, в ЛЭП,

In the sphere of HTSC, the institute is developing the second-generation materials. The closest to the industrial implementation are the electric current limiters that protect electric machines, for example, a railway or metro train, from damage by short circuits. Electric current limiters based on superconducting materials are greatly superior in their performance to conventional devices. The working principle is that, in case of exceeding the critical current, the HTSC element loses its superconducting properties, and the resistance of the network is increasing dramatically. The electric current limiters of this type

have already been developed and the serial production is to be implemented as soon as possible.

Although, in the framework of the presidential program, Rosatom should complete a major project this year, which will result in development of equipment and technologies for production of HTSC wires with the length of up to one km, we have to admit that in this area we are behind other developed countries. According to the information coming from abroad, superconductors are more and more widely used in power engineering and military technology, in particular, to reduce the weight and

dimensions of electrical equipment in submarines.

Besides HTSC, the USA, Italy and other countries are developing superconducting materials based on magnesium diboride, which are characterized by relatively low cost, ease of production and good technical parameters. Last year, I met with Carlo Rubbia, a Nobel laureate, and he believes that superconductors based on magnesium diboride are a very promising direction. This material is used in the creation of a transmission line with the length of several hundred kilometers, which can transfer high currents. It should be noted that VNIINM has



в системах резонансной передачи электроэнергии и т.п. Что касается их стоимости, то пока она в несколько раз выше, чем у обычных электропроводов, поэтому речь идет о специальных областях, где требуется исключительная прочность. ГК "Росатом" поддерживает этот проект, и, согласно бизнес-плану, к 2019 году он должен выйти на безубыточность.

Созданные ВНИИНМ порошки для 3D-печати можно считать продуктом нанотехнологий?

Размеры частиц таких порошков – от 10 до 30 мкм, но в их производстве применяются приемы, типичные для нанотехнологий, тем более что в соответствии с современными требованиями эти частицы должны иметь сферическую форму. Сейчас в стране бум аддитивных технологий, но пока нет четкого понимания, где их целесообразно использовать. Мы разработали уникальные порошки из нержавеющей стали, алюминия, титана и других конструкционных материалов, а также их смесей. Есть идеи организовать производство элементов топливных сборок реакторов и других деталей. Пока тестируем программное обеспечение и получаем первые 3D-модели.

Каких результатов удалось добиться в области создания функциональных и защитных покрытий?

Мы предпочитаем использовать более широкий термин – обработка поверхности, которая радикально меняет свойства конструкции. Институт обладает патентами и многочисленными ноу-хау в этой области. В производстве применяется более десятка тех-

нологий обработки, например холодное газодинамическое напыление и магнетронное распыление. В зависимости от поверхности и поставленных задач могут наноситься керамические, металлические, композитные и другие материалы. В результате обработки поверхность приобретает требуемый комплекс характеристик, например жаростойкость или жаропрочность, механическую износостойкость, химическую стойкость, антифрикционные свойства, коррозионную стойкость, радиопоглощение, электроизоляция и т.п. Помимо решения машиностроительных задач, постепенно накапливается опыт и в других областях. В частности, очень интересный проект реализуется совместно с российской компанией, разработавшей медицинские протезы тазобедренного сустава, которые по уровню биосовместимости не имеют аналогов в мире. Кость быстро срастается со специальным пористым покрытием протеза, что увеличивает срок службы последнего. Надеюсь, что в этом году мы доведем эти работы до опытно-промышленной стадии.

Также в наших планах создание компактного переносного оборудования для нанесения покрытий, которое сможет найти применение в самых разных сферах, например в ЖКХ – для восстановления труб.

Какие еще проекты реализуются в институте?

Интересное направление – создание изделий из нанобериллия, в частности, вакуум-плотной фольги и линз для фокусировки рентгеновских лучей. Для изготовления линз требуется высокочи-

good experience in the field of magnesium diboride application, and if necessary, we can very promptly bring this technology to the industrial stage, but so far at the state level, the emphasis is on the development of HTSC.

In my opinion, the future of electronics is about superconducting materials, so it is advisable to invest more in this area, to seek new fields of application and to implement pilot projects. While in other countries they conduct tests, create equipment, accumulate practical experience in the creation of the conductors, in cryogenics and other related areas, in Russia, unfortunately, this

subject is not yet properly addressed, although the superconductivity will provide enormous savings in our country specifically, considering the distances over which electricity is transmitted.

Another development of VNIINM in the field of electrical engineering is nanostructured high-strength electrical wire. In what areas can they be used and how does their cost compare to the prices of conventional electricity cables?

High-strength wires are made of a copper matrix containing tens of thousands of niobium filaments. Wires of this type have a conductivity

of up to 75-80% of the electrical conductivity of high-purity copper with the strength of steel of up to 1500 MPa. The possible areas of application are the electrical lines that are subjected to high mechanical loads. For example, contact wires for high-speed railroads. When the speed of a train is over 300 km/h, the contact wires from conventional materials are very easily damaged. If you use our high-strength wires, the service life will be longer and the number of wire supports may be reduced.

Another interesting area of application is high-strength magnets. The magnetic fields of a few dozens of Tesla lead to high internal



стый бериллий с наноструктурой, предотвращающей рассеивание излучения. Система линз в приборах рентгенофлуоресцентного анализа позволяет получать луч микронного диаметра для исследования объектов на уровне, близком к молекулярному. Разработаны технологии шлифовки и полировки поверхности бериллиевой фольги.

Интересные результаты достигнуты в области создания высокоэнергетических магнитных материалов. Нанотехнологии в сочетании с технологией "стрип-кастинг" позволяют получать магнитные сплавы с уникальными свойствами для производства электродвигателей, генераторов, соединительных муфт, датчиков, фильтров и других изделий.

Политика импортозамещения помогает в развитии института?

Мы прорабатываем более десятка соглашений, в том числе с предприятиями авиакосмической отрасли и ВПК, но эффект от реализации этой политики мог бы быть и больше. Первая проблема – недостаток информации о потенциальных возможностях замещения иностранных поставщиков. Вторая проблема связана с отсутствием у заказчиков средств на НИОКР – всем нужны готовые к внедрению технологии. К сожалению, найти деньги на НИОКР не всегда удается, так как собственных средств у института нет, инициативные темы уже несколько лет проводить не удается, а в ГК "Росатом" действуют очень жесткие правила, в соответствии с которыми инвестиционный проект должен окупиться не более чем за три года. Значимый прорыв за такой срок

можно сделать только если уже подготовлен рынок и на разработку есть спрос. А если рынка нет, то в три года уложиться очень сложно, так как образец продукции нужно успеть не только получить и сертифицировать, но и "раскрутить".

В поиске финансирования для наших проектов, в том числе в области сверхпроводников, подаем заявки в Минобрнауки, пробуем работать с фондом "Сколково", но там очень высокая конкуренция, много нюансов при принятии решений. Тем не менее боремся за каждый проект, за каждый заказ.

Насколько эффективно сотрудничество с другими научно-исследовательскими учреждениями, российскими и иностранными?

В России, в традиционных для ВНИИНМ областях, связанных с разработкой ядерного топлива, очень плотно взаимодействуем с другими НИИ, входящими в структуру ГК "Росатом". В сфере сверхпроводящих материалов сотрудничаем с НИИЭФА, НИИТФА, а также НИЦ "Курчатовский институт", где установлена первая опытная линия по производству ВТСП второго поколения. В некоторых направлениях, например в производстве нанобериллия, мы фактически единственные на рынке, поэтому кооперироваться пока не с кем.

Международных проектов сейчас реализуется мало. В области НТСП, как уже было сказано, мы участвовали в проекте ИТЭР, а в разработке ВТСП, наверное, с нами пока не очень интересно сотрудничать, так как ведущие иностранные компании и институты в своих исследованиях ушли доста-

tensions, which literally tear the wires from conventional materials and our high-strength wires can withstand a magnetic induction of up to 100 Tesla and above, which was confirmed, in particular, by the tests conducted at Los Alamos National Laboratory of the U.S. Department of Energy.

The high-strength wires may also be used in aviation and space engineering, transmission lines, resonant transmission, etc. As for their cost, while it is several times higher than the cost of conventional wiring, but there are special areas that require exceptional strength. Rosatom is supporting this project

and, according to the business plan, it should reach break-even by 2019.

Can the powders for 3D printing created by VNIINM be considered a product of nanotechnology?

The particle size of such powders is 10 to 30 μm , but their production uses techniques that are typical for nanotechnology. Moreover, in accordance with the modern requirements, these particles should have a spherical shape. Now, the country is experiencing a boom in additive technologies, but it does not have a clear understanding of their appropriate use. We have developed unique powders of stainless steel,

aluminum, titanium and other structural materials, and their mixtures. There are ideas on organizing the manufacture of the fuel reactor assemblies and other items. For the time being, we are testing the software and making the first 3D articles.

What results have been achieved in the field of functional and protective coatings?

We prefer to use a broader term: surface treatment, which implies a radical change in the properties of the structure. The Institute possesses patents and expertise in this field. In production, we use over a dozen



точно далеко вперед. Ощутимо и влияние санкций – отношение к нам западных коллег стало заметно холоднее.

Насколько острой является проблема подготовки научных и производственных кадров?

Недостаточный уровень подготовки молодых кадров для таких институтов, как наш, конечно, очевиден. Например, чтобы стать квалифицированным технологом по производству ядерного топлива, выпускнику вуза, получившему только общие знания, требуется, как минимум, пять лет. А готовых кадров для узкоспециальных областей в нынешних условиях в принципе быть не может, потому что, если инвестиций не хватает даже на развитие самой технологии, то на подготовку специалистов для нее средств тем более не найдется.

Каковы планы по развитию научно-технической деятельности института?

Развитие института во многом зависит от того, как государственная политика поддержки инноваций будет реализовываться на практике. Если новые технологии станут востребованы, то и мы будем развиваться. Многообещающих разработок, которые достаточно быстро могут быть доведены до промышленного внедрения, у нас множество, вопрос только в развитии спроса.

Со своей стороны мы должны обеспечить соответствие наших разработок тому, что в Гражданском кодексе названо "единой технологией". Это значит, что все новые проекты будут

предусматривать создание комплекта документации, достаточного, чтобы технология была реализована там, где в ней есть необходимость.

Как на ваш взгляд можно повысить эффективность поддержки инноваций, и как должна быть организована связь между научными исследованиями и рынком?

Нам не хватает так называемого системного маркетинга. Я занимался изучением этой проблемы еще в начале 1990-х годов, знакомился с японским опытом, с опытом международных консалтинговых компаний. Это сложнейшая система, которая прогнозирует и планирует развитие рынков на годы вперед. Инновации должны последовательно доводиться от идеи до рынка, причем конечная стадия этого процесса – не выпуск готового продукта, а формирование спроса на него.

Обидно, что российский частный бизнес почти не участвует в венчурных проектах в области промышленных технологий, а государство делает это не самым эффективным образом. Идей в нашей стране множество, но, чтобы их реализовывать, должна быть создана система, которая позволяла бы находить средства и на проведение НИОКР, и на маркетинг. Когда инновации на деле начнут активно внедряться, в выигрыше будут и научно-исследовательские организации, и промышленность, и экономика страны в целом. ■

Спасибо за интересный рассказ.

С В.Б.Ивановым беседовал Д.Ю.Гудилин

treatment processes, for example, cold gas-dynamic sputtering and magnetron sputtering. Depending on the surface and objectives, the coating can be ceramic, metal, composite and of other materials. As a result, the surface has a desired set of characteristics, e.g., heat resistance, mechanical wear resistance, chemical resistance, friction properties, corrosion resistance, radar absorption, electrical insulation, etc. In addition to solving engineering problems, we gradually accumulate experience in other areas. In particular, a very interesting project is being implemented jointly with the Russian company that developed

medical hip implants, the biocompatibility of which has no equivalent in the world. The bone quickly fuses with the prosthesis that has special porous coating, which increases its service life. I hope we will bring this work to a pilot stage this year.

Besides, we have plans to create a compact portable device for coating, which can be used in various fields, for example in the housing sector to restore pipes.

What other projects are being implemented in the Institute?

Another interesting direction is the creation of products from nano-beryllium, in particular, the

vacuum-tight foil and lenses for focusing x-rays. The lenses need to have elements from high-purity beryllium with nanostructure preventing dispersion of radiation. The lens system in the x-ray fluorescence devices is used for obtaining a micron diameter beam for studying items at a level close to molecular. We have developed a process of abrading and polishing the surface of the beryllium foil.

We have achieved interesting results in the field of high-energy magnetic materials. The nanotechnology in combination with the "strip casting" technology is used to obtain magnetic alloys with unique



properties for the production of electric motors, generators, couplings, sensors, filters and other products.

Does the policy of import substitution help in the development of the institution?

We are working on more than a dozen agreements, including, agreements with companies in the aerospace industry and the military industrial complex, but the effect of the implementation of this policy could be better. The first problem is the lack of information on the potential substitution of foreign suppliers. The second problem is the lack of customers for R&D, because everybody needs technologies that are ready to be introduced. Unfortunately, it is not always possible to find the money for R&D because the Institute does not have its own funds. The new initiatives have not been proposed for several years, whereas Rosatom has very strict rules, according to which an investment project must be repaid in not more than three years. A significant breakthrough can be done in three years' time only if the market is ready and there is a demand for the innovation. If there is no market, then it is very difficult to comply with this term, because you need time not only to develop a product, but also to certify and to advertise it.

When looking for funds for our projects, among which is the field of superconductors, we submit applications to the Ministry of Education and try to work with the Skolkovo Fund, but the competition is very high there, and there are many nuances in making decisions. However, we struggle for every project and for every customer.

How effective is the cooperation with other research institutions in Russia and abroad?

With respect to the traditional areas of VNIINM related to the

development of nuclear fuel, we closely interact with other Russian research institutes within the structure of Rosatom. In the field of superconducting materials, we cooperate with the Efremov Institute, Scientific Research Institute of Technical Physics and Automation, and Kurchatov Institute, which has the first pilot production line of second-generation high temperature superconductors. In some areas, for example, in the production of nanoberyllium, we are unique on the market, so there is nobody to cooperate with.

There are few international projects. In the field of LTSC, as it has already been mentioned, we participated in the ITER project and in the development of HTSC. Perhaps, so far it is not so interesting to cooperate with us because the leading foreign companies and institutions have gone far enough in their research. We can feel impact of sanctions, too, because our western colleagues became noticeably colder in the relationship with us.

How acute is the problem of training scientific and production personnel?

Of course, in such institutions as ours it is obvious that the level of young specialists is insufficient. For example, a university graduate, who received only general knowledge, needs at least five years to become a qualified technologist in the production of nuclear fuel. It is impossible to have a ready specialist for the specific fields under the current conditions, in principle, because if the investment is not enough for the development of the technology, it is even less enough for training.

What are the plans for the development of scientific and technological activities of the Institute?

The development of the Institute largely depends on how the state

policy of innovation support will be implemented in practice. If new technologies become highly demanded, then we will develop. We have many promising innovations that can be brought to commercial production very fast. The only issue is the development of demand.

From our side, we must ensure that our developments comply with what the Civil Code refers to as "unified technology". It means that all new projects will include the creation of sufficient documentation packages so the technology may be implemented where it is needed.

How do you think you can improve the effectiveness of innovation support, and how should the relationship between scientific research and the market be organized?

We lack the so-called systemic marketing. I was studying this problem in the early 1990s, when I learned the Japanese experience, the experience of international consulting companies. It is a very complicated system, which predicts and plans the development of markets for the years ahead. Innovation must consistently be brought from concept to market, and the final stage of this process is not the finished product, but the demand for it.

It is a shame that the Russian private businesses are practically not involved in venture projects in the field of industrial technologies, and the state is not doing it in the most efficient manner. There are many ideas in our country, but for their implementation, the country needs a system that helps people to find the money for R&D and marketing. When the innovation is actively implemented, the beneficiaries are research organizations, the industry, and the economy as a whole. ■

Thanks for the interesting story.

The interview was taken by Dmitry Gudilin

