

# ИННОВАЦИИ, НАНОТЕХНОЛОГИИ И ОБРАЗОВАНИЕ

**М.Ю. Просекин; И.Г. Просекина.**

**компания Полиус-НТ, г. Москва.**

**А.А. Тихомиров; Ю.Е. Высоких.**

**компания ЗАО «НТ-МДТ», г. Москва**

Проанализированы основные современные условия развития инновационной экономики и предложены конкретные пути решения актуальных проблем в области проектной междисциплинарной деятельности с помощью научно-образовательных комплексов Наноэдукатор (Нанолаб).

*Ключевые слова:* нанотехнологии, интеллектуальный потенциал, инновационное развитие, междисциплинарная подготовка

## INNOVATION, NANOTECHNOLOGY AND EDUCATION

M.Yu. Prosekin; I.G. Prosekina.

Polyus-NT.

A.A. Tikhomirov; Yu.E. Vysokikh.

ZAO «NT-MDT»

The article analyzes the main modern conditions of development of innovative economy and offered concrete solutions to current issues in the field of project activities through interdisciplinary research and educational complexes Nanoedyukator (Nanolab).

*Keywords:* nanotechnology, intellectual potential, innovative development, interdisciplinary training

Скорость изменения жизненного пространства человека в наше время стремительно меняется, и большинство положительных тенденций связаны с высокотехнологичными инновациями, которые плавно вливаются в жизнь и без которых она в дальнейшем мало представима. Однако самих по себе инноваций и наукоемких разработок далеко не достаточно, чтобы справиться с экономическими или экологическими проблемами. Здоровое общество с точки зрения культуры, нравственности и образованности, с глубоким интересом к науке и ее результатам – фундамент будущего. Особенность данного момента в развитии России в том, что приходится строить и новое общество, и новые технологии одновременно [1–5].

### **Нанотехнологии и инновации**

Эффективность инновационной экономики и удержание лидирующих позиций по ведущим направлениям и развитие новых давно уже стало общепринятой стратегией всех мировых держав. В стране восходящего солнца «Базовый закон о науке, технике и технологиях», вступивший в силу 15 ноября 1995 г., констатировал, что наука, техника и технологии формируют основы развития как японского общества, так и человечества в целом, поэтому главная задача состоит в том, чтобы обеспечить сбалансированное взаимодействие между различными направлениями науки и техники и тесное сотрудничество между участниками исследовательского процесса. Закон требовал, чтобы и государственные органы, и общество в целом постоянно проводили эту идею в жизнь. Он предписывал обеспечивать тесную кооперацию между государственными НИИ, вузами и частным сектором, а также указал на обязательность поддержки и поощрения инициатив частного сектора при организации и проведении научных исследований. Отметим выделенную деталь о том, что без обеспечения сотрудничества между всеми участниками доведение научно-исследовательской разработки до внедрения технологии или производства продукции может растянуться на столь длительное время, что оно потеряет всякий смысл.

Для удержания лидирующих позиций в области инновационного развития в 2000 г. в США была создана Национальная Нанотехнологическая Инициатива (NNI), целью которой является определение дорожной карты развития нанотехнологий и построение стратегического плана развития. В «Базовых планах научного и технического развития», утвержденных Советом по научно-технической политике правительства Японии в 2001 г., утверждены следующие разделы: науки о жизни, информатика и телекоммуникации, нанотехнологии и материалы, экология. К этому времени большинство мировых держав уже оценило перспективу развития высокотехнологичного сектора экономики, особенно построенного на разработках в области нанотехнологий. Уже к 2006 г. Китай опередил Японию по расходам на исследования и разработки, направив в эту сферу 144 млрд долл. (Япония – 131 млрд долл.), а по ряду научно-технических направлений (в области освоения космоса, атомной энергетики, биотехнологий и др.) приблизился к группе мировых лидеров. Если же проводить сравнение с США, то отставание японцев от американцев составило всего 213 млрд долл.). Сравнительные показатели затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) на одного исследователя того времени приведены на рис. 1.

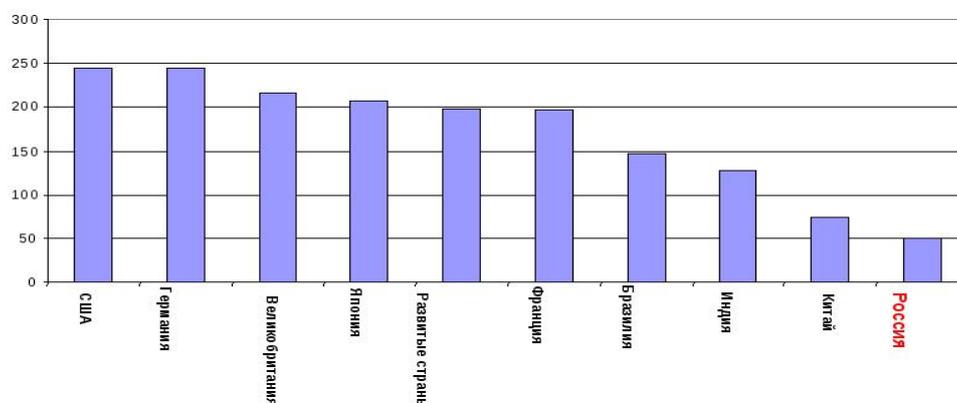


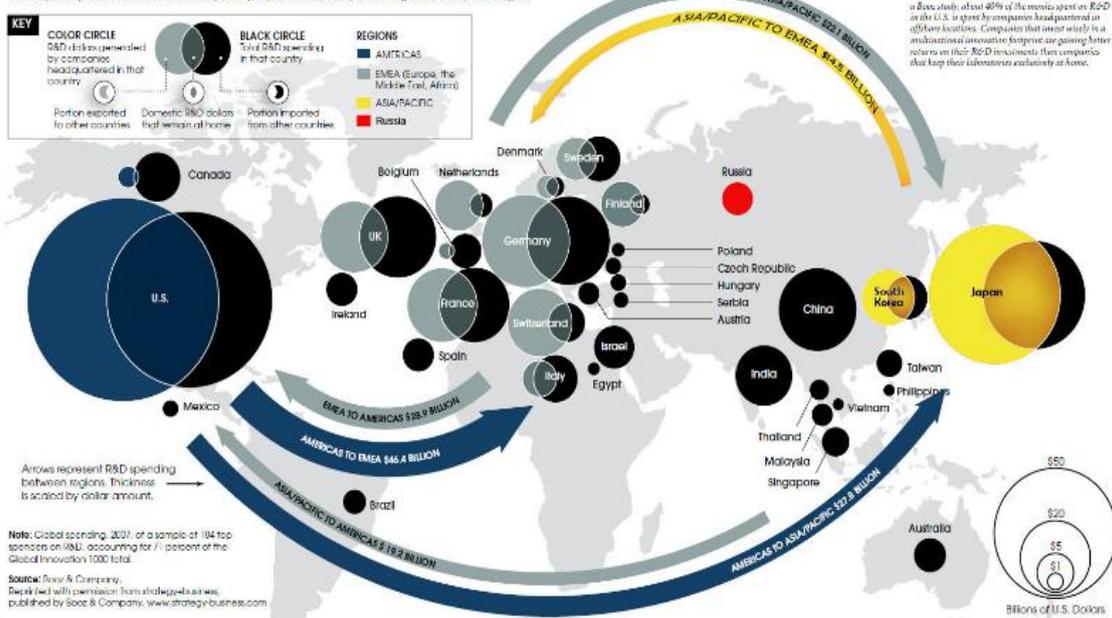
Рис. 1. Затраты на НИОКР на одного исследователя, (тыс. долл. США)

На территории Российской Федерации первые инициативы были озвучены официально 26 апреля 2007 г., когда Президент России В.В. Путин в послании Федеральному Собранию назвал нанотехнологии «наиболее приоритетным направлением развития науки и техники». К этому времени Россия на следующей схеме выглядела одиноким красным кружком (рис. 2).

## Importers and Exporters of Technology

### The World of R&D

As business has become increasingly global, so too has corporate spending on R&D. Here is a look at the 2007 flows of the top R&D spenders between the Americas, EMEA (Europe, the Middle East, and Africa), and the Asia/Pacific region.



Multinational companies are spending a significant portion of their R&D dollars outside the countries in which they're headquartered. This might appear to be a loss of jobs, intellectual property, and influence for the home countries. But innovation spending appears to flow in both directions simultaneously. According to a study cited, about 40% of the revenue spent on R&D in the U.S. is spent by companies headquartered in offshore locations. Companies that invest wisely in a multinational innovation strategy are gaining better returns on their R&D investments than companies that keep their inventories exclusively at home.

Рис. 2. Мировой экспорт и импорт технологий в 2007 г.

Выйти из такой глубочайшей потенциальной ямы, как говорят физики, конечно возможно, но для этого нужны большие усилия и воля. Объем инвестиций в науку медленно, но растет (к 2020 г. объем инвестиций только в нанотехнологическую отрасль на территории РФ достигнет 150 млрд руб.). И, тем не менее, то, что Россия просто должна стать научной сверхдержавой, становится все более понятно и соответствует менталитету русского человека. А не стремится ли вероятность такого благоприятного результата к бесконечно малой величине? Ведущие российские высокотехнологичные компании, которые успешно работают как на внутреннем, так и на внешнем рынке, увеличивают эту малую величину каждым своим успехом и достижением.

В 2011 г. в Аналитическом отчете NNI о формировании инфраструктуры Нанообразования в числе успешных примеров государственно-частного партнерства авторы называют два проекта частных компаний, один из которых – Наноэдукатор компании НТ-МДТ.

Российская компания НТ-МДТ, основанная в 1989 г., является мировым лидером по производству аналитических систем для Нанотехнологий. С 2002 г. компания запустила образовательный проект Наноэдукатор. Инициатором проекта является российский ученый и Нобелевский лауреат Жорес Иванович Алферов, выпускник ЛЭТИ. Комплекс Наноэдукатор использует в своей основе современный аналитический комплекс на базе Сканирующего зондового микроскопа (СЗМ). Генеральным директором НТ-МДТ является доктор технических наук В.А. Быков [6].

Наноэдукатор – это небольшой проект компании, который предназначен для проведения исследований материалов на микро- и наноуровне методами сканирующей зондовой микроскопии. Он является примером связующего звена между научным исследованием и разработкой технологии или внедрением продукции, и, кроме того, успешно решает образовательные задачи, без решения которых вероятность того, что Россия станет научной сверхдержавой, по-прежнему будет стремиться к нулю. В непростых условиях остается делать главную ставку на развитие и приумножение интеллектуального капитала и на его основе еще более энергично форсировать инновационное развитие.

Комплекс Наноэдукатор предназначен для преподавания основ нанотехнологии в рамках дисциплин естественнонаучного блока знаний (физика, химия, биология

и информатика, естествознание) с использованием СЗМ, адаптированных под школьное и высшее образование (рис. 3).



Рис. 3. Учебно-научный комплекс Наноздюкатор второго поколения

### Сканирующая зондовая микроскопия

Сканирующая зондовая микроскопия – один из мощных современных методов исследования морфологии и локальных свойств поверхности твердого тела с высоким пространственным разрешением. За последние 10 лет СЗМ превратилась из экзотической методики, доступной лишь ограниченному числу исследовательских групп, в широко распространенный и успешно применяемый инструмент для исследования свойств поверхности. В настоящее время практически ни одно исследование в области физики поверхности и тонкопленочных технологий не обходится без применения методов СЗМ. Процесс построения изображения основан на сканировании поверхности объектов зондом и в общем случае позволяет получать трехмерное изображение поверхности (топографию (рельеф) с высоким пространственным разрешением (до 0,01 нм), поэтому СЗМ является основным инструментом для исследований в области нанотехнологий. В качестве объектов могут быть использованы практически любые объекты, нас окружающие (натуральные: биологические, геологические, кристаллы и т.д. и синтезированные (обработанные): металлы, полупроводники, кристаллы, композитные материалы и полимеры) (рис. 4, 5) [7].

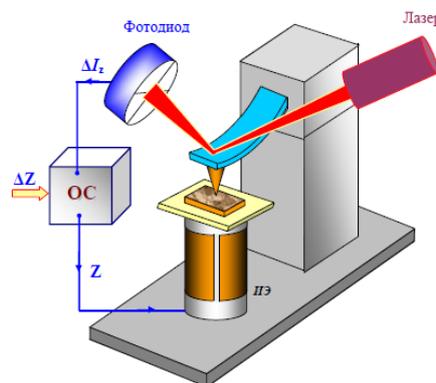
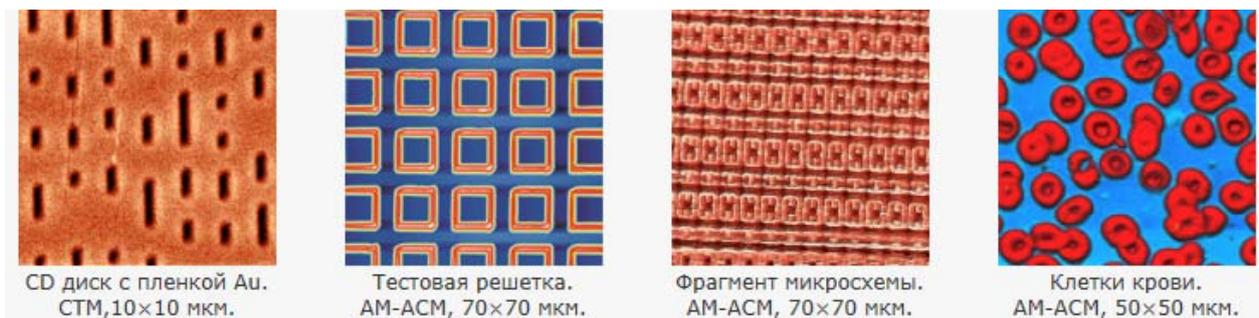


Рис. 4. Упрощенная схема регистрации отклонений зонда (кантилевера) и организации схемы обратной связи



**Рис. 5. Примеры изображений, получаемых на Сканирующем зондовом микроскопе Наноздьюкатор**

Развитие СЗМ послужило также основой для развития новых методов в нанотехнологии – технологии создания структур с нанометровыми масштабами.

Нанотехнология, по определению, – междисциплинарная область фундаментальной и прикладной науки и техники, имеющая дело с совокупностью теоретического обоснования, практических методов исследования, анализа и синтеза, а также методов производства и применения продуктов с заданной атомной структурой путем контролируемого манипулирования отдельными атомами и молекулами. Междисциплинарность обусловлена переходом к критическим размерам (менее 100 нм), где уже не существует таких отдельных дисциплин как физика, химия, биология, и все процессы описываются, как процессы на молекулярном уровне (рис. 6).



**Рис. 6. Нанотехнологии объединяют физику, химию, биологию, математику, информатику для описания процессов и структур величиной менее 100 нм**

Учитывая, что между исследователем–учащимся–технологом и объектом обязательно присутствует интерфейс, который позволяет производить все манипуляции с высоким пространственным разрешением, то к списку обязательных для понимания классических дисциплин добавляется и информатика (программирование, обработка изображения, распознавание образов и т.д.). Нанотехнология уже давно вокруг нас: простым примером продукта, изготовленного с использованием нанотехнологий, может являться любой современный телефон, компьютер или ноутбук, телевизор или акустическая система.

### **Нанотехнологии и образование**

В системе Российского образования только начинается переориентация на подготовку специалистов инновационной сферы, и это принципиально не может быть решено путем введения нескольких новых курсов и краткосрочных программ. Для этого должна эволюционно трансформироваться система высшего и общего среднего образования. Дефицит высококвалифицированных кадров на сегодняшний день стал системной проблемой, решение которой нетривиально с учетом времени, необходимого на подготовку

такого специалиста. Федеральные целевые программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. и на 2014–2020 гг. ставят целью развитие системы эффективного производства высокопрофессиональных кадров научной и научно-образовательной сферы и повышение их конкурентоспособности на мировом уровне [8, 9].

Уровень и перспективность естественно-научного и инженерного образования, интегрированность в научную, технологическую и предпринимательскую среду определяют качество и активность абитуриентов, что, в свою очередь, определяет эффективность модернизации высшего образования и развитие инновационной сферы экономики. Изменение уровня подготовки абитуриентов и студентов может быть достигнуто только планомерной долгосрочной квалифицированной работой, решаемой поддержкой наиболее удачных начинаний в образовании. Сегодня реальный инструмент, который отвечает необходимым критериям улучшения качества подготовки абитуриентов, студентов, их информированности – это развитие проектной деятельности и работа под руководством тьюторов. Результаты деятельности в этом направлении приводят к повышению мотивации к образованию, науке, технологиям, инновациям и возможности полностью развить и сохранить образовательный, научный и профессиональный потенциал молодых специалистов.

Такая деятельность является частью создания системы всесторонней подготовки будущих специалистов в области инноваций в широком спектре: от инженеров и научных сотрудников до специалистов в области управления и информационных технологий путем эффективного внедрения проектного обучения и командной работы в систему школьного образования.

Проекты и командная работа позволяют освоить межпредметные связи, развить междисциплинарный подход, сформировать системно-научное мышление и узнать больше о современных задачах в области естествознания, нанотехнологий и экономики. Параллельно с этим командная работа ведется в области связей с общественностью: продвижения научных и инженерных идей, создания рекламного продукта. Опыт практической работы показал, что это приводит к осознанному выбору будущей специальности, деятельностной профориентации. Также существенным является знакомство с предприятиями, конкретными лабораториями НИИ и вузов, которые могут рассматриваться обучающимися как потенциальные места будущей работы.

Инновационная деятельность в современных условиях требует комплексного подхода к организации. В инновационных проектах и программах принимают участие не только специалисты узкого профиля, нужна команда, способная эффективно ориентироваться и действовать в различных сферах деятельности. При этом важнейшими составляющими являются:

- высокая скорость адаптации к быстро изменяющимся условиям;
- оценка скорости развития, усложнения и устаревания технологий;
- смешивание разнообразных сфер деятельности;
- работа с большим количеством информации и динамикой информационных потоков;
- внедрение инноваций как конкурентоспособного преимущества.

В настоящий момент учебные комплексы на основе наноэдукатора функционируют в более чем 350 учебных заведениях на территории РФ, Казахстана и стран Евросоюза. Наиболее эффективной формой использования комплекса «Наноэдукатор» в образовательной деятельности среднего школьного образования является:

- проведение исследовательских и проектных работ;
- факультативы, элективные курсы;
- проведение лабораторных работ;
- подготовка к конкурсам и олимпиадам.

Во Дворцах детского творчества наибольший интерес при использовании наноэдукатора возник в кружках по направлениям естествознания (физика, химия, биология, медицина, геология и т.д.), в высших учебных заведениях – на технических специальностях

для обучения студентов и для работы вузов с региональными школами. Вуз решает задачу раннего профессионального ориентирования школьников, повышения имиджа технического специалиста, что сказывается на уровне подготовленности абитуриентов. Комплекс показывает высочайшие результаты эффективности своего использования. Работы, выполненные на наноздюкаторе, вошли в призеры на всероссийских и зарубежных конкурсах (BalSEF, Intel, Юниор, Гранты Президента РФ и др.). Наличие специализированного аналитического оборудования в школах позволит повысить свой статус и войти в различные школьные Лиги (Школьная Лига РОСНАНО, Школьная Лига РосАТОМ и др.). В рамках проекта в ведомственных учреждениях Министерства Образования и Науки Российской Федерации эта тематика показала отличные результаты и рекомендована к внедрению в другие ведомства, в том числе и МЧС России.

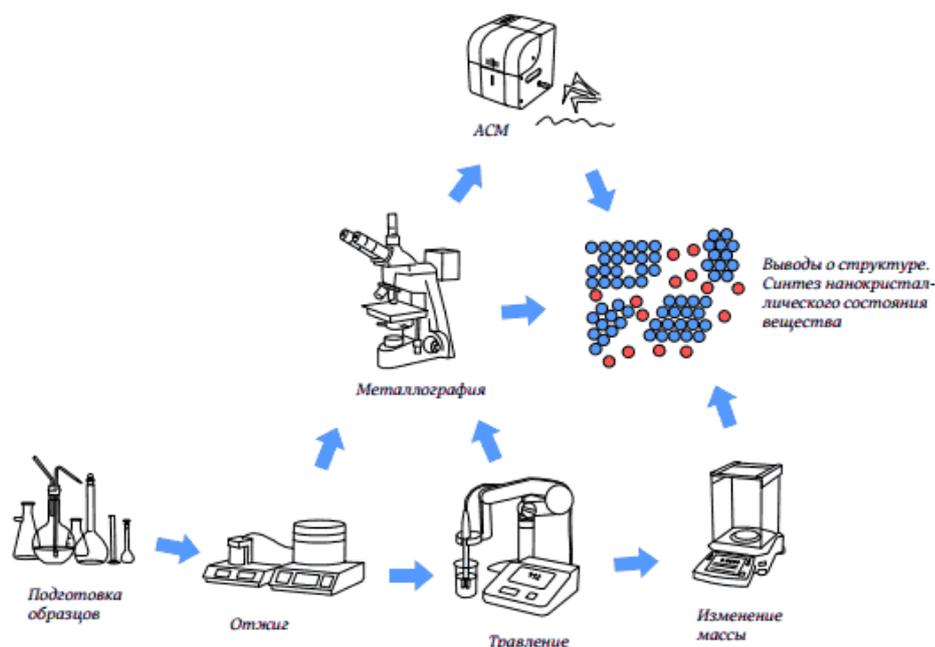
Опыт такой работы способствовал созданию расширенного комплекса для проведения исследований Нанолаб и апробации наиболее эффективных технологий естественнонаучного образования и технопредпринимательства для учащихся старших классов общеобразовательных школ и студентов средних и высших учебных заведений, способных к исследовательской, технологической и предпринимательской творческой деятельности. Программа партнерства с компанией Полюс-НТ позволит запустить или наладить работу образовательного кластера по нанотехнологиям с учетом возможностей и интересов обучающихся. Предлагаемые форматы работы в настоящий момент наиболее востребованы и подготовлены к реализации, они ни в коем случае не подменяют и не отменяют традиционное образование. Предлагаемые методики междисциплинарной подготовки направлены, в первую очередь, на обучение практическому применению знаний и навыков в современных условиях и обучению:

- в комплексе анализировать задачи, проблемы и решения, рассматривая их с различных точек зрения;
- искать информацию в различных предметных областях;
- быстро осваивать новые технологии в смежных областях знаний;
- работать с экспертами и тьюторами в предметных областях;
- искать решения на стыках дисциплин;
- транслировать решения из одной области в другие предметные области;
- анализировать взаимное влияние различных сфер деятельности;
- использовать разные типы мышления (логические, естественнонаучные, образные);
- формировать, развивать и трансформировать команды;
- лично развиваться с поддержкой команды;
- эффективно распределять задачи, ставить и достигать цели и т.п.;
- уметь работать с современным высокотехнологичным оборудованием, проводить измерения и обработку данных.

Участники программы партнерства не только осваивают новые компетенции, востребованные в современном обществе, но и формируют рабочие связи в рамках содружества, объединяющего школьников, педагогов, ученых, экспертов и бизнесменов. В программе уделяется много внимания разнообразию «входов» в мир естественных наук и технологий – через участие в научных исследованиях и дискуссиях, лабораторных работах и проектных группах, в процессах моделирования и конструирования.

Нанолаб – комплексная учебно-исследовательская лаборатория, предназначенная для проведения междисциплинарных практикумов и ведения проектной деятельности [10]. Компания Полюс-НТ молодая, но быстро развивающаяся структура, сотрудники которой имеют большой опыт научной, педагогической и проектной деятельности. Разработаны различные комплекты Нанолаб: НАНОЛАБ-ПРО, НАНОЛАБ-СТАРТ, учитывающий различный уровень подготовки учащихся и НАНОЛАБ-СТАТЕЛЛИТ, являющейся проектом поддержки уже работающих образовательных классов «Наноздюкатор». Актуальные задачи современного естествознания требуют новых методов исследования и комплексного подхода, объединяющего возможности многих измерительных методик. Комплектация Нанолаб-Про включает в себя, в дополнение к СЗМ, оптический микроскоп и приборы для

синтеза и анализа материалов, а также реактивы и ряд сравнительно простого оборудования (рН-метры, весы, диспергатор, фотоаппарат, лазеры, спектрофотометр и т.п.), качество и функциональность которых напрямую влияют на разнообразие и сложность доступных для исследования систем и явлений. Взаимодействие и взаимодополняемость приборов позволяет решать учебные и научные задачи в области физики, химии, биологии, математики, экологии и их пересечений (рис. 7).



**Рис. 7. Нанолаб объединяет в единый учебно-методический комплекс учебные аналитические и технологические установки для выполнения комплексных проектно исследовательских работ**

Нанолаб применяется в научно-исследовательском и учебном процессе, формирует системно-научное мышление, дает навыки работы с современными технологиями и основы научно-исследовательской деятельности, значительно расширяет представления учащихся о современной науке и нанотехнологиях, позволяя изучать явления и процессы на уровне микро- и наноструктур. Методическая поддержка темы учебно-исследовательских и научно-исследовательских работ охватывает актуальные вопросы современной науки и проработана с целью дальнейшего расширения отдельных вопросов до собственных исследовательских проектов. Нанолаб рассчитан на старших школьников общеобразовательных школ (8–11 классы) и студентов высших учебных заведений, а также на специалистов учебных и научно-исследовательских учреждений, проходящих переподготовку.

Мощная методическая поддержка и подписка составляют существенную особенность Нанолаб. Основой методики обучения является комплекс лабораторных работ, которые, с одной стороны, требуют применения знаний школьного уровня, с другой, освоения и создания новых знаний. Предлагаются следующие виды деятельности обучающихся: тематические лекции, в том числе дистанционные, изучение учебно-демонстрационных материалов, выполнение учебно-исследовательских и научно-исследовательских работ. Предусмотрена различная глубина погружения и сложность рассматриваемых вопросов. Все работы практикума могут быть выполнены под руководством хорошего школьного учителя, хотя тематика работ относится к актуальным научным направлениям. Это достигается за счет методической проработанности учебного курса и своевременной онлайн-о

и оффлайновой поддержки пользователей, включая консультирование по работе приборов и организации проектной деятельности.

Методическое обеспечение содержит теоретическую часть по каждой теме исследования, вводные и образовательные лекции по используемым приборам, описание и инструкции выполнения работ. Теоретическая часть вводит в область исследования и излагает необходимую теорию для выполнения работы, знакомит с исследуемыми системами и их применением, затрагивает актуальность и смежные области науки, содержит ссылки на литературу. В лекциях о приборах рассказывается о принципах действия, устройстве и правилах использования. Практическая часть содержит инструкции по выполнению работы, задачи исследования, порядок проведения, описание методов исследования и интерпретации результатов, контрольные вопросы и направления расширения и углубления работ [11].

Темы учебно-исследовательских и научно-исследовательских работ охватывают различные области физики, химии, биологии и проработаны с целью дальнейшего расширения отдельных вопросов до собственных исследовательских проектов. Учащиеся в ходе выполнения практикума осваивают этапы научного исследования: постановку задачи, формулировку гипотезы, методику измерений, доказательство выводов и статистической обработку данных. Для педагогов это новый спектр возможностей: эффективно освоить сканирующую зондовую микроскопию, оптическую микроскопию, получить научные и технические консультации, значительно расширить тематику проектной работы. Подготовка ведется по широкому кругу направлений и будет полезна не только будущим физикам, химикам, биологам и математикам, но и будущим управленцам, экономистам, инженерам.

Развитие инновационной экономики неразрывно связано с внедрением новых стандартов образования в школы и высшие учебные заведения, направленных на межпредметную проектную деятельность обучающихся. Формирование инновационной среды в обществе неразрывно связано с новыми подходами к обучению и пониманию окружающего мира. Работа на стыке наук превращается из экзотических экспериментов в обязательное условие прорывной инновационной деятельности во всех областях жизнедеятельности человека, начиная от пищевых технологий, биотехнологий, микроэлектроники, машиностроения, безопасности, экологии и др. Разработанные в России и признанные мировым научным сообществом, научно-образовательные комплексы Наноздюкатор (Нанолаб) успешно внедрены в более чем 350 учебных образовательных учреждений. Комплекс показывает высочайшие результаты эффективности своего использования и рекомендован к внедрению в общеобразовательные учебные заведения для выполнения проектной междисциплинарной деятельности. Широкое использование таких комплексов как Наноздюкатор (Нанолаб) позволяет существенно увеличить вовлеченность учащихся в учебный процесс, мотивировать их на дальнейшее обучение и выполнение проектно-исследовательских работ, что в конечном итоге приводит к повышению общего уровня учащихся, формированию инновационного подхода к решению практических задач. Будущее начинается сегодня, инновационный подход в сфере подготовки специалистов сейчас позволит завтра перейти к высокотехнологичной экономике и даст толчок к развитию страны и общества.

### **Литература**

1. Об образовании в Российской Федерации: Федер. закон Рос. Федерации от 29 дек. 2012 г. № 273-ФЗ // Рос. газ. 2012. 31 дек. Федер. выпуск № 5976.
2. О Федеральной целевой программе развития образования на 2011–2015 годы: Постановление Правительства Рос. Федерации от 7 февр. 2011 г. № 61 // Рос. газ. Интернет-портал. 2011. 9 марта.

3. О федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры на 2014–2020 годы» и внесении изменений в целевую программу «Научные и научно-педагогические кадры на 2009 – 2013 годы»: Постановление Правительства Рос. Федерации от 21 мая 2013 г. № 424 // Рос. газ. Интернет-портал. 2013. 3 июня.
4. О Стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 г.: Распоряжение Правительства Рос. Федерации от 8 дек. 2011 г. № 2227-р. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
5. О государственной программе Российской Федерации «Экономическое развитие и инновационная экономика: Распоряжение Правительства Рос. Федерации от 29 марта 2013 г. № 467-р. // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2013. № 14. Ст. 1714.
6. NT-MDT. URL: <http://ntmdt.ru> (дата обращения 01.03.2014).
7. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Н/Новгород: Институт физики микроструктур РАН, 2004. 114 с
8. Россия должна стать научной сверхдержавой: доклад С.М. Рогова // Поиск. 2010. № 12.
9. России нужна суверенная научно-техническая промышленная политика: интервью А.Е. Варшавского // S@TRF наука и технологии РФ. URL: [http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=221&d\\_no=17062](http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=221&d_no=17062) (дата обращения: 10.01.2014).
10. Полюс НТ. URL: <http://polyus-nt.ru/index.html> (дата обращения 01.03.2014).
11. Состояние научной инфраструктуры в РФ: аналит. докл. по итогам общественных слушаний Рос. ассоциации содействия науке. 2013. 15 апр.