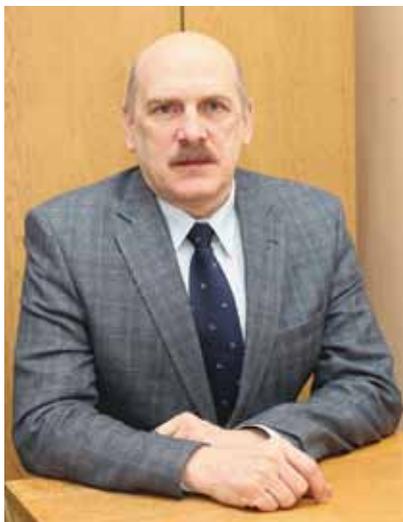


# САМОЕ ГЛАВНОЕ В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ – ЛЮДИ



*Рассказывает генеральный директор научно-производственного предприятия "Центр перспективных технологий", доктор физ.-мат. наук, профессор И.Яминский*

Игорь Владимирович Яминский, выпускник физического факультета МГУ, доктор физико-математических наук, профессор МГУ им. М.В.Ломоносова, автор многочисленных публикаций и монографий по зондовой и атомно-силовой микроскопии, организатор и научный руководитель ряда малых инновационных предприятий, специализирующихся в сфере развития сканирующей зондовой микроскопии и сопутствующих направлений.

**Уважаемый Игорь Владимирович, как возникла у вас идея заняться зондовой микроскопией?**

В 1985 году на физфаке МГУ я защитил кандидатскую диссертацию: "Радиоскопия полярных газов методом регистрации статической поляризации". Созданная уникальная установка позволила измерить дипольные моменты линейных молекул, адсорбированных на поверхности, и имела важное значение для фундаментальной науки. После защиты я решил заняться новым направлением, представляющим большой практический интерес.

В это время я узнал о новом методе, с помощью которого удается видеть отдельные атомы и молекулы, и понял, что надо заниматься именно этим направлением – сканирующей туннельной микроскопией. Весной 1987 года я встретил доктора физико-математических наук Владимира Панова, ведущего научного сотрудника кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ, который уже сделал первый в России туннельный микроскоп. Я предложил построить коммерческий вариант такого микроскопа, В.Панов полностью одобрил идею, и уже в октябре 1987 года у нас была новая модель туннельного микроскопа.

Это было время удивительного душевного подъема: много идей и огромное желание сделать что-то конкретное. Многие вопросы приходилось решать самым неожиданным образом.

Так основание для пьезоманипулятора мы сделали из ситалла, материала, из которого на заводе в Лыткарино изготавливали пятиметровые линзы больших телескопов. Коэффициент теплового расширения такого материала близок к нулю, а значит можно обеспечить минимальный температурный дрейф механики микроскопа. С помощью нашего сканирующего туннельного микроскопа Скан-7 29 декабря 1987 года мы увидели атомы решетки Cu (111).

С 1987 по 1992 год мы выпустили 35 таких приборов, причем достаточно быстро туннельный микроскоп был перестроен в атомно-силовой микроскоп (АСМ). Приборы хорошо покупались исследовательскими институтами и вузами России. В 1992 году, однако, стало понятно, что успех проекта зависит от макроэкономической ситуации в стране: начались тяжелые времена российской жизни 90-х годов. А мы одновременно начали разработку нового микроскопа с принципиально новыми подходами и решениями. К счастью мы получили поддержку от международного научного фонда, Министерства науки и технологий Германии, Королевской академии наук Швеции. Было трудно, но мы интенсивно и много трудились. В результате в 1997 году был изготовлен СЗМ ФемтоСкан – модель на новой элементной базе с цифровой обратной связью и с новой механикой (фемто – это  $10^{-15}$  м – тот предел, который дает хороший и правильный СЗМ). Через два года нам удалось сделать то, что те-



перь кажется простым – был создан СЗМ с полным интернет-управлением.

Работая фактически с 1987 года в рамках маленькой команды, мы прошли через многое. Мы работали в Центре научно-технического творчества молодежи, кооперативе, совместном предприятии. Сразу после принятия в августе 1990 года соответствующего закона, мы создали малое научно-производственное предприятие "Центр перспективных технологий". Уже 12 сентября 1990 года соответствующие документы были утверждены в райисполкоме Совета народных депутатов Центрального административного округа Москвы.

Все работы велись и сейчас ведутся Центром совместно с Московским государственным университетом им. М.В.Ломоносова. Нам удалось построить достаточно эффективное взаимно выгодное сотрудничество. Огромная удача, что я преподаю и читаю лекции на физическом факультете, имею постоянные научные контакты со студентами и аспирантами химического и биологического факультетов. Как следствие, на наших микроскопах молодые ученые выполняют свои курсовые и дипломные работы, диссертации, причем исследования, проводимые в компании, являются естественным продолжением их научной деятельности. Постоянный приток молодых кадров, их идей – главная и основная движущая сила нашего инновационного развития.

#### **То есть кадровой проблемы у Центра перспективных технологий нет?**

К нам постоянно приходят очень сильные студенты. Сначала, поступая в МГУ, они проходят достаточно жесткий отбор, потом учатся и получают серьезные знания. Например – Ольга Синицына закончила с красным дипломом факультет наук о материалах. На пятом курсе пришла к нам в группу делать дипломную работу по зондовой микроскопии углеродных материалов. Уровень подготовки и полученные знания позволили ей за полгода сделать прекрасное исследование. Перед защитой диплома в журнале "Успехи химии" у нее вышла обзорная статья по зондовой микроскопии графита. Как отметили в редакции журнала, это был второй случай, когда студент подготовил большой и серьезный научный обзор, достойный к опубликованию в этом престижном журнале. Сейчас О.Синицына – председатель научно-технического совета Центра перспективных технологий, в значительной степени определяет политику научных работ коллектива. Александр Филонов пришел на кафедру на третьем курсе. Еще в восьмом классе он увлекся программированием и пронес это увлечение через школу, колмогоровский интернат №18 и физфак МГУ. Когда он пришел на наше предприятие – "Центр перспективных технологий", ему была поставлена трудная задача. Есть механика со сложной электроникой – надо придумать и реализовать эффективные алгоритмы управления

#### **К нам постоянно приходят очень сильные студенты. Они проходят достаточно жесткий отбор, поступая в МГУ, потом учатся и получают серьезные знания**

прибором и обработки данных. То есть создать интеллектуальную надстройку, "мозги" прибора. Как я потом много раз убеждался, чем тяжелее и интереснее была задача, тем глубже в нее погружался Александр и тем быстрее ее решал. И уже через полгода была работающая программа – ФемтоСкан Онлайн. Через год, поскольку она совместима практически с любым СЗМ, программу стали покупать в Америке, Англии, Франции, Германии.

#### **Какие компании входят в вашу структуру?**

Сегодня в нашей структуре работают три компании – «Центр перспективных технологий», «Академия биосенсоров» и «Старт инноваций».

Надо сказать, нас активно поддержал Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, возглавляемый И.М.Бортником. Помимо финансовой поддержки от фонда очень важны были беседы с Иваном Михайловичем, его вопросы и беседы по развитию инновационного бизнеса. Такие дискуссии помогли создать реальную инновационную компанию. За это я благодарен Ивану Михайловичу и многократно выражал ему свою признательность, в том числе, через ваш журнал.

В 2004 году фонд объявил о реализации новой программы по поддержке практически значимых идей в области высоких технологий. Мы подали заявки на конкурс. Одна заключалась в том, чтобы использовать атомно-силовую микроскопию для создания биосенсоров, поскольку высокую чувствительность АСМ можно применить для выявления сверхмалых количеств биологических веществ. Победил в конкурсе Глеб Киселев, который был тогда студентом четвертого курса. Возникла мысль, что новое направление следует реализовывать на новом предприятии. В результате была организована "Академия биосенсоров", в которой сформировалась молодая команда, занимающаяся развитием атомных весов и других сенсорных приложений. В 2007 году на конкурсе русских инноваций она получила первую премию журнала "Эксперт", стала победителем многих выставок, участником ряда федеральных целевых программ (ФЦП). Несколько дней назад ею выигран лот, в соответствии с которым она будет создавать на основе АСМ высокочувствительные биосенсоры для медицины. По сути дела, это будет начало пути в реальную медицину.

В 2004 году после победы в программе Фонда Бортника была создана еще одна наша компания – "Старт инноваций". Когда наш микроскоп

стал работать через Интернет, пришла мысль: а почему бы также не управлять всей электронной жилой помещений? Идея была реализована. В частности, корпус МГУ, где мы работаем, оснащен электронными системами управления этой компании (охранные системы, видеонаблюдение, доступ персонала). Позднее компания переквалифицировалась на создание ПО для моделирования зон радиопокрытия мобильных сетей и ее годовой оборот составляет около 100 млн. руб.

В прошлом году оборот "материнской" компании ООО НПП «Центр перспективных технологий» составил 27 млн. руб. ООО НПП "Центр перспективных технологий" – основной инвестор и акционер компании ЗАО "Центр перспективных технологий", созданной 10 марта 2010 года в рамках совместного с РОСНАНО проекта. Ее уставной капитал на настоящий момент – 181 млн. руб.

**В Центре перспективных технологий весьма активно ведутся работы в области нанoeлектроники. Начались они с обнаружения с помощью сканирующей резистивной микроскопии, что отдельные террасы на поверхности графита имеют разное сопротивление**

**В каких направлениях проводятся исследования в Центре перспективных технологий?**

Исследования проводятся студентами и аспирантами с разных факультетов МГУ. Значительное число таких специалистов с различной, но всегда высокой базовой подготовкой обеспечивает синтез физики, химии и биологии. Реализованные на ФемтоСкане проекты – это результат постоянного научного поиска. Главный наш интерес – биология и медицина. Физика же стала инструментом, позволяющим изучать сложные биологические системы. Скорее всего, нанотехнологии не удастся открыть новых законов физики, но мы сумеем понять, как устроены многие чрезвычайно сложные системы. В самом деле, Нобелевские премии по биологии в этом и прошлом десятилетии часто получали физики, поскольку физика все более становилась аналитическим методом для изучения сложных систем. Биология – это очень обширная и бурно развивающаяся область знаний. И здесь работа ведется нами в постоянном контакте со многими ведущими биологическими центрами, в том числе с биологическим факультетом МГУ, НИИФХБ им А.Н.Белозерского, Институтом общей реаниматологии РАМН, Институтом биоорганической химии РАН.

Например, сегодня актуальны приборы экспресс-анализа для достаточно быстрого определения патогенов в биологических жидкостях: антигенов, вирусных частиц, бактериальных клеток. Выбор пал на атомные весы. Фактически уже сейчас существует возможность зарегистрировать одну белковую молекулу. Это достигаемая чувствительность для измерений в жидкости. Если же измерения проводить на воздухе или в вакууме, можно зарегистрировать массу одного атома. Появляется новый класс атомных масс спектрометров сверхминиатюрного исполнения.

**Как это реализуется на практике?**

С точки зрения теории здесь, как вообще в нанотехнологиях, новых фундаментальных идей практически нет. Например, для взвешивания берется очень маленькая пружинка, сравнимая с размером атома. Другой вопрос – где взять такую пружинку? Идеально подходит нанотрубка диаметром 2 нм и длиной 50 мкм, совершающая тепловые колебания на резонансной частоте. Если на кончик такой трубки попадает атом, резонансная частота меняется. Это похоже на обычные пружинные весы, только измерительный элемент в миллиарды раз меньше. Сложности начинаются при практической реализации – как зафиксировать нанотрубку, как измерить ее колебания, как прикрепить белковую молекулу к нанотрубке, как правильно сконструировать ячейку, чтобы поток жидкости был ламинарным, как точно поддерживать температуру и т. д.

**Ведет ли Центр перспективных технологий работы в области нанoeлектроники?**

Такие работы ведутся в Центре весьма активно. Начались они достаточно парадоксальным образом. Мы обнаружили с помощью сканирующей резистивной микроскопии, что отдельные террасы на поверхности графита имеют разное сопротивление, и оно может меняться на несколько порядков. В какой-то момент, приложив достаточно большое для зондовой микроскопии напряжение (несколько В), мы обнаружили, что на поверхности графита появляются диэлектрические области. Таким образом, была нарисована полоска толщиной в 10 нм, не проводящая электрический ток. Удалось разобраться, что происходит локальная литография с нанометровой точностью, растет оксид графита. В объеме графита формируется слой диэлектрика. Это – шаг к новой углеродной электронике, когда на одном и том же материале можно создавать проводники и диэлектрики. Точность такой литографии – доли нанометров. Можно рисовать дорожки, делать транзисторы минимальных размеров, и микроскоп ФемтоСкан превращается в нанолитограф.

По такой технологии можно формировать активные структуры, в частности – полевой транзистор. Точность зависит от зонда, но при его толщине в несколько нанометров можно рисо-

вать дорожку в 1 нм, а это восемь атомов поперечной решетки графита.

### **Насколько активно ваша деятельность поддерживается ГК РОСНАНО?**

Мы попали в число 49 организаций, поддержанных РОСНАНО. Конкурс был невероятно сложный, подано более двух тысяч заявок. РОСНАНО стало нашим инвестором. Через пять лет все деньги должны быть возвращены с процентами – в нашем случае это 13,5% годовых. Сейчас получено 50 млн. руб. На следующем этапе будет еще 60 млн. руб. Условия достаточно жесткие, однако мы пошли на них сознательно, потому что поняли – пора от маленькой компании идти к большой, а для этого нужно обладать не лабораторными возможностями, а современным серийным производством механики, электроники и программного обеспечения.

### **Особенность РОСНАНО – готовность учитывать интеллектуальную собственность... Главная задача – построить высокотехнологическое производство с замкнутым циклом**

Путь эволюционного развития без внешнего инвестирования – продал прибор, заработал денег, построил новый прибор, накопил денег, купил станок, сделал много приборов, еще подкупил денег, построил здание, и т. д. – история не на один год. Чтобы быстро, а лучше очень быстро перейти на принципиально новый уровень, нужны инвестиции. В России в банке их получить можно только под материальные залоги, а особенность РОСНАНО – готовность учитывать интеллектуальную собственность. Ее нам оценили в 96 млн. руб., это часть нашего вклада. Одновременно надо было показать реальные деньги, мы вложили 30 млн. руб. После этого РОСНАНО перечислило первый транш. Эти деньги лежат на специальном счете и жестко контролируются. Мы можем их тратить только по полному согласованию с РОСНАНО. Все акции нашего предприятия, как и все наше оборудование и интеллектуальная собственность заложены в РОСНАНО. В принципе это обычная практика любого инвестора – обезопасить свои инвестиции. Мы относимся к этому спокойно, поскольку имеется четкая задача, которую необходимо выполнить. Такой подход позитивен. Есть задачи – есть решения. И мы работаем.

### **Что получится в результате реализации проекта?**

Главная задача – построить высокотехнологическое производство с замкнутым циклом.

По нашему плану мы должны изготовить 12 микроскопов в 2011 году, 28 – в 2012 году, через пять лет должны производить 296 приборов. Это микроскопы и аналитическое оборудование: атомные весы, оптические регистраторы для наблюдения с точностью до нанометра за положением точечного источника света в модификациях оптического микроскопа, программное обеспечение для трехмерной визуализации данных. Одновременно мы ведем работы по переводу нашего зондового микроскопа в платформу для молекулярного экспресс-анализа, что должно позволить обнаруживать следовые количества белков, ДНК, вирусов в биологических жидкостях.

Мы уже создали маленькое мелкосерийное производство в Москве. Там стоит полностью автоматизированный фрезерный центр Hurco – большой трехтонный аппарат с плавным перемещением фрезы с точностью до 100 нм. Половина всех деталей микроскопа сейчас делается на этом станке. Теперь надо решить проблему с различными видами металлообработки: токарной, электроэрозионной, листовой, лазерной резкой и т. п.

### **Насколько реально производить в России прецизионную механику, необходимую для столь точных приборов?**

Мы никогда не прибегали к услугам сторонних организаций – просто не смогли найти таких партнеров. Представляется, в России никто не предоставляет такую услугу – по чертежам заказчика изготовить детали с микронной точностью. Надо все делать самим. Нам в этом везло. Находились люди, которые могут это делать. Сначала у нас работал Валентин Александрович Андропов – универсальный специалист, много лет проработавший в Центральном конструкторском бюро машиностроения (фирма Челомея в Реутово). Мне удалось привлечь его к сотрудничеству, и с 1995 года он участвовал в создании первых механических систем микроскопа ФемтоСкан. Другой высококлассный специалист – наш золотой фонд – Александр Николаевич Прохоров, токарь шестого разряда. Он из тех специалистов, которому ставишь задачу – сделать так, чтобы подвижная часть ходила без перекосов, а точность составляла несколько нанометров. Он смотрит на чертеж, задает вопросы, потом делает по-своему и гораздо лучше. Для специалиста такого уровня он еще молодой – ему всего 63 года.

### **А ученики у него есть?**

Нет. Это сложная проблема, и, боюсь, такого уровня и умения специалиста больше не будет. С этим мы смирились и перешли на осознание новых реалий. Нужны новые технологии, новые обрабатывающие центры, новые специалисты. Современный токарь – его мы называем «нанотокать» – это программист высокого уровня, со-



здающий трехмерные модели. Функция токаря-фрезеровщика – поставить деталь в обрабатывающий центр и правильно зажать ее в тиски, сделать правильную привязку инструмента. Станок сам берет по очереди фрезы, сверла, и на выходе получается готовая деталь.

Организацией фрезерной обработки у нас занимается кандидат физ.-мат. наук Глеб Киселев. Он и идеолог, и программист, может быть и оператором станка. Сделанные на станке детали относят А.Н.Прохорову, который, как правило, дает простые, но действенные рекомендации.

Совместно с РОСНАНО мы запускаем образовательную программу «нанотокарь». Сегодня число опытных токарей и фрезеровщиков по сравнению со временами СССР стало действительно "нано". Этим людям надо ценить.

Одновременно надо решать вопросы подготовки новых специалистов в области металлообработки, современного материаловедения. Хочу заметить, что работа на современном обрабатывающем центре – увлекательное и интересное занятие и молодые ребята занимаются им с большим интересом. Новые люди и новые подходы. А на выходе – механика субмикронной и нанометровой точности.

#### Где будет создаваться новое предприятие?

Рассматриваются два варианта – строить его вблизи МГУ как интегрированную в университет структуру или взять строительную площадку в Ярославской области. Там и земля дешевая, и люди хорошие. Нам ведь не надо много работников, поскольку производство будет полностью автоматизировано. Мы предполагаем купить там 100 га земли сельхозназначения, примерно за 1 млн. руб. Сначала планируем разбить яблоневый сад. Пока деревья растут, приносят первые яблоки, мы переведем один гектар в промзону и построим завод. Он будет находиться в экологически чистом месте. При современных технологиях строительство происходит быстро и легко. Как только встает вопрос землеотвода, подключения к электричеству, газу и т. д., конечно, начинается невероятная бюрократия. Это может убить проект. Но зато, представляете: в радиусе 10 км – ни одного бюрократа!

Кроме того нас приглашают в Германию, в Мюнстер (земля Северный Рейн – Вестфалия). Этот регион уже объявлен землей нанотехнологии. Нам предлагается начать с комнаты площадью в 20 кв. м. Арендная ставка гораздо ниже, чем в Москве. В нашем распоряжении будет полный объем услуг: энергоснабжение, уборка, телефония, конференцзал, Интернет. По мере необходимости можно расширяться. В перспективе – приобретение земли. После ее покупки всю разрешительную документацию делает администрация центра. Очень четко прописаны протоколы вхождения. Там уже работают Sony, Nikon, General Electric, китайские компании.

## Сегодня число опытных токарей и фрезеровщиков по сравнению со временами СССР стало действительно "нано"...Совместно с РОСНАНО мы запускаем образовательную программу "нанотокарь"

#### Вы согласились?

Конечно. Чтобы микроскопы успешно продавались в Европе, там нужен филиал. В Германии уже функционирует наш европейский дистрибьютор, компания "Бионаноскопия". Она будет продавать наши микроскопы, атомные весы, ПО и все аксессуары.

#### В чем уникальность и конкурентные преимущества создаваемого компанией оборудования?

Основное преимущество СЗМ ФемтоСкан – очень компактная и стабильная механика. В результате обеспечиваются стабильность параметров, предельное разрешение, малый температурный дрейф. Микроскоп можно ставить на обычный стол. Чтобы посмотреть атомы и молекулы, не требуется никакая сейсмозавязка, кроме маленького пассивного фильтра.

Другое преимущество – простой интуитивный интерфейс. Можно работать в простом режиме в контактной моде, однако могут использоваться и сложные режимы для изучения магнитных и электрических полей, литографических процессов. Всего реализовано более 50 различных режимов. Мы сравнивали наше ПО для обработки данных с очень хорошим ПО SPIP компании Image Metrology. Чтобы сделать одни и те же операции в SPIP в среднем надо кликать мышью 4–5 раз, у нас 2–3.

Кстати, по мнению американских создателей зондовых микроскопов, механику может сделать практически любой. В частности, ее хорошо делают китайцы. Электроника – уже более сложная вещь. И совсем мало кто способен создать качественное ПО. Эта пирамида в России перевернута. У нас проще всего создать программный продукт, поскольку компания-производитель ПО ни от кого не зависит, кроме как от своих специалистов. Одно из решающих достоинств нашей компании – это программное обеспечение, по сути, "мозги" микроскопа.

С электроникой в России все более-менее понятно. Покупаются лучшие американские компоненты, чтобы обеспечить оптимальные параметры. В России всегда были сильные схемотехники. К сожалению, как и токари, эти люди стареют, и найти им смену непросто. Основная проблема у нас с механикой – мы не можем размещать заказы на стороне. Трудно получить необходимое самое высокое качество.

**Что является основным продуктом ЦПТ – микроскопы или исследования?**

25% работ Центра перспективных технологий – НИР, 75% – поступающая на рынки продукция: зондовые микроскопы, атомные весы, ПО. Теперь между ООО "НПП "Центр перспективных технологий" и ЗАО "Центр перспективных технологий" возникает четкое распределение. Вся производственная деятельность будет сконцентрирована в ЗАО. Научная активность, так же как и создание новых приборов и прототипов останется в ООО.

Наше оборудование можно использовать не только для проведения научных исследований,

**Сила российских ученых всегда была в фундаментальной науке.**

**Слабость – в технологии**

но и для экспресс-анализа в биологии и медицине. Очевидно, что такое оборудование и методы должны быть ориентированы на малоподготовленного пользователя. Это будет достаточно простой микроскоп, работающий в нескольких режимах. Например, он позволит определять качество эритроцитов. Кровь из пальца наносится на подложку, отправляется в зондовый микроскоп, проводится полный морфологический анализ состояния эритроцитов, разные формы которых говорят о состоянии человека. Например, можно получить ответ на вопрос, можно ли вообще давать выписанное врачом лекарство индивиду, чтобы не происходила нежелательная реакция со стороны клеток крови.

Этому и должна служить новая модификация зондового микроскопа для биологии и медицины. В таком направлении мы активно работаем с Фондом «Сколково», и пока наш проект получает одобрение. Мы также стараемся поспать с новыми приборами в российскую медицину, большая беда которой – практически полное отсутствие отечественной аппаратуры. А это вопрос здоровья людей и национальной безопасности.

**Ваши микроскопы продаются больше в Европе или в России?**

Основные продажи у нас в России. За рубежом они единичны. Вместе с тем ПО продается по всему миру. Оно востребовано и высоко ценится. Кстати и продавать его проще. Не требуется таможенного оформления, только банковский и налоговый контроль.

В развитых странах достаточно много микроскопов. Мы должны выходить с новыми методами, поэтому мы предлагаем атомные весы, которых практически нет на европейском и американском рынках. Хорошо продается ПО, поскольку оно обеспечивает широкие пользовательские

функции. Сейчас серьезно рассматривается возможность представления в индустриально развитые страны новой продукции: оптических регистраторов, приборов биологического экспресс-анализа на основе зондовых микроскопов, атомных весов. Очень интенсивно изучаем развивающиеся в этом отношении страны: Гонконг, Китай. У нас есть активные дистрибьюторы в Иране, Саудовской Аравии, Индии.

Наш прибор превосходит изделия из развитых стран по полной функциональности, интегральности ПО, по цене и технической поддержке, которую мы можем оказывать, образовательному аспекту.

Сейчас, например, в Гонконге есть интерес к недорогим, но полнофункциональным образовательным зондовым микроскопам. В мире существуют, разумеется, дешевые микроскопы, но в них используется совершенно другой принцип: вольфрамовая иглоочка и нет кантилевера. Однако, наше глубокое убеждение – учить надо на микроскопах того типа, какими они являются в коммерческом плане.

Мы по-прежнему рассматриваем российский рынок как стратегический, но настроены также на активное вхождение в зарубежные рынки. У нас были проблемы с технологическим исполнением, с дизайном изделия. Сейчас эти вопросы успешно решаются. Большую помощь в распространении наших микроскопов в России оказывают наши партнеры – компания "Карл Цейс".

**Какую роль будет играть Россия в современном мире нанотехнологий?**

Сила российских ученых всегда была в фундаментальной науке. Слабость – в технологии. Последние 10 лет предпринимаются попытки преодолеть этот разрыв. Наша компания идет этим путем. Конечно, нужны абсолютно новые технологии и культура производства. Для этого требуются целеустремленность и большая творческая энергия.

Самое главное в нанотехнологиях – люди, готовые работать по 16 часов в сутки и получающие от этого удовольствие, и создающие в результате упорного труда современные устройства, приборы, технологии, методы. Нанотехнология – во многом сфера интеллектуальная. Во главе угла – образование людей, их стремления и воля. Когда я смотрю на студентов МГУ 3–5 курсов, которые потом становятся аспирантами, я абсолютно уверен, что у российской нанотехнологии – фантастическое будущее.

**Спасибо за очень интересную и содержательную беседу. Пожелаем вашему коллективу успехов во всех реализуемых проектах.**

С И.Яминским беседовали В.Фокин и И.Шахнович