



ЧТО НАМ СТОИТ ЗАВОД ПОСТРОИТЬ IT IS EASY AS A PIE TO BUILD A PLANT IN THE SKY

И.В.Яминский^{1,2,3} д.ф.-м.н., проф., генеральный директор Центра перспективных технологий, директор Энергоэффективных технологий (ORCID: 0000-0001-8731-3947) / yaminsky@nanoscopy.ru

I.V.Yaminskiy^{1,2,3}, Doctor of Sc. (Physics and Mathematics), Prof., Director of Advanced Technologies Center, Director of Energy Efficient Technologies, (ORCID: 0000-0001-8731-3947)

DOI: 10.22184/1993-8578.2019.12.7-8.450.455

Получено: 17.11.2019 г.

В современном цифровом производстве успешным станет тот, кто построит высокотехнологичный завод, который будет выпускать много полезного. Наш рассказ о системах точного трехкоординатного позиционирования, которые востребованы во многих системах: фрезерных обрабатывающих центрах, микромашиининге, лазерной резке и гравировке, сканирующих зондовых микроскопах и молекулярных 3D-принтерах.

Only one who can build a high-tech plant produces a lot of useful goods and will be successful in a modern digital production. Our story is about 3D precise positioning systems which are in demand in a number of areas such as milling machining centers, micromachining, laser cutting and engraving, scanning probe microscopes and molecular 3D printers.

В центре молодежного инновационного творчества "Нанотехнологии" физического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова [1] при поддержке Центра перспективных технологий проходят практические занятия и курсы по следующим направлениям:

- сканирующая зондовая микроскопия;
- 3D-проектирование в SolidWorks и механообработка.

С первого взгляда может показаться, что эти курсы очень далеки друг от друга. Сканирующая зондовая микроскопия работает с атомами и молекулами, объектами нанометрового и микронного масштаба. Это глаза в наномир в трех его измерениях. Проектирование, дизайн, механообработка – область технологий другого масштаба. Да и здесь нужны абсолютно другие навыки.

Однако реалии современного технологического продвижения говорят совсем о другом. Существующие передовые обрабатывающие центры позволяют достичь субмикронную и нанометровую точность обработки деталей. Среди лидеров – центры электроискровой обработки, фемтосекундные лазеры для резки материалов и даже системы токарного и фрезерного

микромашиининга [2]. Обработку материалов – нанолитографию – можно проводить и с помощью сканирующего зондового микроскопа. При этом используют как механическое, так и электрическое и электрохимическое воздействия.

Но есть и другой важный момент в курсах ЦМИТ "Нанотехнологии", на который следует обратить особое внимание, что мы и делаем при проведении занятий. Если хорошо освоить второй из упомянутых курсов по 3D-проектированию, то на базе полученных знаний и навыков можно самому сконструировать оригинальный сканирующий зондовый микроскоп. Но достичь успеха можно только в том случае, если вы параллельно со вторым курсом изучили и первый курс – сканирующей зондовой микроскопии.

В результате получается единое научно-практическое обучение инженерно-физическому искусству – "Как собрать зондовый микроскоп своими руками".

Начиная с создания первого микроскопа и приходя к сложным серийным моделям, нам приходилось решать два важных вопроса одновременно – придумывать новые режимы микроскопии и реализовывать их в железе. Конечно, нужно добавить и два других важных направления – электронное конструирование и программирование. Эти

¹ МГУ им. М.В.Ломоносова / Lomonosov Moscow State University, Physical and Chemical departments.

² ООО НПП "Центр перспективных технологий" / Advanced Technologies Center.

³ ООО "Энергоэффективные технологии" / Energy Efficient Technologies.

два направления нам давались достаточно легко, потому что у нас уже были хорошие навыки как в электронике, так и в составлении программ. Удачно, что для развития этих направлений не нужны большие капиталовложения. Для подготовки гармоничного специалиста в Центре молодежного инновационного творчества мы планируем добавить два новых курса "Проектирование электронных систем" и "Программирование для нанотехнологий". Со временем подумаем и о другом важном курсе "Маркетинг, реклама, продвижение в высоких технологиях".

После принятия в августе 1990 года закона о малых предприятиях уже в сентябре того же года Центр перспективных технологий был зарегистрирован в Центральном административном округе Москвы как высокотехнологичная производственная компания. По сути дела все последующее время мы строили и развивали компанию как завод по выпуску самых совершенных зондовых микроскопов. Серьезной проблемой была механообработка. Существенного прогресса удалось достичь в 2007 году, когда наше производство мы оснастили высокоточным фрезерным центром



Рис.1. 2007 год. Обрабатывающий центр Hurco VM1. Запуск участка механообработки

Fig.1. 2007. Hurco VM1 machining center. Launch of the machining section

с числовым программным управлением (рис.1). Сейчас мы и сами научились делать фрезерные станки и обрабатывающие центры. Особую нишу занимают малогабаритные обрабатывающие центры. Созданная нами перспективная модель фрезерного центра позволяет проводить автоматическую смену инструмента, имеет автоматические системы охлаждения и смазки. Все это повышает как точность обработки, так и срок службы центра.

With the support of the Advanced Technologies Center, practical classes and courses in the following areas are held at the Center for Youth Innovation Creativity "Nanotechnologies" of the Department of Physics of M.V.Lomonosov Moscow State University [1]:

- scanning probe microscopy;
- 3D design in SolidWorks and mechanical processing.

At first glance, it might seem that these courses are very far apart. Scanning probe microscopy operates with atoms and

molecules, objects of nanometer and micron scale. It is the eye to the nanoworld in its three dimensions. The design, mechanical processing and engineering are the technology field of a different scale. Completely different skills are needed here. However, the real peculiarities of the modern technological movement indicate the opposite. The existing advanced processing centers provide the sub-micron and nano-scale accuracy of machining. The femtosecond lasers for cutting, electro-spark processing centers, milling and lathe micromachining systems are

the leaders among these systems [2]. Processing of materials, the so called nanolithography, may be carried out using a scanning probe microscope. At that, use is made of mechanical, electrical and electrochemical effects.

But there is another important point in the courses of "Nanotechnology" Center, which should be paid special attention to, as we do when lecturing. The deep study of the second course of 3D design mentioned above gives the necessary basis of knowledge and skills to design your own original scanning probe microscope.



Рис.2. 2011 год. Обрабатывающий электроискровой центр VZ300L Sodick едет к нам в цех для организации обучающих курсов. Спасибо компании Sodick за поддержку
 Fig.2. 2011. VZ300L Sodick Electric Spark-Processing Center arrives to our workshop for training courses. Thanks to Sodick for their support

Когда к нам на экскурсию приходят школьники, то стоит задача: просто, понятно и увлекательно рассказать о нашем направлении. И конечно, об успехе, в который мы должны вовлечь школьников, будущих ученых, специалистов, практиков. Нынешнее молодое поколение уже само по себе бизнес-ориентированное. Мы начинаем рассказ о заводе, что обычно молодые умы немножко

настораживает. Но в действительности получается так, что путь к успеху – это выпуск востребованной продукции. Это может быть и интеллектуальный продукт, компьютерная программа или увлекательная игра на мобильном телефоне. В любом случае для выпуска продукта нужен завод. Можете назвать его как угодно: студия дизайна, лаборатория программирования, центр интеллектуальной мысли, фабрика успеха и т.д. Завод он и есть завод. Это путь к успеху. Особенно в эпоху надвигающейся цифровой экономики.

Для посетителей и участников Центра молодежного инновационного творчества "Нанотехнологии" мы регулярно проводим конкурс "Мой первый завод". Надо построить рассказ о заводе, директором которого вы хотите стать и который будет выпускать много полезного. Победителя, как всегда, ожидает приз.

Современные заводы и фабрики очень производительны. Например, один единственный завод Samsung или Sony может обеспечить всех людей планеты телевизорами. Производственный центр компании Intel – снабдить всех скоростным процессором в составе компьютера, ноутбука или планшета. В современном городе можно построить завод по выращиванию салата в закрытом помещении. За год в нем можно вырастить до 12 урожаев. Кроме того, такой завод – это фабрика кислорода, что для мегаполисов очень хорошо. В Москве недавно в здании табачной фабрики на Каширском шоссе запущена городская ферма. Фактически это уже не ферма, а высокотехнологичный завод по производству зелени [3].

However, to be successful, it is absolutely needed to pass the first course (scanning probe microscopy) in parallel to the second one too.

As a result, these courses form the integrated scientific and practical education of engineering and physical art called "How to produce the microscope by own hands".

Starting from making the first microscope and moving to more complicated serial models we had to solve two important problems simultaneously. These problems were to find new modes in microscopy and

to implement them in the hardware. Of course, it is necessary to add two other important directions – electronic design and programming. Both of these directions were implemented easily because of our acquired skills in the electronics and programming. It is fortunate that large investments are not needed to develop these areas. With the aim of preparing the harmonically educated professionals in youth Innovative Creativity Centre we planned to supply two new courses "Design of electronic systems" and "Programming for

nanotechnologies". Over time it would be useful to conduct another important course called "Marketing, advertising and merchandising in high technologies".

After adoption of the law on small enterprises in August 1990, in September of the same year, the Advanced Technologies Center was registered in the Central Administrative District of Moscow as a high-tech production company. Indeed, all following time we built and developed our company as a plant for manufacturing of the most sophisticated microscopes. Mechanical processing was the



Рис.3. 2019 год. Созданные нами конструкции: обрабатывающий центр с числовым программным управлением и автоматической инструмента АТС "Индустрия 4.0" (слева) и фрезерный станок АТС "Нано" (справа)

Fig.3. 2019. Our own designs: a processing center with numerical program control and automatic tool change ATC Industry 4.0 (left) and a ATC Nano milling machine (right)

serious problem. Significant progress was achieved in 2007, when our plant was equipped with an ultra-precise milling centre with computer numerical control (see Fig.1).

Now we produce milling centres and processing centres by ourselves. Small-size processing centres form the special niche. We have created a promising model of a milling center that allows for automatic tool changes, and has automatic cooling and lubrication systems. All this increases both the accuracy of processing and the service life of the center.

When schoolchildren come to us on an excursion we easily, clearly and excitingly tell them about our work and success where we wish to involve children, forthcoming scientists, professionals and engineers. The current young generation is already business-oriented.

As a rule, we start an excursion from telling about our plant, which usually alerts young minds a little. Although, the only way to success is to produce the much-needed goods. It may be an intellectual product, software or amazing game in a gadget. Anyway, a

plant is needed to manufacture the product. We can call it whatever you like. Design studio, software laboratory or intellectual thinking centre, success factory, any name covers the plant. A plant is a plant. That is the way to great success, especially in a forthcoming epoch of digital economy.

For visitors and participants of the "Nanotechnology" Youth Innovation Creativity Center we regularly hold a competition "My first plant". We need to build a story about the plant, the director of which you want to become and

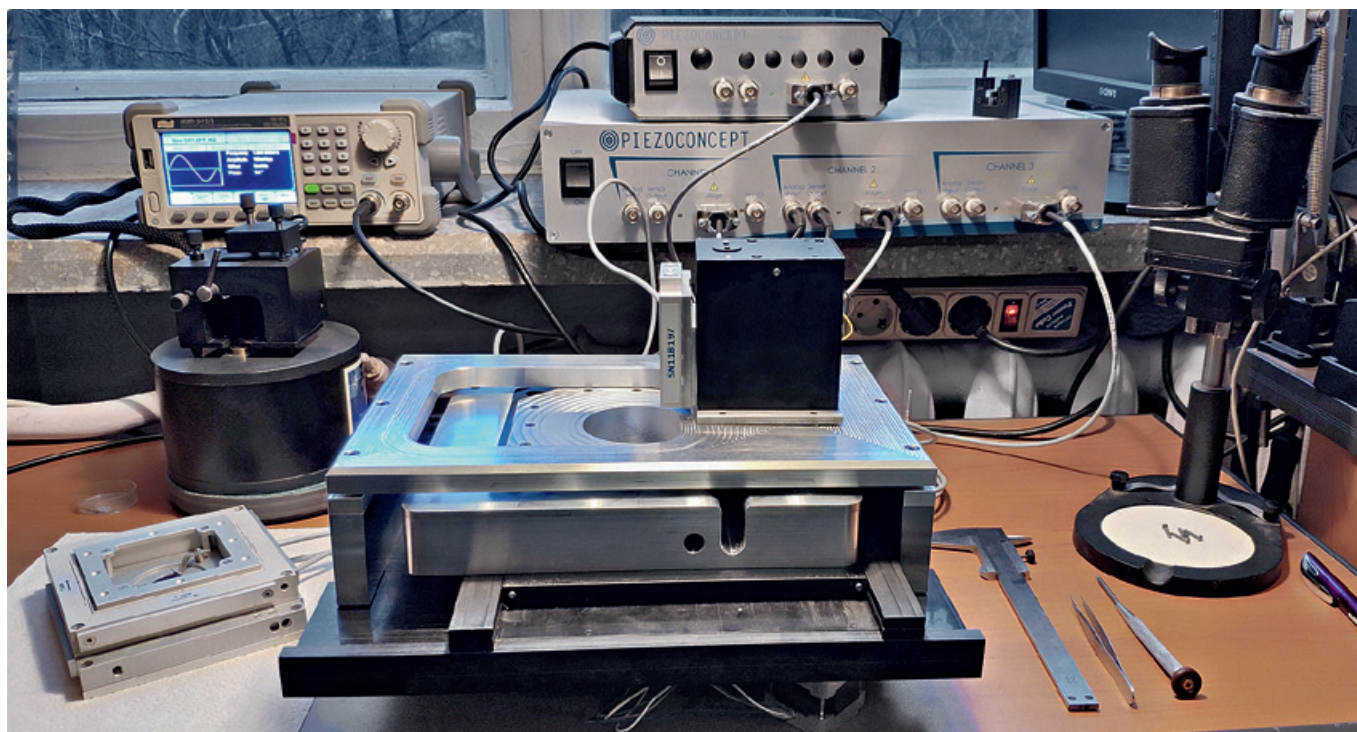


Рис.4. 2019 год. Стенд для испытаний 3D-манипулятора, состоящего из двух ступеней: системы плавного перемещения в диапазоне $100 \times 100 \times 35$ мм и пьезокерамической платформы с диапазоном $75 \times 75 \times 50$ мкм

Fig.4. 2019. Test bench for a 3D manipulator consisting of two stages: a smooth movement system in the range of $100 \times 100 \times 35$ mm and a piezoceramic platform with a range of $75 \times 75 \times 50$ μ m

У современного цифрового завода должны быть все необходимые атрибуты – система управления на базе микропроцессоров, fpga-контроллеров, компьютеров и пр., электроника с датчиками, программное обеспечение

и, безусловно, механические конструкции и исполнительные системы. Другими словами, все, что имеется в сканирующем зондовом микроскопе, должно быть и в цифровой системе производства [4].

which will produce a lot of useful things. As always, a prize awaits the winner.

Modern plants and factories are very productive. For example, a single Samsung or Sony factory can provide all the people of the planet with TV sets. Intel's manufacturing center can supply everybody with a high-speed processor as part of a computer, laptop or tablet. In a modern city, you can build a salad plant indoors. Up to 12 crops can be grown there in a year. In addition, such a plant is an oxygen factory, which is very good for megacities. In

Moscow a city farm has recently been launched in the building of a tobacco factory on Kashirskoye Shosse. In fact, this is no longer a farm, but a high-tech plant for production of greenery [3].

A modern digital factory should have all necessary attributes – a control system based on microprocessors, fpga-controllers, computers, etc., electronics with sensors, software, and, of course, mechanical structures and actuating systems. In other words, everything that is in a scanning probe microscope should be in a digital production system [4].

A common element of the machining center and the scanning probe microscope is the X-Y-Z three-coordinate positioning system. We have developed a 3D manipulator for performing these functions (Fig.4). The technical parameters of the 3D manipulator are shown below:

- X-Y-Z positioning area: $100 \times 100 \times 35$ mm;
- horizontal resolution on X and Y: 0,075 nm;
- horizontal linearity on X and Y: 0,02%;
- resonance frequency X /Y: 3000/2000 Hz;

Общим элементом обрабатывающего центра и сканирующего зондового микроскопа является система трехкоординатного позиционирования X-Y-Z. Нами разработан 3D-манипулятор для исполнения этих функций (рис.4). Технические параметры 3D-манипулятора приведены ниже:

- поле позиционирования X-Y-Z: 100×100×35 мм;
- разрешение по горизонтали X и Y: 0,075 нм;
- линейность по горизонтали X и Y: 0,02%;
- резонансная частота X/Y: 3000 / 2000 Гц;
- разрешение по нормали (вертикали) Z: 0,05 нм;
- линейность по нормали (вертикали): 0,02%;
- резонансная частота Z: 1500 Гц.

3D-манипулятор применяется в следующих областях:

- в качестве системы нанопозиционирования для лазерной гравировки и резки;
- сверхточного микромашиинга;
- 3D-интерференционного сканирования;
- сканирующей зондовой микроскопии;
- молекулярного 3D-принтера, сканирующего капиллярного микроскопа.

Платформа 3D-манипулятора может использоваться как автономно, так и быть установлена на обрабатывающий центр АТС "Индустрия 4.0" или инвертированный оптический микроскоп Nikon Ti-U. Возможна адаптация 3D-манипулятора к другим обрабатывающим и измерительным платформам.

На нашем заводе требуются многие специалисты – физики, химики, биологи, материаледы, программисты, инженеры и конструкторы. Создавать заводы – это путь радости успешного человека.

Работы по изготовлению обрабатывающего центра АТС "Индустрия 4.0" и 3D-манипулятора выполнены при поддержке Фонда содействия инновациям (договор № 422ГРНТИС5/44715). Калибровка 3D-манипулятора методами сканирующей зондовой микроскопии осуществлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-52-560001.

Авторы выражают искреннюю благодарность Департаменту предпринимательства и инновационного развития г. Москвы и Министерству экономического развития Российской Федерации (договор №8/3-63ин-16 от 22.08.16) за неоценимую помощь.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Akhmetova A.I., Fedoseev A.I., Yaminsky I.V., and Belov Yu. K. Youth Innovation Creativity Center "Nanotechnology" at the Physics Department of Lomonosov Moscow State University. *Nanoindustry*, 3 (83): 274–277, 2018.
2. Yaminsky I.V. Ideas and innovation, factories and plants. *Nanoindustry*, 1 (80): 84–86, 2018.
3. <https://yandex.ru/news/yandsearch?from=news-wizard&cl4url=https://rg.ru/2019/11/14/reg-cfo/na-meste-tabachnoj-fabriki-v-moskve-otkrylas-ferma.html&fan=1&wizard=story>
4. Filonov A., Savinov S., Sinitsyna O., Meshkov G., and Yaminsky I. The FemtoScan X is a new scanning probe microscope. *Nanoindustry*, 2012, № 3 (33), 48–49.

- normal resolution (vertical) Z: 0,05 nm;
 - normal linearity (vertical): 0,02%;
 - resonance frequency Z: 1500 Hz
- 3D-manipulator is used in the following fields:

- nanopositioning system for laser engraving and cutting;
- ultra-precise micromachining;
- 3D-interference scanning;
- scanning probe microscopy;
- molecular 3D printer, scanning capillary microscope.

The 3D-manipulator platform can be used autonomously and can be installed on a processing

center of ATC Industry 4.0 or an Nikon Ti-U inverted optical microscope. It is possible to adapt the 3D-manipulator to other processing and measuring platforms.

Our plant requires many specialists – physicists, chemists, biologists, materials scientists, programmers, engineers and designers. Creating factories is the way of joy for a successful person.

The works on manufacturing the ATC Industry 4.0 machining center and 3D-manipulator were supported by the Innovation

Assistance Fund, Contract No. 422GRNTIS5 / 44715. The 3D manipulator was calibrated using scanning probe microscopy with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of scientific project No. 17-52-560001.

The authors express their sincere gratitude to the Department of Entrepreneurship and Innovative Development of the City of Moscow and the Ministry of Economic Development of the Russian Federation (agreement No. 8/3-63in-16 of 08/22/16) for invaluable help.