



РЕАЛИЗАЦИЯ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ КОМПЛЕКСУ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТРОВКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК IMPLEMENTATION OF REMOTE ACCESS TO THE TECHNOLOGICAL SYSTEM FOR FORMATION OF ISLET THIN FILMS

УДК 621.793, 004.771

Л.Колесник*, к.т.н.; С.Сидорова* / kolesnik@bmstu.ru
L.Kolesnik*, Ph.D., S.Sidorova*

Разработана оригинальная методика обеспечения удаленного доступа к технологическому оборудованию. Предложенные методы позволяют контролировать технологические процессы, управлять оборудованием с использованием сетевых технологий и обеспечить при необходимости работу установки без участия оператора.

An original method for providing remote access to process equipment is developed. Suggested methods allow to control processes, to operate equipment with the use of network technologies and to provide, if necessary, the operation without operator intervention.

Появление новых технологий обмена данными предоставляет возможность выработки новых подходов в создании систем управления технологическим оборудованием. Классическая система управления позволяет с требуемой степенью автоматизации управлять проведением технологического процесса. При этом оператор или программирует поведение универсального оборудования под конкретную технологическую задачу, или запускает "защитую" на заводе программу для специального оборудования. Как правило, в этом случае необходимо присутствие человека рядом с оборудованием для его наладки и контроля работы.

Однако, в настоящее время существует целый ряд задач, когда присутствие оператора рядом с оборудованием нежелательно или нецелесообразно. Это может быть связано с вопросами производственной гигиены, наличия вредных факторов производства, проведения экспериментальных исследований на уникальном оборудовании или обучения персонала. Все эти задачи могут быть решены путем организации дистанционного доступа к технологическому оборудованию.

Дистанционный доступ, с одной стороны, позволяет убрать человека из зоны, где его присутствие нежелательно или опасно, а с другой стороны, дает возможность расширить круг потенциальных пользователей парка уникального научного оборудования, приобретение которого в постоянное владение невозможно или нецелесообразно.

В данной статье описывается система удаленного доступа к оборудованию, созданная на кафедре электронных технологий в машиностроении МГТУ им. Н.Э.Баумана в ходе выполнения государственного контракта № 16.647.12.2018 от 25 ноября 2010 года. Удаленный доступ реализован для вакуумной модульной установки нанесения островковых тонких пленок [1].

Практическая ценность работы состоит в том, что удаленный доступ позволяет пользователю, не имеющему больших вычислительных мощностей и технических возможностей, проводить эксперименты по формированию островковых тонких пленок и наноструктур с любого компьютера, имеющего доступ в Интернет.

* Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана / Bauman Moscow State Technical University.



ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В ходе экспертного анализа ситуации в области проектирования и использования комплексов удаленного доступа к лабораторному оборудованию было установлено, что наиболее развито направление, связанное с обеспечением удаленного доступа к измерительным средствам – различного рода микроскопам. Особенностью обеспечения удаленного доступа к средствам измерения является интеграция разработанного производителем специализированного программного обеспечения с модулем удаленного доступа через каналы локальных сетей и Интернет, а также взаимосвязь с учебно-методическими материалами, позволяющими использовать такие комплексы в образовательном процессе.

Удаленный доступ к другому исследовательскому оборудованию, в частности к вакуумным технологическим установкам, на момент

начала работ реализован не был, поэтому в ходе выполнения проекта необходимо было решить следующие задачи:

- логически разбить оборудование на подсистемы: технологическую, энергообеспечения, сервисную;
- проработать и формализовать алгоритмы выполнения технологических процессов;
- разработать систему управления, обеспечивающую возможность полного контроля и управления всеми подсистемами оборудования, включая силовую электронику;
- разработать специализированное программное обеспечение, позволяющее пользователю подключаться к системе управления через каналы связи для контроля и управления проводимыми процессами;
- разработать интерфейс пользователя, обеспечивающий наглядность и простоту, с одной

The development of new data exchange technologies provides the opportunity to create new approaches to control systems for technological equipment. Classic control system allows with required degree of automation to manage the technological process. In this case the operator programs behavior of the universal equipment for a specific technological task, or starts the firmware for special equipment. As a rule, in this case, the presence of a person near the equipment for adjustment and control of the work is necessary.

However, currently there is a number of tasks, when the presence of the operator near the equipment is undesirable or unreasonably. This may be related to hygiene of work, harmful factors of production, the experimental studies on unique equipment or training. All these tasks can be solved by the remote access to technological equipment.

Remote access on the one hand allows to move people away from areas where his presence is undesirable or dangerous, and on the

other hand gives the opportunity to expand the circle of potential users of the unique scientific equipment, the acquisition of which is impossible or impractical.

This paper describes a system of remote access to equipment, developed at the department of Electronic Technologies in Mechanical Engineering of the Bauman MSTU in framework of the state contract No. 16.647.12.2018 of November 25, 2010. Remote access is implemented for modular vacuum facility for formation of islet thin films [1].

Practical value of project consists in the fact that the remote access allows a user who does not have high computational power and technical capabilities, to conduct experiments on the formation of islet thin films and nanostructures with use of any computer that has Internet access.

TASK DEFINITION

During the expert analysis of the situation in the field of design and use of the complexes of remote access to laboratory equipment, it was determined that the most

developed area is associated with providing remote access to measurement tools, different kinds of microscopes. The feature of providing remote access to measurement tools is the integration of developed specialized software with the module for remote access via the Ethernet channels and the Internet, and the interaction with teaching materials, allowing the use of such complexes in the educational process.

Remote access to other research equipment, in particular, to a vacuum processing units, at the beginning of the project had not been realized, so in the course of the project it was necessary to solve following tasks:

- Logically partition the hardware into subsystems: technological, energy supply and service.
- Development and formalization of the algorithms of technological processes.
- Development of the control system that ensures full control and management for all hardware subsystems, including power electronics.



Рис.1. Модель реализации удаленного доступа

Fig.1. Scheme of implementation of remote access

стороны, и полный контроль над оборудованием, с другой стороны.

Все перечисленные задачи были успешно решены.

УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ КОМПЛЕКС

В ходе выполнения работ был создан интерактивный учебно-научный комплекс [1-3] – универсальное решение с функциями удаленного доступа к оборудованию. Технически комплекс

состоит из установки для формирования островковых тонких пленок и наноструктур, системы автоматического управления и информационного модуля, обеспечивающего информационную среду для проведения обучения и исследований процессов формирования покрытий через каналы удаленного доступа.

Модель реализации удаленного доступа представлена на рис.1.

Комплекс состоит из следующих основных компонентов:

- модульной установки нанесения островковых тонкопленочных покрытий;
- аппаратного комплекса, обеспечивающего функции системы автоматического управления установкой и сопряжение ее с программным обеспечением для организации удаленного доступа;
- специализированных программных средств для обеспечения доступа к оборудованию через Интернет.

Функциональный состав учебного комплекса обеспечивает основные методы формирования тонкопленочных наноструктурированных покрытий: термическое испарение, магнетронное распыление, дуговой разряд и газозольное осаждение.

Вакуумная установка для формирования тонкопленочных покрытий состоит из следующих основных элементов [1]:

- вакуумной подсистемы, включающей вакуумную камеру и средства обеспечения вакуума;
- системы для закрепления образцов внутри вакуумной камеры;

- Development of specialized software that allows the user to connect to the control system via communication channels for monitoring and control of ongoing processes.
- Development of user interface that is intuitive and easy with one hand, and allows complete control of the equipment on the other side.

All these tasks were successfully solved.

EDUCATIONAL-SCIENTIFIC COMPLEX

In the framework of project, we developed an interactive educational-scientific complex [1-3], a universal

solution for remote access to equipment. Technically complex consists of the unit for formation of islet thin films and nanostructures, system of automatic control and information unit providing an information environment for teaching and research of coating processes via remote access.

The model of remote access implementation is shown in Fig.1.

The complex consists of the following main components:

- modular system for formation of islet thin films;
- hardware complex, providing the functions of the automatic control system and her connection with the software for remote access;

- specialized software tools to provide access to the equipment via the Internet.

Functional structure of the educational complex provides the basic methods of formation of thin-film nano-structured coatings: thermal evaporation, magnetron sputtering, arc discharge and chemical vapor deposition.

Vacuum system for forming a thin-film coatings consists of the following main elements [1]:

- vacuum subsystem including a vacuum chamber and means to ensure vacuum;
- system for fixation the samples within the vacuum chamber;



- системы подачи рабочих газов для формирования необходимой технологической среды;
- технологической системы, состоящей из источников материалов, используемых для формирования покрытий, и блоков питания источников;
- энергетической системы для питания установки.

Каждая из указанных подсистем является логически законченной и может быть объектом управления независимо от других. Однако, при автоматизации необходимо учитывать ограничения, которые являются начальными условиями для запуска и остановки технологических процессов. Например, нельзя начинать откачку, если на вакуумную камеру не установлены все необходимые фланцы.

Несмотря на то что в работе [4] для формирования островковых тонких пленок в результате проведенного анализа выбраны методы термического испарения и магнетронного распыления, разработанный учебно-научный комплекс позволяет реализовать четыре основных технологических метода: термическое испарение, магнетронное распыление, дуговое испарение и газозольное осаждение. Каждый из этих технологических методов при проведении процесса нанесения покрытия выполняется по одинаковому алгоритму:

- установить образец на подложкодержатель после чего поставить последний в камеру;
- установить необходимый технологический источник;
- откачать вакуумную камеру до предельного давления, обеспечиваемого вакуумной системой установки;

- включить подачу рабочего газа и установить давление в камере в соответствии с требованиями технологии;
- включить источник материала и вывести его на режим;
- открыть заслонку;
- провести процесс формирования покрытия, контролируя его параметры в процессе нанесения;
- закрыть заслонку;
- выключить источник;
- отключить газовую и вакуумную системы;
- напустить атмосферу в камеру;
- снять подложкодержатель и извлечь образец с нанесенным покрытием.

Общность алгоритма формирования покрытия позволила упростить систему управления. Для разных методов формирования покрытия отличия состоят только в реализации подсистемы управления блоками питания технологических источников. Каждый технологический источник имеет свой блок питания и управления, который отвечает за связь пользователя с системой управления, одновременно являясь связующим звеном между контроллером и технологическим источником.

Следует отметить, что некоторые операции, такие как установка образца, подложкодержателя и источника, не могут быть выполнены в автоматическом режиме и требуют участия оператора. В рамках выполняемой работы это не представляет проблемы, а для промышленного оборудования может быть решено использованием автоматических загрузочных систем.

- system for supply of working gases for the necessary technological environment;
- technological system consisting of sources of materials for forming coatings, and of power supply;
- energy system to power the equipment.

Each of these subsystems is logically complete and may be subject of control independently of the other. However, for automation it is necessary to consider the restrictions that are initial conditions for start and stop processes. For example, you cannot start pumping if all the necessary flanges are not installed on the vacuum chamber.

Despite the fact that in [4] for formation of islet thin films as a result of the analysis the methods of thermal evaporation and magnetron sputtering are chosen, the developed educational and scientific complex allows to use four main technological methods: thermal evaporation, magnetron sputtering, arc vaporization and chemical vapor deposition.

Each of these technological methods is performed in the same manner:

- to set the sample on the substrate holder, and then put the last into the chamber;
- to set the necessary technological source;

- to pump out the vacuum chamber to limit pressure provided by vacuum system;
- to turn on the flow of the working gas and to set the pressure in the chamber in accordance with the requirements of the technology;
- to turn on the source of material and bring it to operating mode;
- to open the flap;
- to form the coating with control of process settings;
- to close the flap;
- to turn off the source of material.
- to turn off gas and vacuum systems;
- to fill the chamber with atmosphere;



СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Система управления установкой реализована на базе промышленного контроллера, особенностью которого является наличие интерфейса для включения в локальную вычислительную сеть с передачей данных по протоколу TCP/IP. Обмен данными с контроллером может быть осуществлен по промышленному протоколу MODBUS.

Система управления полностью автоматизирует работу вакуумной подсистемы. Для запуска откачки оператору достаточно дать команду и дождаться достижения предельного давления. Однако при необходимости процесс откачки может быть выполнен в ручном режиме. В этом случае оператор дает команды на включение насосов и открытие или закрытие клапанов по мере необходимости.

Поскольку основным назначением установки является проведение экспериментальных исследований или лабораторных работ, процесс формирования покрытия не автоматизировался. Эти работы имеет смысл выполнять только для промышленного оборудования, когда технология является отработанной и требуется воспроизводимость получаемых покрытий от образца к образцу. Таким образом, в нашем случае формирование покрытия полностью контролируется оператором-лаборантом в полуавтоматическом режиме. Оператор может задать требуемое давление в вакуумной камере или поток подаваемого газа, установить напряжение на источниках или требуемое значение тока. Поддержание заданных значений возьмет на себя система управления.

Одной из важных функций системы управления является контроль правильности действий оператора. Например, система управления не позволит установить такое значение потока рабочего газа, которое приведет к повышению давления в вакуумной камере выше рабочего давления турбомолекулярного насоса. С одной стороны, это обеспечивает защиту оборудования от выхода из строя из-за неправильных действий, а с другой стороны, при выдаче предупреждающих сообщений может использоваться для обучения правильным приемам работы с оборудованием.

Кроме того, система управления реализует функцию аварийного останова, которая обеспечивает гарантированно безопасный режим выключения оборудования, предотвращающий его выход из строя.

СЕРВЕР УДАЛЕННОГО ДОСТУПА

Для обеспечения удаленного доступа к оборудованию была разработана специальная программа – сервер удаленного доступа. Общая схема организации удаленного доступа представлена на рис.2. Система автоматического управления вакуумной установкой подключается к системе удаленного доступа через драйвер сопряжения [1, 2]. Последний является промежуточным звеном между оборудованием и сервером удаленного доступа. Он имеет четкую спецификацию форматов контролируемых и управляющих сигналов, через которые взаимодействует с системой удаленного доступа. Реализация взаимодействия с системой

- to remove the substrate holder and to retrieve the sample with applied coating.

The coincidence of algorithms of formation of the coating made it possible to simplify the control system. For different methods of coating, the differences consist only in the implementation of the management subsystem for power supplies of technological sources. Each source has its own power supply and management, which is responsible for communications with the control system, at the same time being a link between the controller and the technological source.

It should be noted that some operations, such as installation of sample, the substrate holder and source, may not be performed in the automatic mode, and require operator's assistance. In the framework of this project it is not a problem, but for industrial equipment can be solved using automatic loading systems.

CONTROL SYSTEM

The control system is implemented on the basis of industrial controller, a feature of which is the interface for connection with the local computer network using TCP/IP for data transmission. Data

exchange with the controller can be implemented by industrial MODBUS protocol.

The control system completely automates operation of a vacuum subsystem. To start pumping the operator should give the command and wait for reaching the maximum pressure. However, if necessary the pumping can be performed in manual mode. In this case, the operator command to switch on the pumps and to open or close valves as necessary.

Since the main purpose of the facility is to conduct experimental research or laboratory works, the process of forming the coating

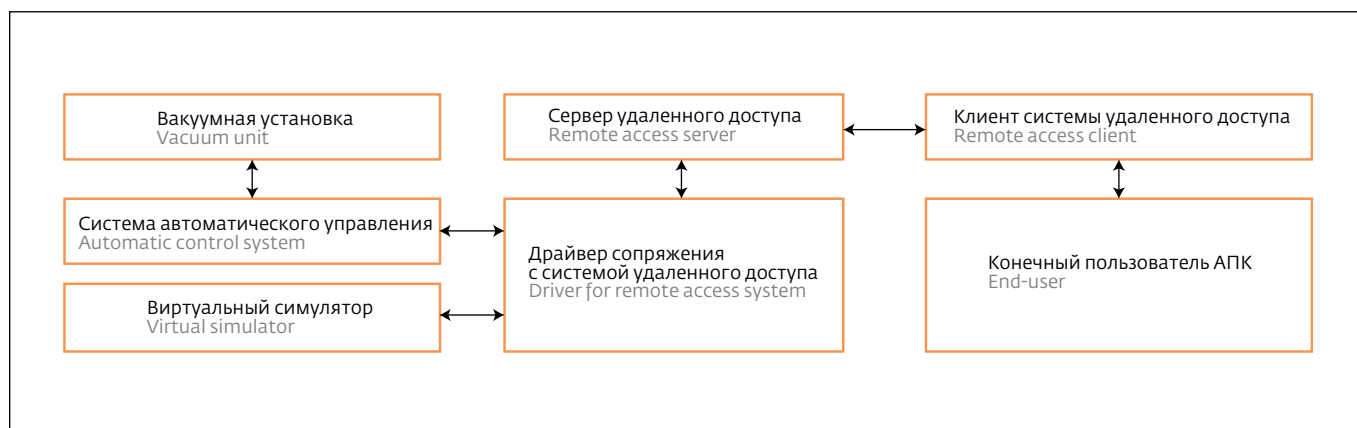


Рис.2. Общая схема организации удаленного доступа к оборудованию
Fig.2. General scheme of system for remote access to equipment

автоматического управления скрыта внутри драйвера.

Такое решение позволяет подключать фактически любое технологическое оборудование с системой управления, написав к ней драйвер, соответствующий спецификации системы удаленного доступа, без изменения функционала программной части комплекса. В качестве установки может выступать и виртуальный симулятор оборудования, который так же подключается через аналогичный драйвер. Виртуальный симулятор позволяет полностью имитировать работу, создавая у пользователя ощущение, будто он работает с реальным оборудованием. Этот вариант не требует присутствия оператора, позволяет одновременно проводить несколько виртуаль-

ных экспериментов и может использоваться для учебных целей.

При работе с оборудованием как в режиме удаленного доступа в реальном масштабе времени, так и в режиме виртуального симулятора реализуются общие методики и алгоритмы за исключением выполняемых вручную операций, например, установки подложки. Для таких операций симулятор просто дает сигнал о готовности оборудования к работе.

Фактически к серверу удаленного доступа можно подключить требуемое количество виртуальных симуляторов или установок. Их количество определяется мощностью вычислительных средств и канала передачи данных.

wasn't automated. This makes sense only for industrial equipment when the technology is proven, and requires the reproducibility of the produced coatings from sample to sample. Thus, in our case, the formation of the coating is fully controlled by the operator-technician in semi-automatic mode. The operator can set the desired pressure in the vacuum chamber or the flow of gas, set the voltage at the sources or the required current value. Maintenance of preset values will be undertaken by a control system.

One of the important functions of the control system is the control

of correctness of actions of the operator. For example, the control system will not allow to set a value of the working gas flow, which will increase the pressure in the vacuum chamber above the operating pressure of the turbo pump. On the one hand, this protects the equipment from damage due to improper actions, and, on the other hand, the warning messages can be used for learning correct methods of working.

In addition, the control system have emergency stop function, which guarantees the safe shutdown of the equipment, which prevents its failure.

REMOTE ACCESS SERVER

To provide remote access to equipment the special software, the remote access server, has been developed. A general scheme of the remote access is shown in Fig.2. The automatic control system is connected to the remote access system through the driver [1, 2]. The latter is an intermediate link between the equipment and the remote access server. It has a specification of the formats of controlled signals, through which interact with the remote access system. Implementation of interaction with the automatic control system is hidden inside the driver.



Сервер удаленного доступа, с одной стороны, взаимодействует с оборудованием через драйверы сопряжения, а с другой стороны, принимает подключения клиентов из внешней сети. В данной работе использован двухуровневый подход к созданию системы коллективного доступа к ресурсам лаборатории. Первый уровень – доступ к оборудованию виртуальной лаборатории через локальную сеть университета, второй – через Интернет.

Учебно-научный комплекс может работать в трех режимах: в режиме директивного управления, удаленного доступа в реальном масштабе времени и в режиме виртуального симулятора.

В режиме директивного управления пользователь находится непосредственно перед установкой, самостоятельно производя все действия. В этом случае алгоритм и методика взаимодействия с учебно-научным комплексом ничем не отличается от работы с любым другим технологическим оборудованием.

В режиме удаленного доступа в реальном масштабе времени пользователь управляет установкой через локальную вычислительную сеть или Интернет. В этом случае около установки требуется присутствие оператора для выполнения "ручных" операций. При возникновении внештатных ситуаций или потери связи с пользователем оператор может перевести установку в директивный режим управления.

Если в режиме директивного управления пользователь имеет возможность использовать элементы управления, расположенные непосредственно на

блоках питания, то в режиме удаленного доступа все действия осуществляются только через персональный компьютер с установленным программным обеспечением. Любая команда, полученная удаленно, обрабатывается в системе управления, проверяется на предмет корректности действия и передается в соответствующую подсистему установок.

В режиме виртуального симулятора, как отмечено выше, пользователь работает с имитатором установки и наличие оператора не требуется. Для проведения виртуального эксперимента возможно подключение нескольких пользователей.

При работе в режиме удаленного доступа подключения осуществляются без использования веб-сервера, напрямую к серверу удаленного доступа. Для подключения необходимо использовать специальную программу – "тонкий клиент". Такое решение позволяет уменьшить время отклика сервера и обеспечивает наиболее приближенное к реальному режиму управление оборудованием. Термин "тонкий клиент" означает, что вся логика работы перенесена на программу-сервер (по такому принципу строятся все веб-браузеры).

После подключения сервер передает программе-клиенту описание доступных сигналов для контроля и управления оборудованием, причем каждый сигнал связан с описанием типового элемента отображения или управления. Для сигналов контроля это могут быть числовые или стрелочные индикаторы, дисплеи, световые

This solution allows to connect virtually any technological equipment with control system by developing the driver corresponding to the specifications of the remote access systems without changing the functionality of the software of the complex. Instead of real device the virtual simulator of equipment, which is also connected via the similar driver, can be used. A virtual simulator allows to fully simulate a job, giving the user the feeling that he is working with real equipment. This option doesn't demand the presence of an operator, allows to conduct at the same time several virtual experiments

and can be used for the educational purposes.

When working with equipment in the remote access mode in real time and in virtual simulator mode, the same techniques and algorithms are used with the exception of manual operations, for example, of installation of the substrate. For such operations the simulator just gives a signal about readiness of the equipment to job.

In fact, by the remote access server you can connect the required number of virtual simulators or facilities. Their number is determined by the power of computing means and the of data channel.

The remote access server, on the one hand, interacts with hardware through drivers, and on the other hand accepts client connections from the external network. In this project we used a two-tiered approach to creating a system of collective access to the resources of the laboratory. The first level is access to the hardware of a virtual laboratory via the local network of the university, the second one – access via the Internet.

Educational-scientific complex can operate in three modes: in the mode of directive management, of remote access in real time and in virtual simulation mode.

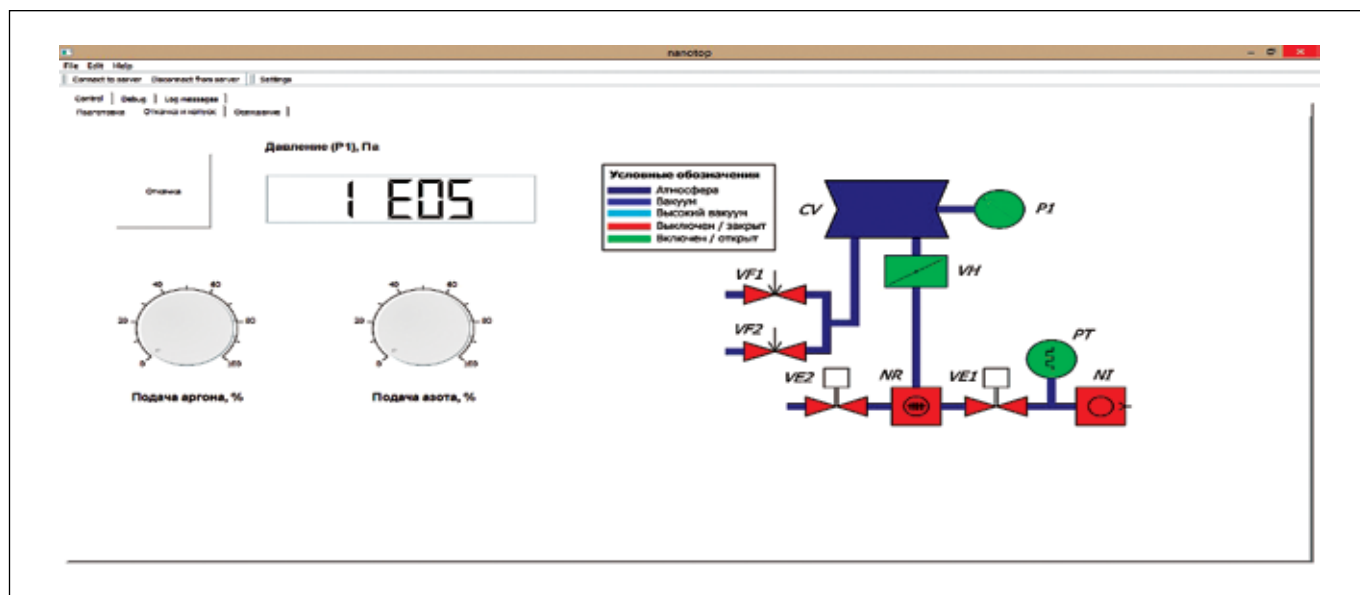


Рис.3. Интерфейс управления вакуумной системой установки

Fig.3. Control interface for vacuum system of facility

индикаторы. Для сигналов управления используются кнопки, панели ввода числовых данных или имитаторы элементов управления типа ползунков или ручек регулировки. Все элементы управления имеют физические аналоги, используемые при создании реальных панелей управления оборудованием. Это способствует интуитивному пониманию интерфейса.

Перенос процесса формирования интерфейса пользователя на серверную часть позволяет

использовать общую клиентскую программу для различных типов оборудования. Кроме того, при модификации сервера интерфейс для всех пользователей, использующих данное оборудование, обновится автоматически. Точно так же реализован принцип формирования веб-страниц в Интернете: изменения, произведенные на сервере, становятся доступны всем пользователям независимо от того, какой клиентской программой они пользуются.

In the directive management mode, the user works near the equipment independently carrying out all actions. In this case, the algorithm and methods of cooperation with educational-scientific complex are the same as during the work with any other processing equipment.

In the remote access mode in real time the user controls the equipment via a LAN or the Internet. In this case the operator's presence near the equipment is necessary for manual operations. In emergency situations or in case of loss of communication with the user, the operator can work with

the system in the directive management mode.

If in the directive management mode the user can use the controls, located directly on the power supply units, in the remote access mode all actions are carried out only through a personal computer with installed software. Any command received remotely, is processed by control system, checked for the correctness of the action and passed to the appropriate subsystem of equipment.

In the virtual simulator mode, as noted above, the user interacts with the simulator of equipment, and the presence of the operator

is not required. Connection of several users for carrying out a virtual experiment is possible.

In the remote access mode connections are made without use of web servers directly to the remote access server. To connect, a special program is needed – a thin client. This solution allows to reduce the server response time and provides the control of the equipment, which is the most approximate to real hardware control. The term "thin client" means that all the logic is moved to the server program (on this principle are based all web browsers).

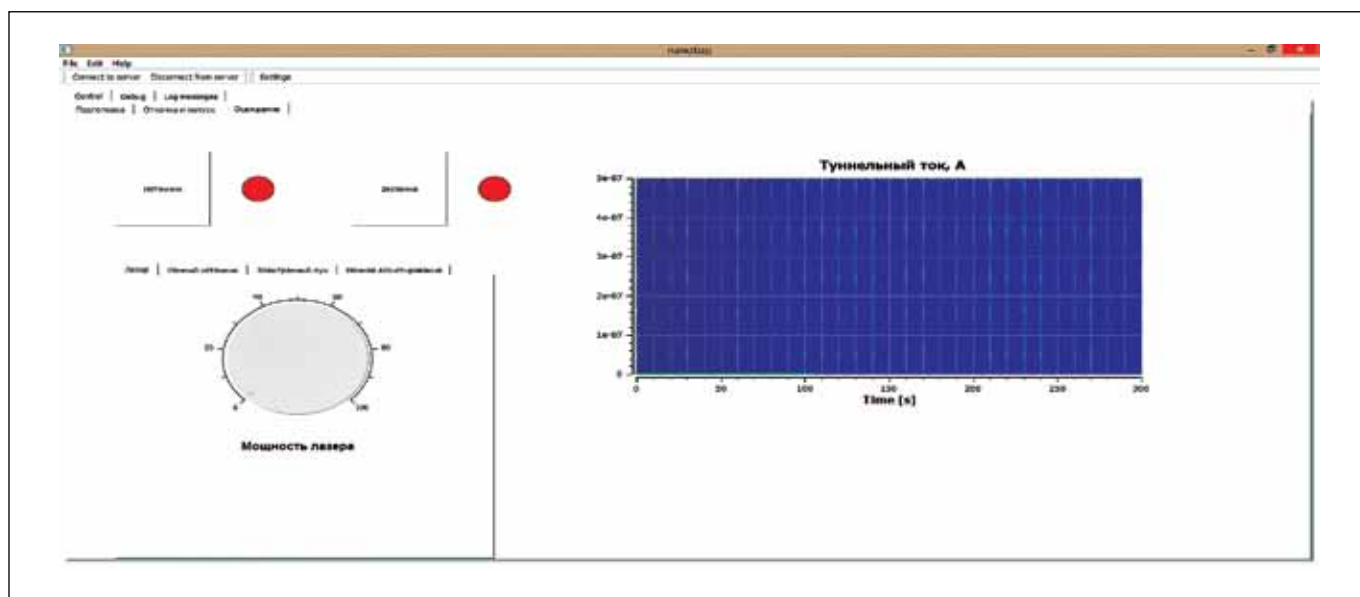


Рис.4. Интерфейс управления технологической подсистемой

Fig.4. Control interface for technological subsystem

ИНТЕРФЕЙС

Программный интерфейс учебно-научного комплекса дает возможность клиенту проводить эксперименты по исследованию процесса формирования тонкопленочных покрытий (в том числе и островковых наноструктур). Сервер удаленного доступа настроен для совместного использования с технологической вакуумной модульной системой.

Логически интерфейс пользователя разбит на три блока (закладки): управление подготовкой

установки к проведению эксперимента, управление системой откачки и управление технологическими источниками.

Интерфейс подготовки к проведению эксперимента позволяет отдавать команды на установку подложки на подложкодержатель, подложкодержателя в камеру, выбор технологического источника и его установку.

Интерфейс управления вакуумной системой позволяет включать процесс откачки,

After connecting, the server sends to the client program a description of the available signals for monitoring and control of equipment, and each signal is associated with the description of a typical display item or control. For control signals it can be a numeric or pointer-type indicators, displays. For control the buttons, panels of input of numeric data or simulators of elements like controls sliders or control knobs are used. All controls have physical analogues used in the real control panels for equipment – that promotes intuitive understanding of the interface.

The transfer of forming the user interface on the backend allows to use a common client program for various types of equipment. In addition, in the case of modification of the server interface will be updated automatically for all users who use this equipment. The principle of formation of web pages in Internet is implemented similarly: changes made on the server are available to all users regardless of which software they use.

INTERFACE

The interface of software of the educational-scientific complex allows the client to carry out

experiments and research of process of formation of thin-film coatings (including of islet nanostructures). The remote access server is configured for sharing with the technological vacuum modular system.

Logically, the user interface is divided into three sections (bookmarks): management of the preparation of the unit to experiment, control of the pumping system and management of technological sources.

Interface of preparation to experiment allows to control the installation of substrate on the holder, of substrate holder into the



включать и регулировать подачу рабочего газа и контролировать давление в вакуумной камере. Для наглядности процесса откачки на экране отображается мнемосхема вакуумной системы, на которой цветами показываються включенные элементы, а также задействованные вакуумные магистрали. Интерфейс окна управления вакуумной системой представлен на рис.3.

Интерфейс управления технологической подсистемой позволяет управлять включением источника материала, регулировать его параметры, а также управлять заслонкой, отсекающей поток материала к подложке от источника. Для контроля процесса роста островковых тонких пленок имеется окно индикации туннельного тока, возникающего в наносимом покрытии. Это позволяет в процессе нанесения контролировать толщину покрытия, размеры островков и степень заполнения поверхности. Интерфейс окна управления технологической подсистемой представлен на рис.4.

ВЫВОДЫ

В ходе выполнения проекта разработана оригинальная методика обеспечения удаленного доступа к технологическому оборудованию. Предложенные методы позволяют контролировать технологические процессы и управлять оборудованием с использованием сетевых технологий, обеспечить при необходимости работу установки без участия оператора.

Разработанный учебно-научный комплекс может применяться не только для обучения студентов, но и для исследований и разработки технологий. Возможны обучение и демонстрация четырех наиболее распространенных методов формирования наноструктурированных покрытий в вакууме, а также отработка технологии и подбор режимов для существующих методов без потерь для производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панфилов Ю.В., Сидорова С.В., Колесник Л.Л., Моисеев К.М. Интерактивный учебно-методический нанотехнологический комплекс // Вакуумная техника, материалы и технология: Материалы VI международной научно-технической конференции. – М., 2011. С. 181-184.
2. Панфилов Ю.В., Колесник Л.Л., Моисеев К.М., Сидорова С.В., Евлампьев А.Н. Вакуумная установка настольного типа для обучения студентов и проведения научных исследований // Вакуумная наука и техника. 2012. Т. 22. № 2. С. 119-122.
3. Колесник Л.Л. Реализация удаленного доступа к технологическому оборудованию на примере создания научно-учебного комплекса для изучения процессов формирования тонкопленочных покрытий // Наноинженерия. 2013. № 12. С. 31-37.
4. Сидорова С., Колесник Л. Моделирование процесса формирования островковых тонких пленок // Наноиндустрия. 2016. № 3. 2016. С. 64-71.

chamber, selection and setup of technological source.

The interface of vacuum control system allows to turn on the pumping process, to turn on and regulate the flow of the working gas and to control the pressure in a vacuum chamber. For better visualization of the pumping process the mimic diagram of the vacuum system where colors show the turned on items and involved vacuum lines is used. The interface of vacuum control system is shown in Fig.3.

The control interface of the technological subsystem allows to turn on sources of material, to adjust its

parameters, and to control the flap, which cuts off the flow of material to the substrate from the source. For control of the growth process of islet thin films, a display window of the tunneling current arising in the applied coating is provided. This allows during the coating process to control the coating thickness, size of islets and degree of surface filling. Interface of the window for sub-system control is presented in Fig.4.

CONCLUSIONS

In the project, an original method for providing remote access to process equipment is developed.

Suggested methods allow to control processes, to operate equipment with the use of network technologies and to provide, if necessary, the operation without operator intervention.

Developed educational-scientific complex can be used not only for student learning but also for research and development of technologies. The training and demonstration of the four most common methods of formation of nanostructured coatings in a vacuum, testing of technology and selection of modes for the existing methods without loss of production are possible. ■

