

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЯМИ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ СТЕНДЕ

*Р. В. Нечайкин, А. Б. Буянов, А. С. Долотов, В. С. Корчиков,  
П. В. Сучков, Е. В. Сырых, А. А. Тренькин, П. А. Цицилин, В. А. Чернышов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

## Введение

В НПЦФ функционирует лабораторный электрофизический стенд, предназначенный для моделирования нестационарных физических процессов в околоземном космическом пространстве [1]. Стенд представляет собой совокупность ряда функциональных узлов, расположенных в трех залах общей площадью более 100 м<sup>2</sup>.

Состав стенда можно условно разделить на следующие компоненты: вакуумная камера моделирования, система вакуумирования, система газонапуска, система формирования магнитного поля, система формирования фоновой плазмы, система диагностики и сбора данных.

Камера моделирования представляет собой секционированную цилиндрическую конструкцию из нержавеющей стали (рис. 1). Длина камеры состав-

ляет 8 м, диаметр 1 м. На торце расположена вакуумно-плотная дверь. Камера имеет окна для подключения элементов системы газонапуска, диагностического и вспомогательного оборудования.

Система вакуумирования разработана на основе безмасляных насосов и обеспечивает остаточное давление газа в камере при постоянной откачке до 10<sup>-7</sup> Тор. В состав данной системы входят, рис. 1: турбомолекулярные насосы с водяным охлаждением, форвакуумный насос, вакуумметр, отсекающие шибера с пневмоприводами, а также пневмосистема клапанов, в которую подача сжатого воздуха осуществляется компрессором.

Система газонапуска предназначена для наполнения рабочего объема рабочими газами и их смеси и поддержания заданного давления в диапазоне от 10<sup>-4</sup> до 10<sup>-2</sup> Тор.

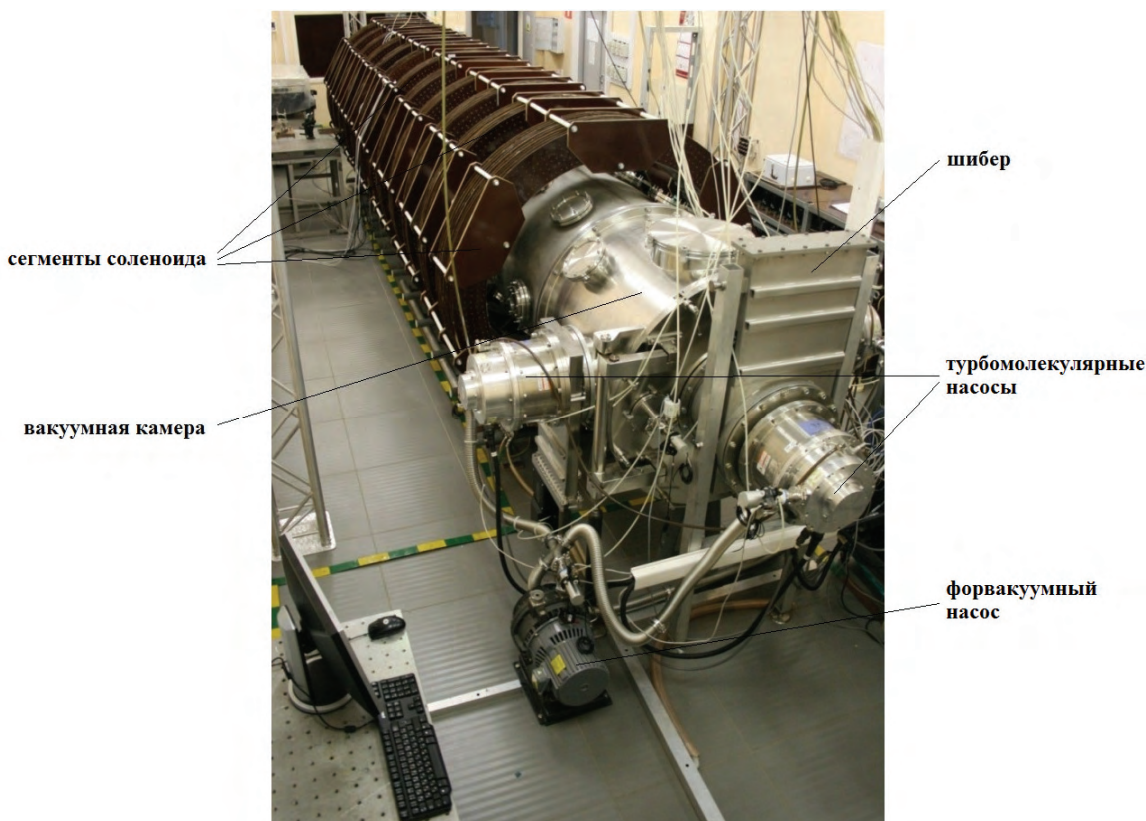


Рис. 1. Фотография вакуумной камеры, соленоида магнитной системы, системы вакуумирования

Система формирования магнитного поля представляет собой сегментированный соленоид, запитываемый модульным источником питания, обеспечивающий ток до 500 А в импульсах секундного диапазона длительности. Вакуумная камера находится внутри соленоида соосно с ним (рис. 1). Данная система обеспечивает квазистационарное осесимметричное магнитное поле с максимальной величиной индукции магнитного поля на оси вакуумной камеры 0,3 Тл.

Одним из основных элементов системы формирования фоновой плазмы является катодно-подогревательный узел, обеспечивающий формирование в вакуумной камере столба замагниченной плазмы. Катодно-подогревательный узел включает в себя специально разработанный металлооксидный термокатод для нагрева которого используются лабораторные источники питания мощностью более 700 Вт каждый. Источники непосредственно подключены к элементам нагрева и обеспечивают регулирование температуры секций термокатада.

Настройка, управление и контроль разнородным пространственно-разнесенным оборудованием в ручном режиме существенно замедляет процесс работы и обслуживания стенда, а также повышает вероятность ошибочных действий. Это становится особенно критичным при проведении экспериментов, когда требуется оперативное управление и контроль состояния экспериментального оборудования в режиме реального времени.

Данное обстоятельство обусловило необходимость создания системы дистанционного управления и контроля функциональными узлами стенда. Решение поставленной задачи связано с разработкой соответствующего программно-аппаратного комплекса включающего в себя технические и программные средства, обеспечивающие удобное интерактивное взаимодействие в режиме реального времени с компонентами стенда.

Для реализации поставленной задачи существуют готовые программные решения, такие как, MasterSCADA, SitectSCADA, Siemens WinCC, ICONICS GENESIS32 [2–5]. Данное программное обеспечение обладает мощными функциональными возможностями, но не лучшим образом подходит к рассматриваемому экспериментальному стенду, так как используются в масштабных производствах и имеют слишком громоздкую структуру, а также ряд излишних свойств и инструментов. Кроме того, они рассчитаны на стандартизированные производственные процессы, в то время как на экспериментальном стенде происходит периодическая модернизация экспериментального оборудования и частая смена настроек и параметров. В этой связи, более рациональным является отказ от готовых решений и создание собственного программного обеспечения для автоматизации управления экспериментальным стендом. Такое ПО способно обеспечить более гибкое управление лабораторным стендом. В этой связи для реализации алгоритмов было выбрано программное обеспечение LabVIEW (Laboratory Virtual

Instrument Engineering Workbench), специализированное для использования в исследовательских лабораториях [6].

Исходя из специфики предназначения и технологии проведения работ на стенде, разрабатываемый программно-аппаратный комплекс должен соответствовать следующим требованиям:

- обеспечивать возможность включения/выключения и настройки параметров используемого оборудования с централизованного пульта управления;
- минимизировать влияние человеческого фактора во время работы на экспериментальном стенде;
- программная часть должна иметь интуитивно понятный интерфейс, отображающий показания используемого оборудования в режиме реального времени, а также обладать гибкостью для дальнейшего развития и модернизации.

В данной публикации представлены основные результаты текущей стадии создания программно-аппаратного комплекса для дистанционного управления оборудованием экспериментального стенда, включающим систему вакуумирования и источники питания катодно-подогревательного узла. Указанные компоненты стенда были определены в качестве первоочередных, управление которыми является наиболее трудоемким, как на этапе подготовки оборудования к экспериментальному циклу, так и на этапе проведения экспериментов.

### **Блок управления системой вакуумирования**

Структура системы вакуумирования (рис. 2) включает в себя следующее оборудование, требующее дистанционного управления: три турбомолекулярных насоса, вакуумметр, пять клапанов с пневмоприводами, три отсекающих шибера с пневмоприводами. Управление турбомолекулярным насосом производится при помощи серийного блока управления насосом через интерфейс RS-232. Управление контроллером датчика вакуума осуществляется через интерфейс RS-485.

Интерфейс RS-232 - проводной дуплексный интерфейс. Используется в промышленном и узкоспециальном оборудовании [7]. Интерфейс RS-485 – высокоскоростной и помехоустойчивый промышленный последовательный интерфейс передачи данных. Обеспечивает обмен данными между несколькими устройствами по одной двухпроводной многоточечной последовательной симметричной линии связи в полудуплексном режиме [8].

Отдельно стоит отметить пневмосистему клапанов и шиберов, которая функционирует на основе 8-канального модуля релейной коммутации и компрессора. Компрессор используется для поддержания определенного уровня избыточного давления в пневмосистеме. Данная модель компрессора не имеет возможности дистанционного управления. По этой причине контроль данного устройства с центрального пульта не возможен. Управление модулем

релейной коммутации осуществляется по двухпроводному интерфейсу RS-485.

Принимая во внимание минимальные требования к коммуникационному оборудованию, а именно, необходимость подключения устройств по интерфейсам RS-232 и RS-485, а также передача данных на расстояние до 15 метров, для реализации разрабатываемой системы выбрана клиент-серверная архитектура сети.

В качестве сервера используется компактный промышленный компьютер, в качестве клиента – персональный компьютер. Ввиду наличия в стойке с сервером диагностического оборудования, сеть организована при помощи сетевого коммутатора [9, 10]. Структура подключения сетевого оборудования и элементов системы вакуумирования изображена на рис. 3.

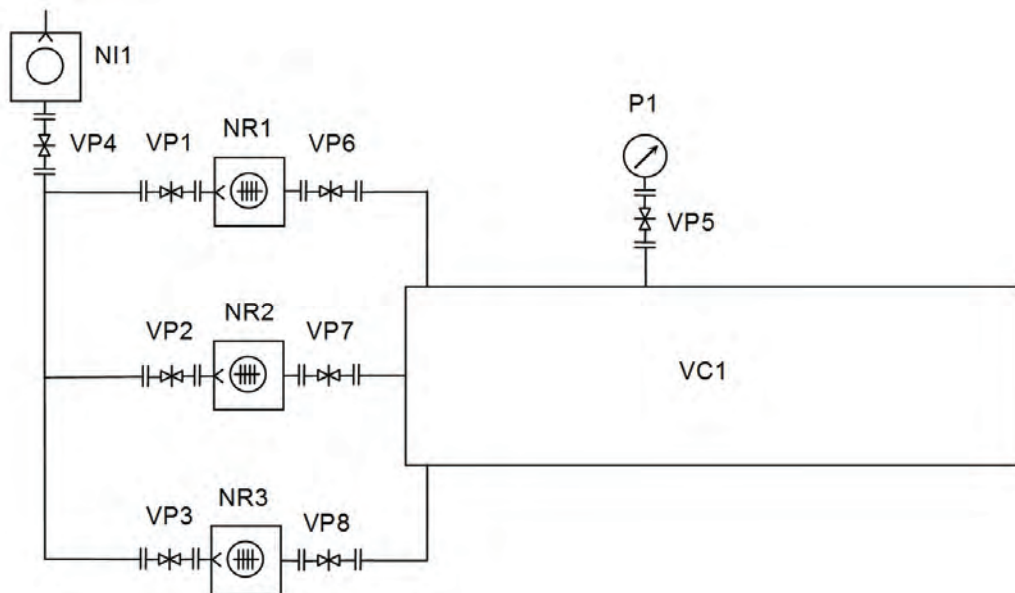


Рис. 2. Структура системы вакуумирования: CV1 – камера моделирования, NI1 – форвакуумный спиральный насос, NR1-NR3 – турбомолекулярные насосы, VP1-VP5 – клапаны с пневмоприводами, VP6-VP8 – шиберы с пневмоприводом, P1 - широкодиапазонный вакуумметр

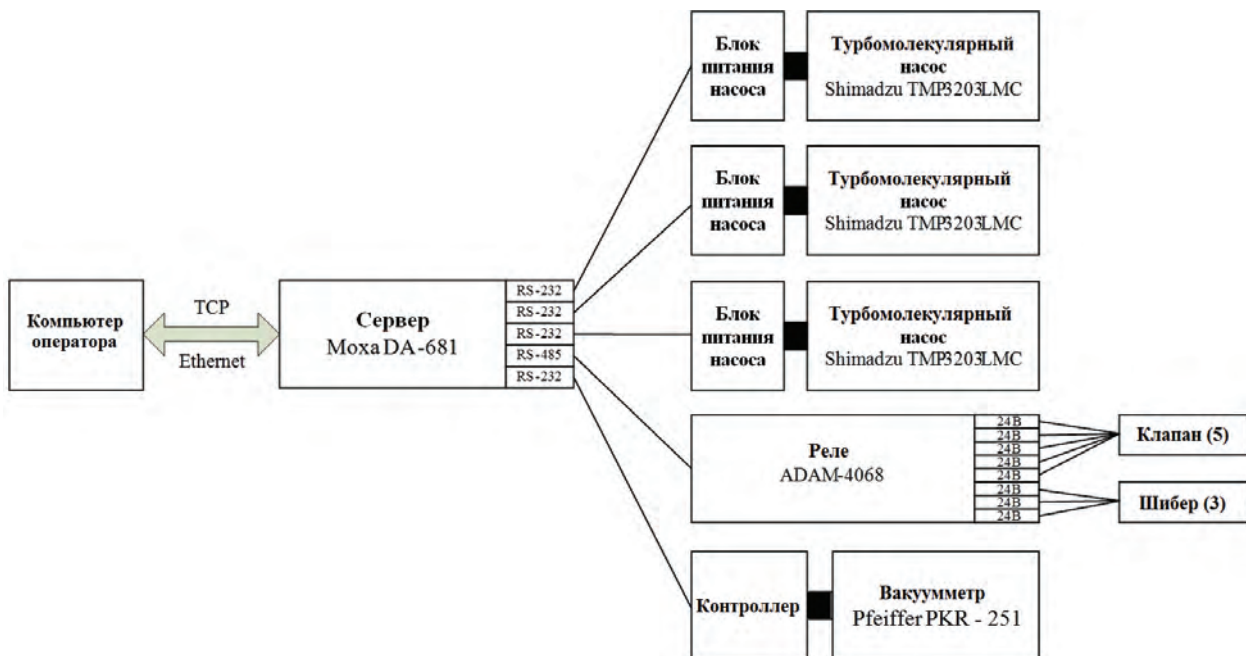


Рис. 3. Структура подключения сетевого оборудования и элементов системы вакуумирования

Рассмотрим интерфейс и принципы работы разработанных клиентского и серверного приложений. Клиентское приложение состоит из основной программы, а также, программы предварительной настройки. После подачи питания к элементам системы вакуумирования и запуска клиентской части приложения происходит установление соединения по сетевому протоколу TCP между клиентским и серверным приложениями. В среде программирования LabVIEW для этих целей имеется ряд стандартных встроенных решений [11, 12]. Соединение происходит следующим образом: серверное приложение находится в состоянии прослушивания заданного порта, в клиентском приложении в программе предварительной настройки задается IP адрес сервера и порт, по которому происходит попытка соединения. Изображение диалогового окна предварительной настройки клиентской части приложения показано на рис. 4.

После установки соединения с серверным приложением начинается ассоциация доступных на сервере COM-портов и подключаемого оборудования. Серверное приложение по запросу присылает список доступных COM-портов, и пользователю становится возможен выбор COM-порта для каждого объекта управления.

Далее происходит последовательная проверка модуля релейной коммутации, трех турбомолекулярных насосов и датчика давления: с клиентского приложения поступают команды для проверки соединения с каждым из устройств, серверное приложение пересылает команду на соответствующий COM-порт, устройство отвечает на команду, серверное

приложение считывает команду-ответ с данного порта и отправляет ее на клиентское приложение. Клиентское приложение делает обработку и, в случае неправильного ответа или его отсутствия, выводит сообщение о неисправности. Если все оборудование подключилось успешно, приложение продолжает работу.

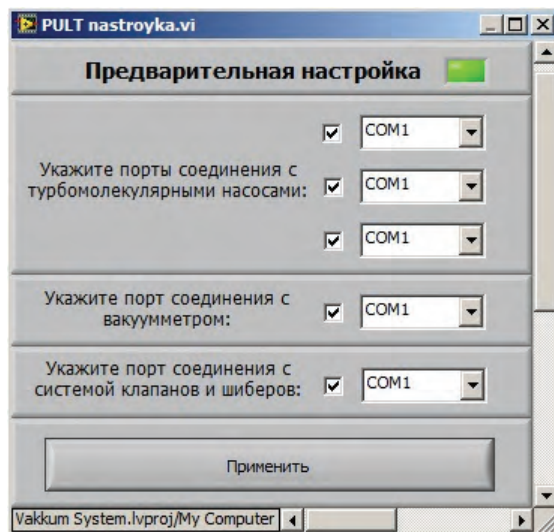


Рис. 4. Диалоговое окно предварительной настройки клиентской части приложения

Далее пользователю предоставляется выбор действий в основном окне программы клиентской части приложения. Изображение данного окна показано на рис. 5.

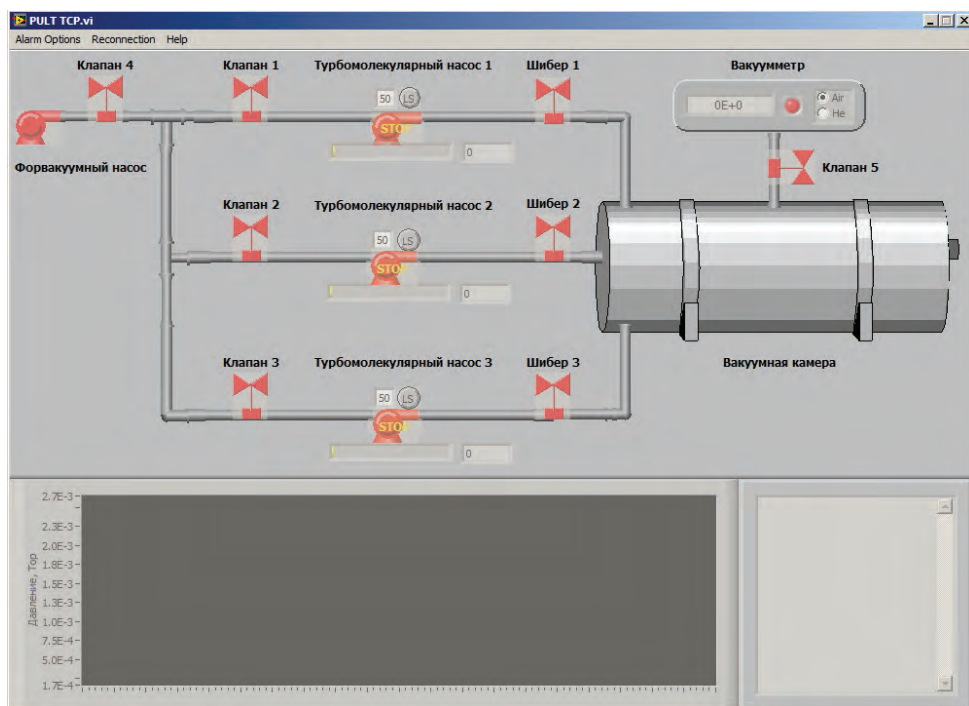


Рис. 5. Основное окно программы клиентской части приложения

В приложении имеется изображение схемы системы вакуумирования лабораторного стенда, график давления в вакуумной камере. Клапаны и насосы на схеме стенда представляют собой интерактивные кнопки управления открытием/закрытием клапанов, а также замедления/ускорения турбомолекулярных насосов. При нажатии на изображения кнопок происходит включение или выключение насосов, либо открытие или закрытие шиберов. Индикация конкретного состояния всех перечисленных устройств обеспечивается подсветкой соответствующих кнопок. Трубы, изображенные на схеме, также являются индикаторами. Если по отрезку трубы течет воздух, то изображение трубы подсвечивается. Под иконкой насосов имеется шкала, показывающая текущую мощность работы насоса. Вакуумметр показывает текущее значение давления в камере, а график давления – изменение этого давления с течением времени. График имеет адаптивную систему подбора масштаба по оси абсцисс – это дает наглядное изображение изменения давления.

Таким образом, разработанная система позволяет в режиме реального времени осуществлять дистанционное управление и контроль параметров оборудования системы вакуумирования из пультового помещения. А именно, включение и выключение турбомолекулярных насосов, установка и контроль уровня мощности каждого насоса, закрытие и открытие клапанов и шиберов, визуализация текущих показаний уровня давления в вакуумной камере и его изменения во времени, наличие движения газа по трубопроводам.

### Блок управления источниками питания катодно-подогревательного узла

Специфика проведения экспериментального моделирования требует обеспечения однородного нагрева до заданной температуры всей эмиссионной поверхности термокатода. Поскольку термокатод имеет секционную структуру, используется восемь источников питания, по два на каждую секцию (рис. 6). Для регулирования температуры термокатода необходима синхронная подача индивидуальных значений напряжения на каждую секцию. Результатом решения данной задачи стала разработка системы дистанционного управления для регулирования параметров источников питания с централизованного пульта управления.



Рис. 6. Фотография стойки с источниками питания секций термокатода

В виду того, что источники питания катодно-подогревательного узла находятся на значительном удалении от управляющего компьютера, в качестве коммуникационного оборудования используется серверное устройство фирмы MOXA [13]. Данное устройство, работая в режиме Real COM Mod, способно выполнять роль виртуального COM-порта. На практике это означает, что управляющий компьютер получает дополнительный COM-порт, фактически удаленный на несколько десятков метров. Схема подключения оборудования при этом такова, что источники питания подключены к серверному устройству, а оно, в свою очередь, через коммутатор подключено к управляющему компьютеру в пультном помещении (рис. 7). При коммуникации серверное устройство использует сетевой протокол TCP/IP.

Используемые источники питания имеют возможность дистанционного управления по интерфейсу RS-485 и обладают собственным набором команд. Все используемые модули соединены последовательно и по умолчанию находятся в режиме ожидания команды. Обмен данными с устройствами осуществляется последовательно. Для доступа к устройству с управляющего компьютера должен быть послан адрес устройства. После этого устройство, распознавшее адрес, становится активным и может обмениваться данными с управляющим компьютером. Остальные устройства остаются в режиме ожидания. Процедура инициализации обмена данными со всеми модулями и системы аналогична.

Пользовательский интерфейс программы для дистанционного управления нагревом термокатода представлен на рис. 8.

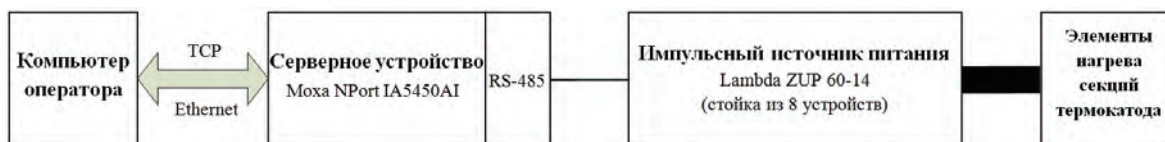


Рис. 7. Структура подключения сетевого оборудования и элементов катодно-подогревательного узла в системе управления источниками питания

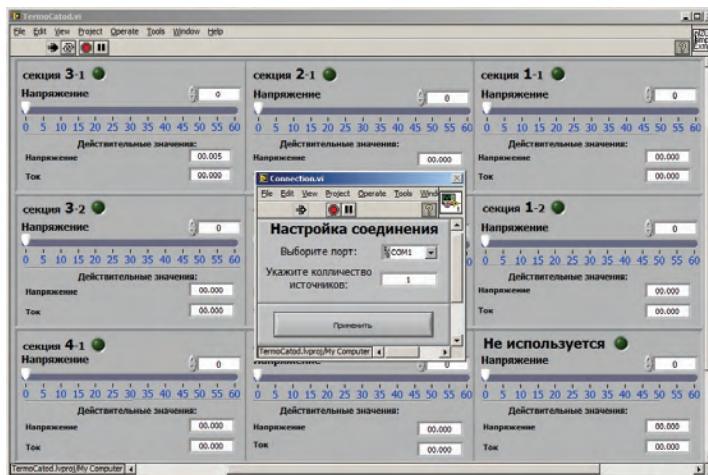


Рис. 8. Интерфейс программы управления источниками питания катодно-подогревательного узла

Первоначально пользователю необходимо выбрать порт, через который подключены источники питания. В виду специфики стенда количество источников периодически меняется, по этой причине необходимо указать количество подключаемых в данный момент устройств. После этого пользователю становится доступным основное окно программы, где непосредственно осуществляется управление уровнем напряжения на каждом отдельном устройстве. Минимальный шаг изменения напряжения равен 1 В, максимальный – 5 В. Периодически происходит обновление параметров источников питания и отображаются фактические значения напряжения и тока. Параллельно с обновлением данных с устройств, происходит процедура опроса регистров операционного статуса, статуса тревоги и кодов ошибок. В случае возникновения какой-либо нештатной ситуации, пользователь получит сообщение с описанием возможной причины сбоя системы.

Таким образом, разработанная система обеспечивает регулирование параметров и контроль массива источников питания катодно-подогревательного узла из пультового помещения в режиме реального времени.

## Выводы

Представлено описание текущей стадии разработки программно-аппаратного комплекса для дистанционного управления модулями на экспериментальном стенде.

К настоящему времени разработаны и находятся в эксплуатации системы для дистанционного управления системой вакуумирования и источниками питания катодно-подогревательного узла. Комплекс позволяет оператору в режиме реального времени осуществлять дистанционное управление и мониторинг параметров оборудования с централизованного пульта.

Комплекс обеспечивает возможность управления и контроля:

- системой вакуумирования в части включения и выключения турбомолекулярных насосов, установки и контроля уровня мощности каждого насоса, закрытия и открытия клапанов и шиберов, визуализации текущих показаний уровня давления в вакуумной камере и его изменения во времени, наличия движения газа по трубопроводам;

- массивом источников питания катодно-подогревательного узла в части регулирования и контроля их параметров.

Разработанный комплекс позволил:

- значительно сократить время подготовки стенда для проведения экспериментов;
- существенно увеличить скорость взаимодействия оператора с оборудованием и контроля ситуации во время проведения эксперимента;
- уменьшить вероятность ошибочных действий в управлении оборудованием.

## Литература

1. Основные достижения РФЯЦ-ВНИИЭФ 2009 / Под ред. акад. РАН Илькаева Р. И. и др. ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров, 2009 г. С. 27.
2. <https://insat.ru>
3. <http://www.scada.ru>
4. <http://www.siemens.com>
5. <https://www.iconics.com>
6. <http://www.labview.ru>
7. Гук М. Ю. Интерфейсы ПК: Справочник – СПб.: Питер Ком, 1999
8. Гук М. Ю. Аппаратные средства IBM PC. СПб.: Питер, 2006
9. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2012
10. Гук М. Ю. Аппаратные средства локальных сетей. СПб.: Питер, 2000
11. Тревис Дж., Кринг Дж. LabView для всех. М.: ДМК Пресс, 2008
12. Блюм П. LabView: стиль программирования. М.: ДМК Пресс, 2008
13. <http://www.moxa.ru>