

УДК 681.5

**В. А. Коковин, И. В. Лобов, А. Н. Сытин****Конфигурируемая система управления оборудованием  
физического эксперимента**

*Приведено описание автоматизированной системы измерения и управления для решения широкого спектра задач по обеспечению работы оборудования и управления испытательными стендами различного назначения. Особенностью разработанной системы является возможность автоматического конфигурирования для работы с широким набором стендового оборудования.*

*Ключевые слова: испытательный стенд, исследование лазерного излучения, система управления, программная и аппаратная платформа, LabVIEW, SCADA.*

**Об авторах**

**Коковин Валерий Аркадьевич** – к.т.н., доцент кафедры АТПИП филиала «Протвино» государственного университета «Дубна». *E-mail:* kokovin@uni-protvino.ru. Московская обл., г. Протвино, Северный пр. 9.

**Лобов Игорь Викторович** – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник филиала «Протвино» государственного университета «Дубна». *E-mail:* ilobov@mail.ru.

**Сытин Александр Николаевич** – д.ф.-м.н., профессор кафедры АТПИП филиала «Протвино» государственного университета «Дубна». *E-mail:* alexander.syтин@gmail.com.

Основная задача, которую должна решать система управления и контроля оборудования физического эксперимента заключается в обеспечении оперативного использования тех измерительных и управляющих устройств, которые необходимы для реализации требуемых режимов работы оборудования физического эксперимента в различные моменты времени [1]. Это налагает важное требование к системе управления – возможность ее настраивания на различные конфигурации оборудования. Рассмотрим, например, систему управления оборудованием для проведения экспериментов с участием электроразрядного лазера на основе газовых смесей [2]. Система управления должна предоставлять набор базовых услуг:

- проводить измерения быстрых (длительностью 10 мкс) аналоговых сигналов с помощью измерительных приборов (анодный ток и анодное напряжение);

- отслеживать текущие значения медленных аналоговых и статусных сигналов (давление, температура, сигналы блокировок);

- менять управляющие параметры, влияющие на исследуемый физический процесс (процесс разряда: напряжения зарядки анодной накопительной емкости и зарядки

емкости блока поджига);

- выдавать синхроимпульсы (длительностью 1 мкс) в заданные моменты времени;

- менять управляющие параметры, влияющие на исследуемый физический процесс разряда;

- отображать на экране текущее состояние всех измеряемых аналоговых величин и статусных сигналов;

- отображать на экране осциллограммы быстрых сигналов (анодного тока и напряжения разряда), сравнивать две осциллограммы путем наложения;

- сохранять все измеренные данные в базе данных (БД);

- иметь необходимый набор возможностей просмотра и анализа сохраненных в БД данных.

Эксперименты по исследованию влияния различных факторов на параметры пучка могут проводиться с привлечением разнообразных измерительных и управляющих приборов – управляемых осциллографов, АЦП, таймеров, измерителей давления, температуры, вакуума и т.п. Для разных экспериментов требуются разные наборы измерительных и управляющих устройств. Соответственно, система управления, помимо перечисленных выше базовых услуг, должна поддерживать все имеющиеся в лаборатории измерительные устройства и иметь возможность подключения

именно тех из них, которые требуются в текущем эксперименте.

#### **Возможные подходы при решении задачи управления исследуемым объектом**

Для построения конфигурируемой системы управления можно использовать различные подходы.

Первый подход заключается в том, что на рынке приобретаются системы, специально предназначенные для сбора данных с большого количества датчиков исходной информации и управления большим числом исполнительных устройств – SCADA (аббревиатура от *Supervisory Control And Data Acquisition* – система управления и сбора данных). При этом предполагается минимум затрат ручного труда на адаптацию этого ПО для решения требуемой задачи.

Примерами известных SCADA-систем являются *Wonderware* [6], *TRACE MODE* фирмы *AdAstra* [5], *PVSS* система, используемая в ЦЕРНе [4]. Особенностью систем SCADA является то, что они работают с очень широким спектром стандартизованных устройств сбора данных и управления, которые предоставляет рынок. Это является сильной стороной систем SCADA, поскольку при этом значительно упрощается процесс настройки и запуска всей системы управления. Однако применение SCADA затруднительно для решения исследовательских задач, т.е. там, где предстоит сложный процесс изучения способов формирования алгоритмов управления и определения форматов данных. Таким образом, SCADA более уместно применять для управления предприятием (заводом, сборочной линией и т.п.), т.е. там, где процесс сбора данных формализован.

Другой, противоположный подход, предполагает максимум ручного труда с использованием средств разработки нижнего уровня: компиляторов, отладчиков и т.д., например, это C++, Java или их комбинации, включая веб-компоненты. При таком подходе программист сам создает систему управления *from the scratch*, т.е. «с нуля». Сильной стороной использования этого подхода является то, что создаваемая система будет очень оптимальной и быстрой, в ней не будет избыточности, свойственной системам SCADA. Однако время, требуемое для разработки такой системы, растет более чем линейно с увеличением размеров самой системы. Соответственно,

растет вероятность внесения программистом ошибок в программное обеспечение.

В противовес обоим предыдущим подходам представляется разумным использовать промежуточный вариант – разработка СУ вручную с использованием мощного инструментального пакета. Исходя из изложенного выше, было принято решение о том, что пакет *LabVIEW* фирмы *National Instruments* [1] является наиболее подходящим для решения поставленной задачи. Пакет сочетает в себе лучшие качества SCADA-систем, с одной стороны, и возможностью создания исполняемых модулей, с другой стороны. *LabVIEW*, по сути, является SCADA-системой, ориентированной на научно-исследовательские цели.

#### **Выбор измерительного и управляющего оборудования**

Обоснованный в предыдущем разделе выбор пакета программ *LabVIEW* определяет специальные требования к выбору средств для создания аппаратной платформы автоматизированной системы измерения и управления. Основным требованием при выборе средств измерения и управления следует рассматривать возможность поддержки их программными драйверами, реализованными для пакета *LabVIEW*. Поэтому, учитывая наличие широкого спектра измерительных устройств фирмы *National Instruments*, предпочтительным является использование электронного измерительного оборудования этой фирмы.

Для размещения электронного измерительного оборудования и реализации обмена данными между управляющим устройством (процессор) и измерительными модулями необходима вычислительная платформа. Анализ возможных реализаций систем управления и измерения показал, что в качестве вычислительной платформы СУ наиболее приемлемым решением являются аппаратные средства, реализованные на базе промышленного компьютера. Особенностью этого устройства является в первую очередь его конструктивно-аппаратное построение, ориентированное на применение в промышленных условиях, для которых типичным можно назвать наличие серьезных электромагнитных помех и нестабильную работу сетевого питания. Приведенные условия характерны для работы СУ.

Аппаратная вычислительная платформа размещается в напольном разборном шкафу в стандарте 19". Такое решение позволяет:

- разместить максимальное количество пассивного и активного оборудования на минимальной площади;

- распределить в шкафу большое количество слаботочных кабельных линий, прокладываемых от оборудования стенда;

- обеспечить защиту оборудования и кабелей от различных внешних воздействий;

- защитить работающий персонал от электромагнитного излучения работающих систем.

Выбор необходимого измерительного оборудования определяется параметрами измеряемых сигналов и диапазонами их изменения, что определяется техническим заданием.

Алгоритм управления стендом для исследования различных характеристик лазера предполагает два основных сценария работы: автоматический и ручной. Автоматический режим работы заключается в непрерывном формировании управляющих воздействий для работы различных исполнительных устройств стенда и измерения необходимых параметров, сохраняемых в базе данных для последующего анализа. В ручном режиме оператор сам определяет последовательность предполагаемых действий по исследованию с непрерывным визуальным контролем измеренных параметров.

Исходя из приведенного выше алгоритма управления работой стенда, необходимо выбрать средства, которые позволят оперативному персоналу гибко менять управляющие параметры, влияющие на различные процессы работы оборудования стенда. Решение этой задачи реализовано на программно-управляемых устройствах, изменение параметров работы которых оперативно доступно для персонала. Такими устройствами являются модули (таймер, АЦП различных типов и т.д.), размещенные в компьютере, обеспечивающие таким образом для оператора возможность удаленного управления (через коммуникационные сети), не находясь при этом в зоне с неблагоприятными факторами.

### **Задачи по отображению информации в СУ**

Выбор способов отображения данных, в первую очередь зависит от задач, которые должны решать эти средства. В автоматизированной системе измерения и управления лазерным стендом решаются следующие задачи:

- отображение мнемосхемы со значениями текущих параметров установки на экране;

- отображение осциллограмм аналоговых сигналов с осциллографов, размещенных в БД;

- отображение *ALARM*-сообщений, видеоизображений и другой оперативной информации.

Все эти задачи, для оперативного восприятия персоналом текущего состояния лазерного стенда, решаются одновременно. Для отображения информации в СУ используется три монитора, два из которых подключены к компьютеру переднего края, а третий подключен к компьютеру с БД.

После анализа различных предложений на рынке производителей в качестве компьютера переднего края (КПК) был выбран промышленный компьютер фирмы *Advantech* [3]. Выбор основан на анализе требуемых факторов для аппаратных средств, интерфейсов и конструктивных решений выбранных средств измерения и управления. В результате этого выбрана модель промышленного компьютера *SYS-4U4320-8A01* фирмы *Advantech* с форм-фактором для размещения в 19" стойке.

Для надежной работы управляющих и измерительных систем комплекса необходимо обеспечить их бесперебойным питанием. Выбор источника бесперебойного питания (ИБП) основывается на следующих требованиях:

- выходная мощность ИПП должна соответствовать (плюс резерв 20%) потребляемой мощности электронного оборудования;

- ИБП должен обеспечивать нулевое время переключения на батарейное питание и обратно;

- возможность размещения ИПП в 19" стойке.

На основе выбранного аппаратно-программного обеспечения разработана структурно-функциональная схема СУ [2].

### **Обработка потоков информации**

На рис. 1 представлена схема обработки потоков информации. Данная схема обеспечивает получение информации с двух осциллографов и регистратора цифровой информации РИЦ822, ее запись, хранение в базе данных, а также последующий доступ к информации о всех событиях на стенде с удаленного компьютера через локальную вычислительную сеть или интернет.

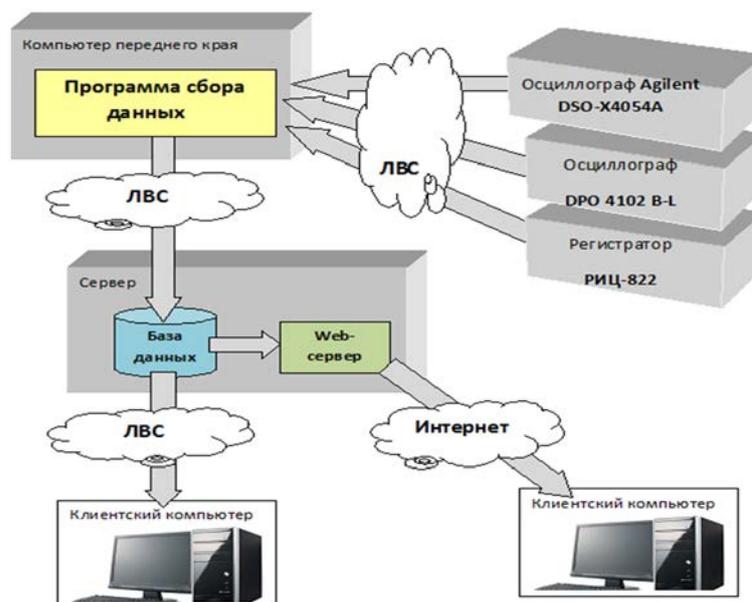


Рис. 1. Схема взаимодействия программных компонентов

### Описание электронных форм и их графическое изображение

Функциями управляющей программы являются:

- Установка требуемых входных параметров стенда и запись их в электронику:
  - напряжение зарядки накопительной емкости;
  - напряжение зарядки емкости блока поджига;
  - время импульса «плазменный катод».
- Старт разряда.
- Считывание данных из датчиков, из памяти быстрых измерительных устройств (осциллографов и анализатора РИЦ 822).
- Запись считанных данных датчиков и осциллограмм в базу данных.
- Отображение текущих считанных данных на экране с возможностью выбора нужного сигнала.
- Поиск осциллограмм в базе данных, их просмотр и сравнение двух осциллограмм между собой.

### Отображение осциллограмм последних измеренных данных

Система управления предоставляет возможность интерактивной работы с каждым из подключенных к ней устройств. В настоящий

момент система управления может автоматически распознавать и настраиваться на работу со следующими устройствами:

- таймер *8-Channel Counter/Timer with Digital I/O NI PCI-6602*;
- АЦП (*2 GS/s Oscilloscope/Digitizer NI PCI-5154*);
- осциллограф цифровой *Tektronix DPO 4102 B-L*;
- измеритель МЕРАДАТ-ВИТ19ИТ1;
- регистратор сигналов РИЦ822;
- измеритель двухканальный с RS-485 ОВЕН «ТРМ200»;
- осциллограф *Agilent DSO-X 4104A*;
- осциллограф *Tektronix TDS 2012C*;
- осциллограф *Tektronix DPO 4102B-L*;
- цифровой осциллограф В-424;
- высоковольтный источник питания ИП704С;
- измеритель *OPHIR NOVA II*.

Для каждого из этих устройств имеется возможность интерактивной работы. Например, на рис. 2 представлено окно интерактивной работы с осциллографом В-424. Осциллограммы в верхней правой части окна показывают результат измерения анодного тока после поджига.



Рис. 2. Окно отображения измеренных сигналов с осциллографа В-424

**Отображение данных архива осциллограмм**

На рис. 3 приведен внешний вид окна работы с архивными данными. В правой части экрана расположена информационная панель отображения автоматически распознанных и подключенных к системе управления измерительно-управляющих устройств.

При работе с архивом пользователь вначале должен выбрать интересующий его сигнал, после чего он выбирает нужную осциллограмму в два этапа. Затем пользователь выбирает день, в который проводилось измерение. При клике на выбранный день в соседнем списке отобразится весь набор осциллограмм, измеренных в тот день. После клика на нуж-

ную осциллограмму она отобразится на левом графике.

Правый график предназначен для отображения участка осциллограммы в увеличенном масштабе. Например, можно настроить этот график на просмотр участка переднего фронта осциллограммы сразу после предьонизации. В окне работы с архивом имеется возможность выбора из базы данных второго сигнала с целью сравнения двух сигналов. Схема выбора второго сигнала из базы данных изложена выше – вначале надо выбрать дату проведения измерения, затем выбрать файл с нужным временем измерения. На обоих графиках две осциллограммы отображаются разными цветами.

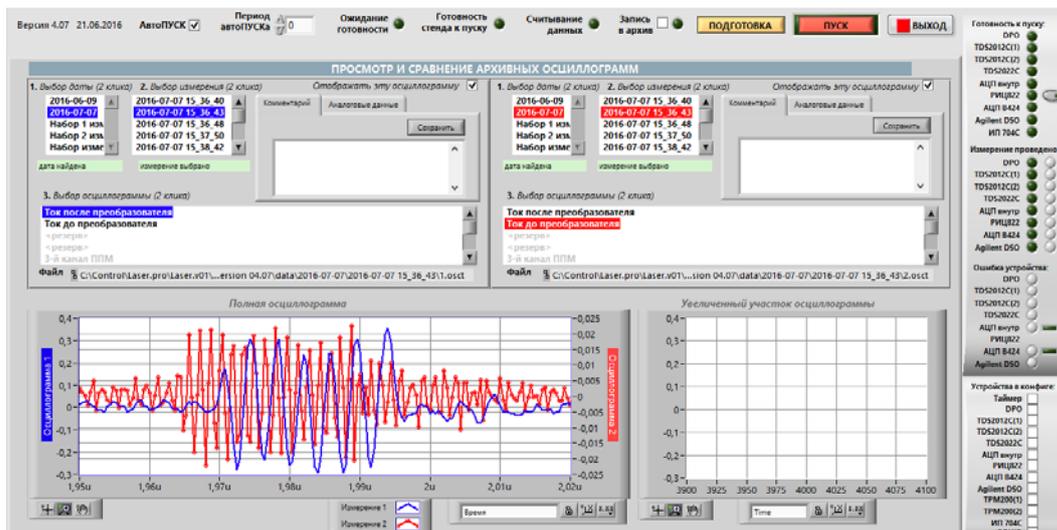


Рис. 3. Окно просмотра архивных данных

### Заключение

Разработана система управления, имеющая возможность автоматической настройки на различные конфигурации измерительного и управляющего оборудования, которое требуется для проведения физического эксперимента. Система имеет модульную организацию по программному и аппаратному обеспечению и позволяет оперативно менять объект исследования и режимы управления стендами с помощью переконфигурирования. Проведенные исследования лазерной установки показали хорошую стабильность по управлению, высокую точность по измерению, оперативность представления информации на экране мониторов с визуализацией параметров экспериментов и результатов. Разработанная система имеет универсальные возможности для исследования широкого спектра задач в рамках возможностей измерительных приборов. В тестовом режиме был испытан режим удаленного управления стендом с применением сетевых технологий.

*Работа выполнена по результатам договора № НИР/14 от 9 января 2014 «Разработка и поставка программного обеспечения для системы автоматизации стенда» между ГБОУ «Международный университет природы, общества и человека «Дубна» и ЗАО «РТИ-Радио».*

### Библиографический список

1. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 / под ред. П.А. Бутырина. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 264 с.
2. Программно-аппаратный комплекс для лабораторных научных исследований / А.И. Вагин, И.В. Лобов, А.Н. Сытин, В.А. Коковин, И.Е. Кузнецов, В.И. Дягилев // Известия Института инженерной физики. – 2018. – № 2(48). – С. 73–76. – URL: <http://files.serpuhov.biz/nas/izvestiyaiif/48.pdf>.
3. Промышленные системы фирмы Advantech // Промышленный компьютер SYS-4U4320-8A01. – URL: [https://advdownload.blob.core.windows.net/productfile/Downloadfile/1-370Q0B/ACP-4320\\_rus.pdf](https://advdownload.blob.core.windows.net/productfile/Downloadfile/1-370Q0B/ACP-4320_rus.pdf) (режим доступа: свободный. Дата обращения: 04.10.2018).
4. Burkimsher, P. C. Jcor experience with a commercial scada product // Proceedings of IX International conference ICALEPCS2003, 2003. – URL: <http://epaper.kek.jp/ica03/PAPERS/TU201.PDF> (режим доступа: свободный. Дата обращения: 04.10.2018).
5. SCADA TRACE MODE // Высокотехнологичная программная система для автоматизации технологических процессов. – URL: <http://www.adastra.ru> (режим доступа: свободный. Дата обращения: 04.10.2018).
6. Wonderware System Platform // Отраслевые решения Wonderware. – URL: <http://www.wonderware.ru/solutions> (режим доступа: свободный. Дата обращения: 04.10.2018).

*Поступила в редакцию  
06.12.2018*