

УДК 004.5;620.162.4;620.193.21;681.513.2

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ КЛИМАТИЧЕСКОГО И ТЕРМОВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ИЗДЕЛИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Андросов Владимир Яковлевич,

начальник отдела климатических, механических и электрических испытаний открытого акционерного общества «Научно-производственный центр "Полюс"», Россия, 634050, г. Томск, пр. Кирова, 56 «в». E-mail: polus@online.tomsk.net

Плотников Андрей Владимирович,

ведущ. инженер-программист отдела климатических, механических и электрических испытаний открытого акционерного общества «Научно-производственный центр "Полюс"», Россия, 634050, г. Томск, пр. Кирова, 56 «в». E-mail: polus@online.tomsk.net

Вагайцев Семен Александрович,

инженер-электроник отдела климатических, механических и электрических испытаний открытого акционерного общества «Научно-производственный центр "Полюс"», Россия, 634050, г. Томск, пр. Кирова, 56 «в». E-mail: polus@online.tomsk.net

Будников Евгений Анатольевич,

генеральный директор общества с ограниченной ответственностью «ПРОМХОЛ», Россия, г. Москва, 105062, Лялин пер., д. 20. E-mail: promhol@mail.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью автоматизации процесса термовакуумных и климатических испытаний изделий космической техники на предприятии космической отрасли.

Цель работы: создание специализированной системы контроля режимов и параметров процессов термовакуумных и климатических испытаний, обоснование выбранных технологий сбора, обработки первичных данных о заданном и текущем испытательном профиле, а также данных о техническом состоянии применяемых средств измерений и испытательного оборудования, имеющих различное исполнение.

Методы и технологии: анализ технологических процессов испытаний изделий, проектирование и макетирование автоматизированных систем контроля и управления, проведение испытаний в программном режиме, анализ заданного испытательного профиля, параллельное программирование, объектно-ориентированное программирование, связывание и внедрение объектов (OLE), хранение и обработка XML-данных, человеко-машинное взаимодействие, клиент-серверное взаимодействие.

Результаты: создана автоматизированная система контроля параметров испытаний, разработаны ее основные программно-технические решения и компоненты, проведена оценка эффективности их применения по первым результатам эксплуатации.

Выводы: применение автоматизированной системы, включающей до нескольких десятков единиц испытательного оборудования, объединенных в сеть и управляемых из единого центра процессом термовакуумных и климатических испытаний изделий, обеспечивает экономическую эффективность, высокий организационно-технический и метрологический уровень наземной обработки изделий космической техники.

Ключевые слова:

Климатические и термовакуумные испытания, внешние воздействующие факторы, система охлаждения и нагрева жидкости, косвенный нагрев и охлаждение жидкости, каскадная холодильная установка, диспетчерское управление и сбор данных, человеко-машинный интерфейс, контроллер-регулятор, программируемый логический контроллер, автоматизация проведения испытаний, автоматизированная система контроля параметров испытаний.

В настоящее время к изделиям космической техники нового поколения предъявляются повышенные требования по точностным, ресурсным и эксплуатационным характеристикам, в частности по стойкости изделий к факторам открытого космического пространства, напрямую влияющим на надежность и ресурс космического аппарата и характеризующимся температурами до минус 70 °С и атмосферным давлением до $1 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.

Имитация космического пространства при наземной обработке изделий осуществляется путем

проведения испытаний на прочность и стойкость к термовакуумным и климатическим факторам [1].

Испытания проводятся с применением специализированного термовакуумного испытательного оборудования (ИО), технологической оснастки, электронных и электромеханических нагрузочных устройств, а также программно-технических средств измерений [2].

Изделие во включенном состоянии испытывается в различных режимах работы, при этом изменяются как параметры нагрузок, так и климатиче-

ский и вакуумный профили [3, 4]. Процесс выполняется непрерывно с различным количеством и длительностью циклов при общей продолжительности от нескольких суток до месяца.

Таким образом, испытания являются технически сложными и дорогостоящими, их реализация в полном объеме предъявляет повышенные требования как к применяемым техническим системам, так и к персоналу испытательной лаборатории.

С целью комплексной отработки разрабатываемых изделий на стойкость к факторам открытого космического пространства, эффективного использования применяемых технических средств и минимизации влияния инженерно-технического персонала на процесс в ОАО «НПЦ «Полус» создана автоматизированная система контроля параметров испытаний (АС КПИ).

АС КПИ (рис. 1) представляет собой ИО, объединенное промышленным интерфейсом в единую сеть и подключенное к управляющему компьютеру (ПК) с разработанным специализированным программным обеспечением (ПО).

Рассмотрим одну из типовых функциональных схем отдельно взятой единицы ИО (рис. 2), входящей в состав АС КПИ. Блоки испытуемого изделия устанавливаются в вакуумную камеру на «этажерку» соединенных определенным образом между собой термостабилизированных плит, входные и выходные фланцы которых подключены посредством термостойких шлангов к программно-управляемой системе охлаждения и нагрева жидкости.

В системе охлаждения и нагрева жидкости реализован принцип косвенного нагрева и охлаждения термостабилизированных плит, установленных в вакуумной камере, позволяющий достигать указанных температур поверхности с использованием специального теплоносителя.

Необходимая теплоотводящая мощность плит рассчитывается исходя из удельной тепловой мощности, выделяемой блоками изделия на «этажерку» плит, и соответствует производительности системы охлаждения и нагрева жидкости, выраженной в единицах тепловой мощности нагрева и охлаждения в единицу времени согласно неравенству

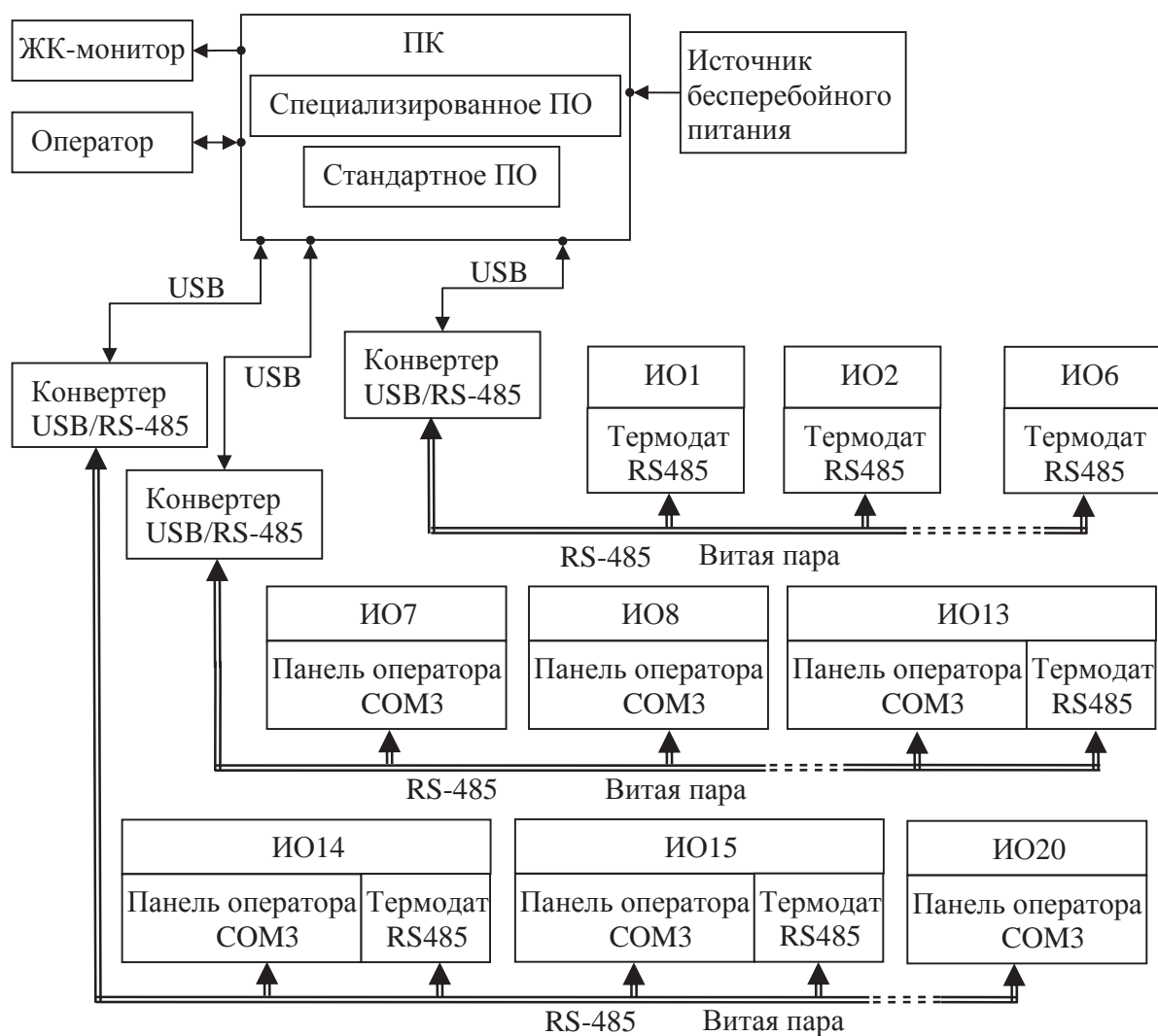


Рис. 1. Функциональная схема АС КПИ

$$P_{\text{изд}} < P_{\text{пл}} < P_{\text{сонж}},$$

где $P_{\text{изд}}$ – тепловая мощность, выделяемая изделием; $P_{\text{пл}}$ – теплоотводящая мощность плиты; $P_{\text{сонж}}$ – производительность системы охлаждения и нагрева жидкости.

Тепловые расчеты указанного процесса не приводятся, поскольку выходят за рамки данной статьи.

Изготовление термостабилизированных плит – сложный технологический процесс, заключающийся в заливке алюминия в специальные формы с установленными внутри трубками сложной геометрической конфигурации.

«Термоконструкция», состоящая из блоков изделия и плит, масса которой достигает 500 кг, посредством грузоподъемного механизма опускается в вертикальную вакуумную камеру большого объема, и изделие циклически испытывается в течение длительного периода времени.

Испытания проводятся по заданному в соответствии с требованиями испытательному профилю, имеющему граничные значения:

- по температуре: от -70 до $+150$ °С;
- по относительной влажности: от 10 до 98 % при температуре от 10 до 95 °С со скоростью изменения не менее 1 °С/мин;
- по давлению: от 760 до $1 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. при температуре от -60 до $+120$ °С, с точностью поддержания температуры 1–2 °С.

Для реализации заданных тепловых режимов испытаний в ИО вместе с системами управления используются каскадные холодильные машины, электрические нагреватели, системы осушения и увлажнения, позволяющие с высокой точностью (по температуре $\pm(0,1-0,3)$ °С и влажности 1–3 %) поддерживать заданные параметры.

Как правило, на предприятии одновременно проходят испытания изделий различных типов, что требует значительного количества испытатель-

ного, технологического оборудования, программно-технических средств и высококвалифицированного персонала.

В целях оптимизации процесса испытаний, с учетом вышеизложенного, была спроектирована автоматизированная система, включающая до 20 единиц ИО (потенциально до нескольких десятков), структурированную кабельную сеть, конвертеры интерфейса и разработанное специализированное ПО.

АС КПИ в реальном масштабе времени контролирует процесс климатических и термовакуумных испытаний во всех единицах ИО, включенных в сеть, с отслеживанием текущих параметров каждой единицы ИО в графическом и табличном виде и возможностью изменения оператором профиля, останова и продолжения испытаний, а также с автоматическим архивированием результатов на жесткий диск ПК.

При разработке АС КПИ с целью оценки производительности и масштабируемости данной системы проведено ее макетирование, а также рассмотрены различные подходы к созданию автоматизированных систем управления технологическими процессами [5–9]. Для управления такими сложными процессами средства сбора и передачи технологической информации должны иметь высокую производительность, при этом обладать надежностью и безопасностью.

Авторами рассмотрены различные спецификации обмена данными с технологическим оборудованием и пакеты программного обеспечения, реализующие эти спецификации [10]. Несмотря на насыщенность рынка программным обеспечением для обмена данными с промышленным оборудованием [11], нет программного продукта, согласованного с системами управления применяемого ИО.

Для внедрения существующих на рынке систем диспетчерского управления и сбора данных [12, 13] необходима как минимум поддержка на

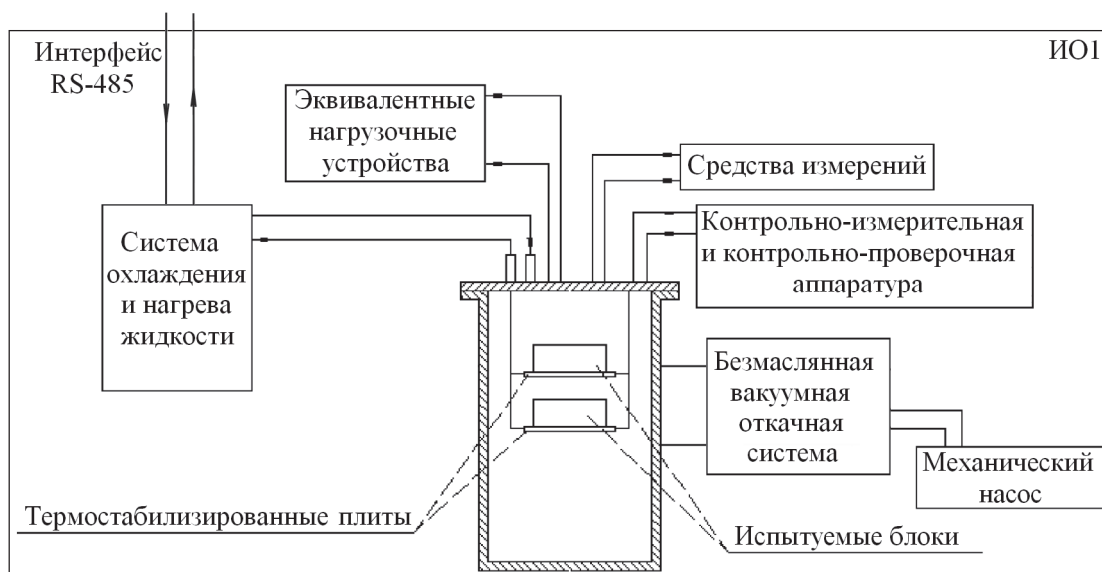


Рис. 2. Функциональная схема типовой единицы ИО

уровне драйверов со стороны производителя систем управления ИО.

С учетом уникальности систем управления эксплуатируемых единиц ИО, их различного исполнения и, как следствие, отсутствия драйверов для передачи данных в общеизвестные автоматизированные системы, а также особенностей процесса термовакуумных и климатических испытаний, авторами было решено разработать автоматизированную систему на базе стандартных промышленных интерфейсов, при этом принимая во внимание опыт разработки подобных систем другими компаниями [14–16].

Для создания АС КПИ климатическое и термовакуумное оборудование объединено в единую сеть интерфейсом RS-485 (стандарт TIA/EIA-485) с подключением по нескольким линиям к ПК посредством конвертеров интерфейса USB-RS485 (тип IFD6500 фирмы DELTA Electronics) [17]. Таким образом, сеть организована в соответствии с двумя базовыми сетевыми топологиями – «звезда» и «шина».

Интерфейс RS-485 использует балансную (дифференциальную) схему передачи сигнала [18]. Максимальная скорость передачи данных 115 200 бит/с по линии длиной до 1000 м.

Конвертер интерфейса USB-RS-485 [19] предназначен для обеспечения связи ПК, имеющего интерфейс USB, с удаленными объектами по интерфейсу RS-485. Устройство преобразует сигналы USB-порта компьютера в сигналы интерфейса RS-485 и направляет их к удаленному объекту по каналу связи (витой паре).

Подключение ИО, распределенного на значительной площади, по нескольким линиям к ПК позволило минимизировать длину кабельной сети и обеспечить передачу данных без искажений.

Обмен данными в сети между ПК и ИО выполняется по протоколу MODBUS-ASCII [20, 21].

На базе программируемых логических контроллеров (базовый блок типа DVP-14SS с модулями расширения типа DVP-14SP), контроллеров температуры (базовый блок типа DTC-1000 с модулями расширения типа DTC-2000), человеко-машинных интерфейсов (панелей оператора) типа DOP-B и источников питания (24 В, 60 Вт) типа DRP024V060W1AZ фирмы DELTA Electronics, регуляторов температуры типа Термодат-16ЕЗ фирмы «Системы контроля», входных устройств, многоканальных микропроцессорных регистраторов типа PMT 39DM/3 фирмы «Элемер» и исполнительных устройств (реле), являющихся частями системы управления единицы ИО (рис. 3), и ПК разработано специализированное ПО автоматизированной системы (рис. 4).

Для отладки и тестирования автоматизированной системы разработано ПО, эмулирующее всю сеть с задаваемым количеством единиц ИО [22].

Подключение каждой единицы ИО выполнялось в следующем порядке:

- настройка параметров и модификация ПО, встроенного в систему управления ИО, с целью реализации функций удаленного управления им и передачи параметров в ПК (значения климатических и термовакуумных параметров, информация о состоянии ИО (включено или выключено), информация об авариях и т. д.);
- внесение ИО в таблицу опроса, заключающееся в задании в специализированном ПО идентификаторов измерительных каналов, типа каналов (контрольный или измерительный), типа измеряемых параметров (температура, влажность или давление), цвета линий на графике испытательного профиля;

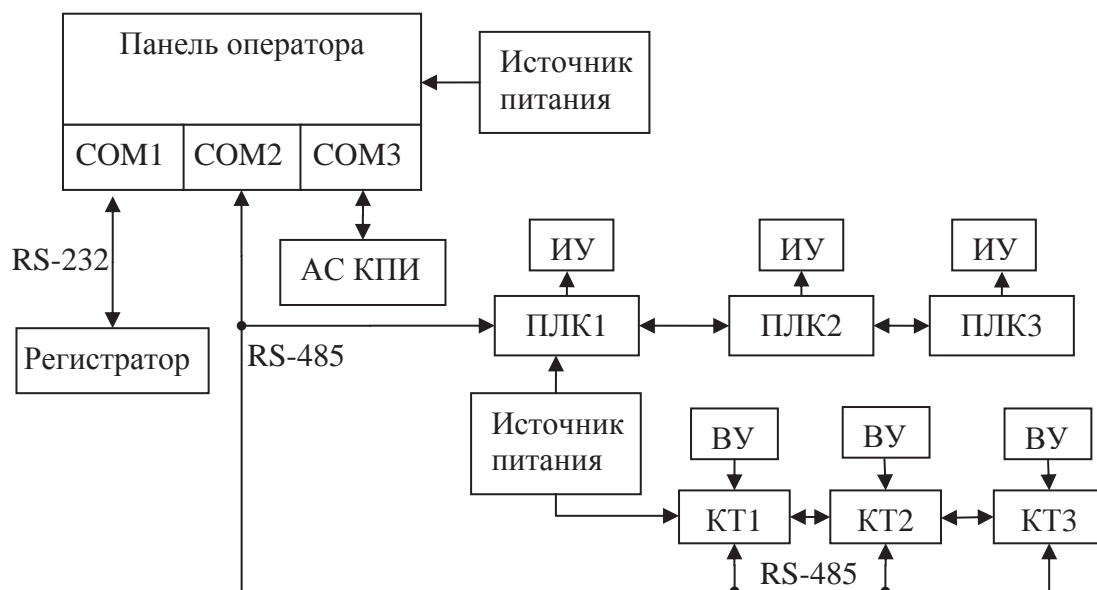


Рис. 3. Функциональная схема системы управления климатическим и термовакуумным ИО на основе микропроцессорной техники фирмы DELTA Electronics: ИУ – исполнительное устройство; ПЛК – программируемый логический контроллер; ВУ – входное устройство; КТ – контроллер температуры

- нанесение изображения ИО на план помещения.
- ПО АС КПИ разработано в среде программирования с открытым кодом Lazarus, работает в операционных системах Microsoft Windows 2000/XP/Vista/7, имеет удобный интерфейс взаимодействия с пользователем, модульную структуру, открытую для реализации дополнительных функций, поддерживает взаимодействие с различным климатическим и термовакuumным ИО, имеющим интерфейс RS-485.
- Для хранения данных широко применяется технология XML [23]. ПО автоматизированной си-

стемы непрерывно с задаваемой периодичностью опрашивает всю сеть ИО и сохраняет данные на жесткий диск ПК. Работа пользовательского интерфейса и модулей ПО, отвечающих за такие ресурсоемкие задачи, как сбор данных и расчет профиля, выполняется параллельно, что позволяет задействовать преимущества многопроцессорных (многоядерных) ПК [24].

ПО АС КПИ в реальном масштабе времени опрашивает всю сеть ИО, при этом во вложенном окне (рис. 5) на графике отображается процесс изменения во времени значений одного из выбирае-

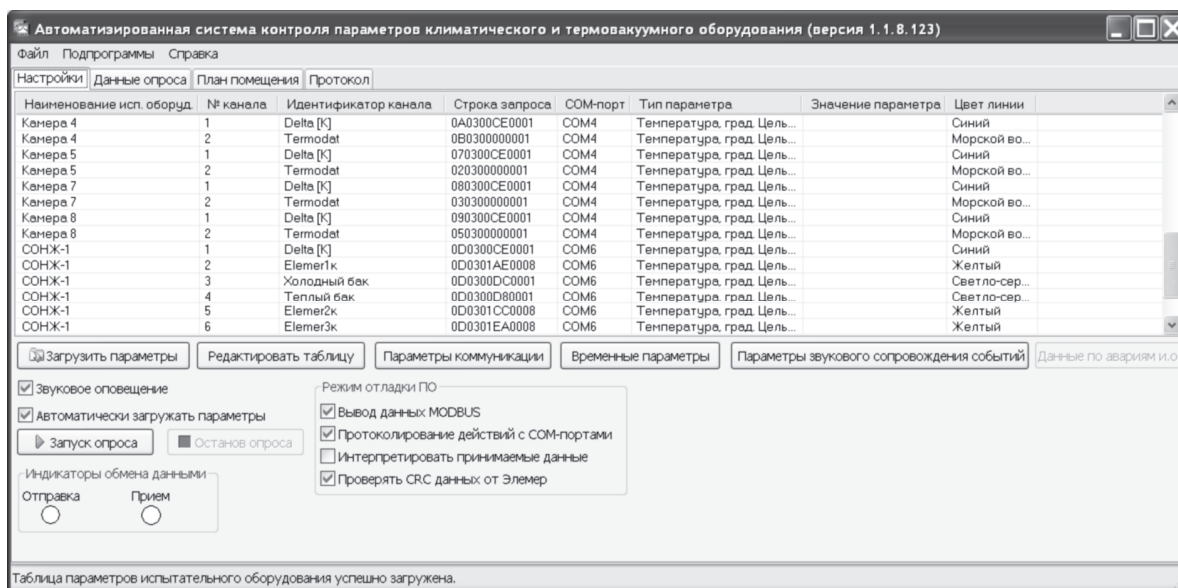


Рис. 4. Основное окно программного обеспечения автоматизированной системы с заполненной таблицей параметров подключенного испытательного оборудования

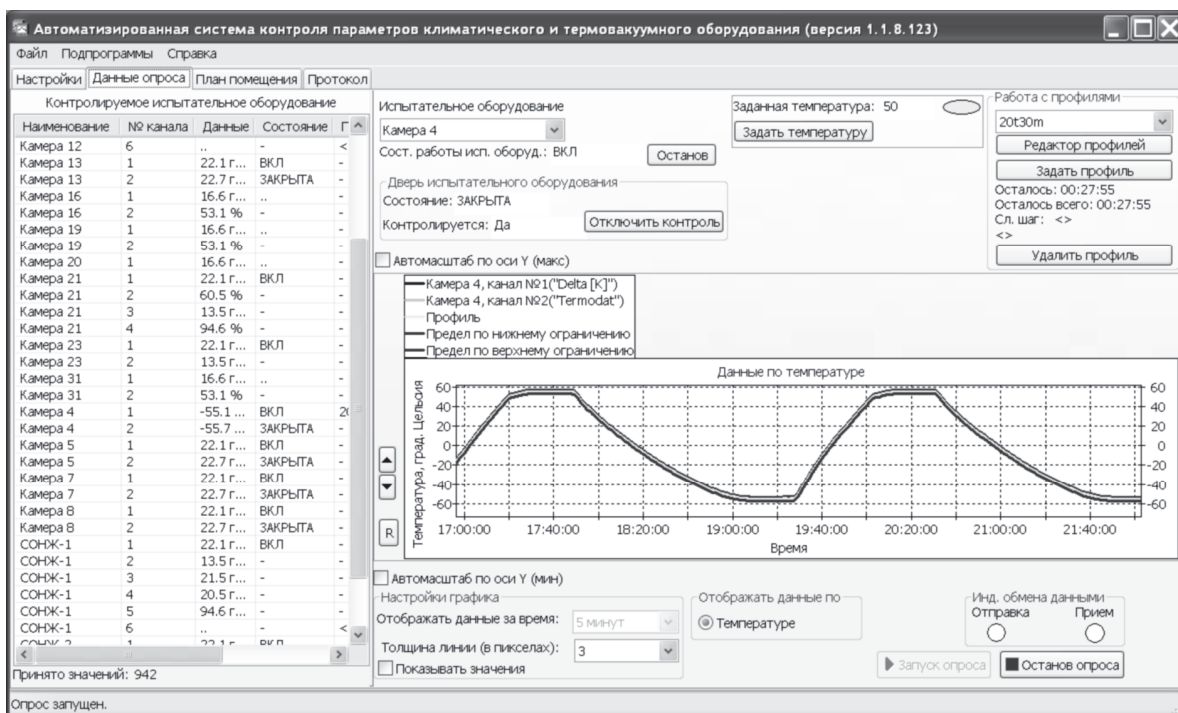


Рис. 5. Окно с данными контроля параметров функционирующей сети испытательного оборудования

мых оператором параметров ИО (температура, влажность, давление), а также линии профиля и заданных ограничений.

При выборе оператором наименования ИО из списка в этом окне дополнительно отображается информация о его работе:

- значения заданных параметров ИО (температура, влажность, давление) и индикация их достижения;
- состояние ИО (включено или отключено);
- состояние исполнительных переключателей ИО, а также информация об их контроле («да» или «нет»).

В случае возникновения аварии в ИО, открытия двери ИО при работе, а также отклонении контролируемых параметров от допустимых значений ПО АС КПИ осуществляет соответствующее аудиовизуальное оповещение.

Также необходимо отметить встроенные функции безопасности при работе с ПО АС КПИ: протоколируются все действия оператора, а при включении/выключении, изменении значений параметров ИО у оператора запрашивается код подтверждения.

Большое внимание уделено надежности функционирования АС КПИ [25], в частности дополнительно проверяется информация при обмене данными с ИО, применяется кодирование данных с вычислением их контрольных сумм.

Непрерывная работа АС КПИ в круглосуточном режиме в течение длительного времени подтверждает высокий уровень безотказности АС КПИ и ее устойчивость к некорректным действиям обслуживающего персонала, различным состояниям ИО, в том числе к аварийным ситуациям и т. д.

Посредством реализованной подпрограммы обработки измеренных данных по испытаниям различных изделий можно просмотреть значения климатических и термовакуумных параметров за долгий период времени (месяц) и сформировать отчет в формате приложений Microsoft Office.

Разработанная АС КПИ позволяет:

- выполнять непрерывный сбор данных от многоканальных систем управления с графической визуализацией в реальном масштабе времени;
- работать с различными входными устройствами: датчиками температуры, влажности, давления, газового состояния среды и др.;
- задавать испытательный профиль в табличном и графическом режиме с помощью редактора режимов;
- осуществлять непрерывный контроль значений климатических и термовакуумных параметров на соответствие заданному испытательному профилю, что оказывает непосредственное влияние на метрологические характеристики текущих испытаний;

- осуществлять аудиовизуальное оповещение о выходе контролируемых параметров за допустимые пределы, отображаемые графически красными линиями;
- управлять ИО с рабочего места оператора (задавать значения температуры, влажности и давления, производить удаленный запуск/останов оборудования);
- отображать на плане помещения значения контролируемых параметров и информацию о состоянии работы (включено, отключено, авария) для каждой единицы ИО;
- отслеживать действия оператора в автоматизированной системе и сохранять информацию о них на жестком диске с формированием протокола.

В настоящее время АС КПИ проходит наработку и метрологическую аттестацию, необходимые для внедрения в производственный процесс в ОАО «НПЦ "Полус"».

Выводы

В ОАО «НПЦ "Полус"» исследована задача автоматизации процесса термовакуумных и климатических испытаний изделий космической техники.

По результатам проведенных исследований предложены решения, базирующиеся на применении микропроцессорных систем управления, встроенных в испытательное оборудование, и промышленных стандартах обмена информации.

Практика предварительной эксплуатации созданной на предприятии автоматизированной системы контроля процесса испытаний показывает, что обеспечивается высокопроизводительный и надежный обмен данными технологических параметров и управляющими командами в реальном масштабе времени, а также данными о текущем состоянии климатического и термовакуумного оборудования.

Эффективность применения автоматизированной системы контроля параметров испытаний в целом можно оценить по следующим показателям:

- значительно возрастает эффективность и надежность применяемого испытательного оборудования;
- уменьшается (минимизируется) вероятность ошибок и несанкционированного воздействия на изделие в процессе испытаний;
- улучшаются метрологические характеристики проводимых испытаний, и обеспечивается возможность их постоянного контроля;
- сокращается количество занятого инженерно-технического персонала.

Внедрение в НПЦ «Полус» АС КПИ позволит значительно повысить качество климатических и термовакуумных испытаний изделий космической техники при уменьшении затрат на их проведение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка стенда для исследования стойкости материалов к воздействию факторов космического пространства / С.В. Янович, Ю.Н. Литвак, П.А. Михалев, В.М. Башков // Инженерный вестник. – 2012. – № 11. URL: http://engbul.bmstu.ru/file/511839.html?_s=1 (дата обращения: 20.01.2014).
2. Комплексные системы для отработки и испытания космических аппаратов / С.В. Кравченко, С.Б. Нестеров, В.А. Романко, Н.А. Тестоедов, В.И. Халиманович, В.В. Христинич // Вакуумная техника и технология. – 2012. – № 4. – С. 213–230.
3. Термовакuumные испытания системы электроснабжения наноспутника НТУУ «КПИ» / Б.М. Рассамкин, С.М. Хайрашов, В.И. Хоминич, А.В. Буденный, Е.Ю. Коваленко, Е.Н. Елисеева // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2011. – № 5. – С. 6–10.
4. Термовакuumные испытания полых композитных стержней для космических конструкций / С.В. Резник, О.В. Денисов, П.В. Просунцов, В.П. Тимошенко, А.В. Шуляковский // Все материалы: Энциклопедический справочник. – 2012. – № 7. – С. 8–12.
5. Бобырь М., Титов В., Емельянов С. Теоретические основы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами на основе нечеткой логики. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 232 с.
6. Иванов А. Проектирование автоматизированных систем манипулирования объектами обработки и сборки. – М.: Форум, 2012. – 352 с.
7. Кошцов Е.С. Основные задачи этапа обследования в рамках проектов автоматизации // Прикладная информатика. – 2010. – № 6. – С. 10–17.
8. Никонов А.В. Внедрение средств автоматизации в процессы контроля и управления на производстве // Технические науки – от теории к практике. – 2012. – № 7-1. – С. 127–131.
9. Реализация человеко-машинного интерфейса в интегрированной технологии проектирования автоматизированных систем контроля и управления / Г.А. Егоров, А.Д. Белоногов, М.А. Островский, Я.А. Рейзман // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 7. – С. 56–62.
10. Козлецов А.П., Решетников И.С. Современные способы организации обмена данными с системами управления // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2010. – № 2. – С. 17–23.
11. Вейбер В.В., Кудинов А.В., Марков Н.Г. Задача сбора и передачи технологической информации распределенного промышленного предприятия // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 5. – С. 69–74.
12. Реймген Ю.Э. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. SCADA система // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2012. – № 12. – С. 114–132.
13. SCADA // Википедия. Свободная энциклопедия. 2013. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/SCADA> (дата обращения: 20.01.2014).
14. Черпаков Б.А., Стрижевский М.Н. Многоканальная автоматизированная система для измерения температуры при проведении теплопрочностных испытаний // Вестник Московского авиационного института. – 2010. – Т. 17. – № 4. – С. 27–31.
15. Синтез интервальной системы управления с адаптивным ПИД-регулятором / В.Ф. Лубенцов, Е.В. Лубенцова, Г.В. Масюткина, Т.А. Рудакова // Автоматизация в промышленности. – 2013. – № 9. – С. 62–64.
16. Баскур О., Тюняткин А.В., Хертлер К. Диагностика и мониторинг оборудования по состоянию. Мониторинг состояния оборудования в реальном времени // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 9. – С. 26–29.
17. Руководство по построению систем управления на базе продукции Delta Electronics (серии Modbus, CANOpen, Ethernet) // ООО «НПО "Стоик Лтд"». 2013. URL: http://www.stoikltd.ru/images/manual/Training_kit_OP_Manual.pdf (дата обращения: 20.01.2014).
18. Термодат-16Е5. Руководство пользователя // НПП «Системы контроля». 2013. URL: <http://termodat.ru/pics/16E5.pdf> (дата обращения: 20.01.2014).
19. IFD-6500. Инструкция по применению // ООО «НПО "Стоик Лтд"». 2011. URL: http://www.stoikltd.ru/images/manual/com-module/IFD6500_manual_rus.pdf (дата обращения: 20.01.2014).
20. Инструкция по сопряжению контроллеров Delta DVP со SCADA-системами // ООО «НПО "Стоик Лтд"». 2013. URL: http://www.stoikltd.ru/images/manual/DVP_and_SCADA.pdf (дата обращения: 20.01.2014).
21. Коммуникационный модуль RTU-485 для удаленного сбора данных от модулей расширения контроллеров Delta DVP серии S по протоколу Modbus // ООО «НПО "Стоик Лтд"». 2013. URL: http://www.stoikltd.ru/images/manual/modules/RTU_485_manual_rus.pdf (дата обращения: 20.01.2014).
22. Использование режима Virtual Com (виртуальный COM-порт) в коммуникационном модуле IFD9506 // ООО «НПО "Стоик Лтд"». 2013. URL: http://www.stoikltd.ru/images/manual/commodule/IFD9506_Virtual_com_rus.pdf (дата обращения: 20.01.2014).
23. Гринев М., Щеклеин И. Ориентированные на приложения методы хранения XML-данных // Труды ИСП РАН. – 2009. – Т. 16. – С. 143–154.
24. Немногин С.А., Стесик О.Л. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 400 с.
25. Шишмарев В. Диагностика и надежность автоматизированных систем. – М.: Академия, 2013. – 352 с.

Поступила 10.02.2014 г.

UDC 004.5;620.162.4;620.193.21;681.513.2

AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR CLIMATIC AND THERMOVACUUM EQUIPMENT PARAMETERS TO TEST SPACE INDUSTRY PRODUCTS

Vladimir Ya. Androsov,

«Scientific and Production Center "Polus"», 56 «v», Kirov avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: polus@online.tomsk.net.

Andrey V. Plotnikov,

«Scientific and Production Center "Polus"», 56 «v», Kirov avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: polus@online.tomsk.net.

Semen A. Vagaytsev,

«Scientific and Production Center "Polus"», 56 «v», Kirov avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: polus@online.tomsk.net

Evgeny A. Budnikov,

Limited Liability Company «PROMHOL», 20, Lyalin pereulok,
Moscow, 105062, Russia. E-mail: promhol@mail.ru

The work is caused by necessity to automate thermovacuum and climatic tests of space industry products at space branch enterprise.

The aim of the work is the development of specialized system for monitoring modes and parameters of thermovacuum and climatic tests processes; substantiation of the chosen technologies of collecting, processing of primary data on pre-defined and current profile test as well as the data on technical condition of the applied test equipment and measuring instruments with various modifications.

Methods and technologies: analysis of technological processes of product tests, design and layout of the automated control and monitoring systems, test running in a program mode, analysis of pre-defined test profile, parallel programming, object-oriented programming, object linking and embedding (OLE), storage and processing of XML-data, human-machine interaction, client-server interaction.

Results: The authors have developed the automated control system for test parameters and its basic software and engineering solutions and components; have assessed the effectiveness of their application by the first results of operation.

Conclusions: The use of the automated system consisting of up to several tens of test equipment units, networked and controlled by a single center by thermovacuum and climatic test processes, provides economic effectiveness, high technical-organizational and metrology level for on-ground test of space industry products.

Key words:

Climatic and thermovacuum tests, external influencing factors, liquid heating and cooling system, indirect liquid heating and cooling, cascade refrigeration system, supervisory control and data acquisition, human-machine interface, controller-regulator, programmable logic controller, automation of test operation, automated system of test parameters control.

REFERENCES

1. Yanovich S.V., Litvak Yu.N., Mikhalev P.A., Bashkov V.M. Razrabotka stenda dlya issledovaniya stoykosti materialov k vozdeystviyu faktorov kosmicheskogo prostranstva [Developing stand for researching material resistance to the effects of space factors]. *Inzhenerny vestnik – Engineering bulletin*, 2012, no. 11. Available at: http://engbul.bmstu.ru/file/511839.html?__s=1 (accessed 20 January 2014).
2. Kravchenko S.V., Nesterov S.B., Romanko V.A., Testoedov N.A., Khalimanovich V.I., Khristich V.V. Kompleksnye sistemy dlya otrabotki i ispytaniya kosmicheskikh apparatov [Complex systems for processing and testing space vehicles]. *Vakuumnaya tekhnika i tekhnologiya – Vacuum equipment and technology*, 2012, no. 4, pp. 213–230.
3. Rassamakin B.M., Khayrnasov S.M., Khominich V.I., Budenny A.V., Kovalenko E.Yu., Eliseeva E.N. Termovakuumnye ispytaniya sistemy elektrosnabzheniya nanosputnika NTUU «KPI» [Thermovacuum testing of power supply system of nanosatellite NTUU «KPI»]. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature – Technology and design in electronic equipment*, 2011, no. 5, pp. 6–10.
4. Reznik S.V., Denisov O.V., Prosuntsov P.V., Timoshenko V.P., Shulyakovskiy A.V. Termovakuumnye ispytaniya polykh kompozitnykh sterzhney dlya kosmicheskikh konstruksiy [Thermovacuum tests of hollow composite rods for space structures]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik – All the materials. Encyclopedic Reference*, 2012, no. 7, pp. 8–12.
5. Bobyr M., Titov V., Emelyanov S. *Teoreticheskie osnovy postroeniya avtomatizirovannykh sistem upravleniya tekhnologicheskimi protsessami na osnove nechetkoy logiki* [Theoretical foundations of constructing automated control systems based on fuzzy logic]. Staryy Oskol, TNT Publ., 2011. 232 p.
6. Ivanov A. *Proektirovaniye avtomatizirovannykh sistem manipulirovaniya obektami obrabotki i sborki* [Design of automated systems of handling processing and assembly objects]. Moscow, Forum Publ., 2012. 352 p.
7. Koptsyukh E.S. Osnovnye zadachi etapa obsledovaniya v ramkakh proektov avtomatizatsii [Main objectives of pre-implementation screening phase]. *Prikladnaya informatika – Applied informatics*, 2010, no. 6, pp. 10–17.
8. Nikonov A.V. Vnedreniye sredstv avtomatizatsii v protsessy kontrolya i upravleniya na proizvodstve [Application of automation in monitoring and controlling in industries]. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike – Technical sciences – from theory to practice*, 2012, no. 7–1, pp. 127–131.
9. Egorov G.A., Belonogov A.D., Ostrovskiy M.A., Reyzman Ya.A. Realizatsiya cheloveko-mashinnogo interfeysa v integrirovannoy tekhnologii proektirovaniya avtomatizirovannykh sistem kontro-

- lya i upravleniya [Implementation of human-machine interface in integrated design technology of automated monitoring and control systems]. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie – Mechatronics, automation, control*, 2011, no. 7, pp. 56–62.
10. Kozletsov A.P., Reshetnikov I.S. Sovremennye sposoby organizatsii obmena dannymi s sistemami upravleniya [Modern methods of data exchange with the control systems]. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve – Information technologies in designing and manufacturing*, 2010, no. 2, pp. 17–23.
 11. Veyber V.V., Kudinov A.V., Markov N.G. Zadacha sbora i peredachi tekhnologicheskoy informatsii raspredelenogo promyshlennogo predpriyatiya [The task of collecting and transferring technological information of the distributed industrial enterprise]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 319, no. 5, pp. 69–74.
 12. Reyngen Yu.E. Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya tekhnologicheskimi protsessami. SCADA sistema [Automated control systems of technological processes. SCADA system]. *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta – Scientific bulletin of the Moscow State Mountain University*, 2012, no. 12, pp. 114–132.
 13. SCADA. *Wikipedia. The free encyclopedia*. 2013. Available at: <http://ru.wikipedia.org/wiki/SCADA> (accessed 20 January 2014).
 14. Cherpakov B.A., Strizhevskiy M.N. Mnogokanalnaya avtomatizirovannaya sistema dlya izmereniya temperatury pri provedenii teploprochnostnykh ispytaniy [Multichannel automated system for measuring temperature when testing heat resistance]. *Vestnik Moskovskogo Aviatsionnogo Instituta – Bulletin of the Moscow Aviation University*, 2010, vol. 17, no. 4, pp. 27–31.
 15. Lubentsov V.F., Lubentsova E.V., Masyutina G.V., Rudakova T.A. Sintez intervalnoy sistemy upravleniya s adaptivnym PID-regulyatorom [Synthesis of interval control system with adaptive PID controller]. *Industrial Automation*, 2013, no. 9, pp. 62–64.
 16. Baskur O., Tyunyatkin A.V., Khertler K. Diagnostika i monitoring oborudovaniya po sostoyaniyu. Monitoring sostoyaniya oborudovaniya v realnom vremeni [Diagnosis and equipment monitoring on a condition. Monitoring of equipment condition in real time]. *Industrial Automation*, 2012, no. 9, pp. 26–29.
 17. Rukovodstvo po postroeniyu sistem upravleniya na baze produkt-sii Delta Electronics (seti Modbus, CANOpen, Ethernet) [Guide to building management systems based on products of Delta Electronics (network Modbus, CANOpen, Ethernet)]. *NPO "Stoik Ltd"*, 2013. Available at: http://www.stoikltd.ru/images/manual/Training_kit_OP_Manual.pdf (accessed 20 January 2014).
 18. Termodat-16E5. Rukovodstvo polzovatelya [User manual]. *NPP «Sistemy kontrolya»*, 2013. Available at: <http://termodat.ru/pics/16E5.pdf> (accessed 20 January 2014).
 19. IFD-6500. Instruktsiya po primeneniyu [Application instruction]. *NPO "Stoik Ltd"*, 2011. Available at: http://www.stoikltd.ru/images/manual/commodule/IFD6500_manual_rus.pdf (accessed 20 January 2014).
 20. Instruktsiya po sopryazheniyu kontrollerov Delta DVP so SCADA sistemami [The instruction on mating control units Delta DVP with SCADA-systems]. *NPO "Stoik Ltd"*, 2013. Available at: http://www.stoikltd.ru/images/manual/DVP_and_SCADA.pdf (accessed 20 January 2014).
 21. Kommunikatsionny modul RTU-485 dlya udalennogo sbora dannykh ot moduley rasshireniya kontrollerov Delta DVP serii S po protokolu Modbus [Communication Module RTU-485 for remote data collection from expansion modules of controllers Delta DVP series S by Modbus protocol]. *NPO "Stoik Ltd"*, 2013. Available at: http://www.stoikltd.ru/images/manual/modules/RTU_485_manual_rus.pdf (accessed 20 January 2014).
 22. Ispolzovanie rezhima Virtual Com (virtualny COM-port) v kommunikatsionnom module IFD9506 [Using the Virtual Com mode (virtual COM-port) on the communication module IFD9506]. *NPO "Stoik Ltd"*, 2013. Available at: http://www.stoikltd.ru/images/manual/commodule/IFD9506_Virtual_com_rus.pdf (accessed 20 January 2014).
 23. Grinev M., Shcheklein I. Orientirovannyye na prilozheniya metody khraneniya XML-dannykh [The methods of storage the XML-data oriented on applications]. *Trudy ISP RAN – Proc. ISP RAN*, 2009, vol. 16, pp. 143–154.
 24. Nemnyugin S.A., Stesik O.L. *Parallelnoe programirovanie dlya mnogoprotseessornykh vychislitelnykh sistem* [Parallel programming for multiprocessor computing systems]. Saint Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2002. 400 p.
 25. Shishmarev V. *Diagnostika i nadezhnost avtomatizirovannykh sistem* [Diagnosis and reliability of automated systems]. Moscow, Academy Publ., 2013. 352 p.