

Для цитирования: Коршунов Г. И., Приц В. А., Фролова Е. А., Чуписов А. Е. Обеспечение достоверности контроля блочно-модульной электроники на основе функционально полной автоматизированной системы // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 10. С. 11–16.
DOI 10.21778/2218-5453-2018-10-11-16
УДК. 658.5

Г. И. Коршунов¹, В. А. Приц², Е. А. Фролова¹, А. Е. Чуписов²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,

² ООО «ПАНТЕС групп»

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО ПОЛНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

Показано, что обеспечение качества блочно-модульных электронных систем достигается на основе достоверности контроля. В практике разработки и производства программируемых блочно-модульных контроллеров необходимо обеспечить контроль и диагностику в полном объеме на всех этапах жизненного цикла. Приведены новые результаты по созданию необходимых средств для автоматизированных систем контроля серийно-способных контроллеров. Такие системы могут использоваться при предварительных и приемочных испытаниях, а также в процессе настройки и регулировки на производстве. Для функционально полных наборов модулей (электронных панелей) разработаны алгоритмические, программные и аппаратные средства автоматизированной системы контроля. Разработка выполнена для контроллеров управления электроприводом, но может использоваться и в других областях. Приведены особенности структурных и схемных решений, а также компоновка автоматизированной системы контроля.

Ключевые слова: контроль, автоматизация, достоверность, блочно-модульная электроника

Введение

Построение программируемых контроллеров в блочно-модульном исполнении позволяет достичь необходимой функциональной достаточности, получить высокие эксплуатационные характеристики и надежность. Создание серийно-способных программируемых контроллеров с заданными показателями качества должно обеспечиваться на всех этапах жизненного цикла изделия. Важными этапами являются контроль и диагностирование при предварительных и приемочных испытаниях, а также в процессе настройки и регулировки на производстве. Предъявляемые при этом формальные требования к достоверности контроля могут отличаться на разных этапах. Используемое понятие достоверности может быть интерпретировано в зависимости от требований к качеству как полнота контроля, глубина контроля (диагностирования), «риск изготовителя» и «риск заказчика» [1]. Если заказчика при сдаче продукции обычно интересует контроль изделия в целом, то разработчика и производителя, кроме контроля функционирования, интересуют также результаты диагностирования для отладки проектных

решений и технологий изготовления с целью снижения брака.

Немаловажную роль играет экономическая целесообразность создания аппаратных, программных средств контроля и уровня их автоматизации. Однако при универсальности и функциональной полноте набора модулей (электронных панелей) и достаточно широком спектре их применения создание функционально полной автоматизированной системы контроля (АСК) может быть обосновано при необходимом объеме выпуска изделий и правильном построении аппаратно-программных средств.

Рассматриваемый в статье набор модулей (электронных панелей) предназначен для построения блочно-модульных программируемых контроллеров. Контроллеры являются основным элементом автоматизации для широкого спектра задач управления, регулирования и контроля, поэтому создание АСК для контроля как отдельных модулей, так и контроллеров в целом, актуально на заданных этапах жизненного цикла.

Архитектура контроллеров соответствует принципам построения блочно-модульной электроники (БМЭ), изложенным в [2]. Приведем примеры

назначения и состава модулей (электронных панелей), применяемых в контроллерах.

В состав контроллера управления электроприводом экскаватора входят следующие функциональные элементы:

- панель цифрового датчика температуры;
- панель контроллера кресла-пульта;
- панель источников питания;
- панель усилителя низкой частоты;
- панель контроллера потенциометрического командоаппарата;
- панель контроллера системы защиты;
- панель контроллера информационно-диагностической системы;
- панель имитатора датчика длины каната;
- панель контроллера ввода-вывода.

В состав системы управления электроприводом самосвала входят следующие функциональные элементы:

- панель аналогового ввода контроллера универсального;
- панель ввода-вывода контроллера универсального;
- панель контроллера универсального;
- панель источников питания;
- панель ввода-вывода контроллера температуры;
- панель ввода-вывода контроллера кабины;
- панели индикации;
- панель датчика короткого замыкания.

Требования к достоверности контроля БМЭ

Следуя [3], достоверность определяют как количественный показатель, отражающий степень близости полученного результата контроля к истинному значению. Составляющие достоверности зависят от многих факторов [1, 4]. Укрупненно основные причины отклонения результата контроля связаны с недостаточной полнотой охвата объекта и недостатками системы контроля. В процессе определения технического состояния объекта при контроле каждого параметра возможны следующие независимые события: годный параметр оценивается системой контроля как годный; годный параметр оценивается системой контроля как негодный; негодный параметр оценивается системой контроля как негодный; негодный параметр оценивается системой контроля как годный. Отсюда следует, что достоверность результатов контроля – вероятность принятия правильного решения представляется как

$$D = 1 - P_{\text{ош}} = 1 - (a + b),$$

где a – риск изготовителя (вероятность того, что работоспособный объект признан негодным); b – риск

заказчика (вероятность того, что неработоспособный объект признан годным).

Поэтому при заданном объекте контроля с параметрами контролепригодности и достижимой полноты контроля необходимо обеспечить надежность и производительность системы контроля [5, 6]. Это достигается ее автоматизацией на основе разработки алгоритма и программных средств, а также аппаратного обеспечения системы.

Алгоритм контроля функционально полной АСК БМЭ

При серийном производстве сложных электронных модулей возникает проблема их функционального контроля. Очевидно, что самым полным тестом любого электронного модуля является проверка его работоспособности в реальных условиях, т.е. оптимальный критерий работоспособности – работа модуля при подаче на него штатных воздействующих сигналов. При создании универсальных АСК целесообразно рассматривать любой электронный модуль как черный ящик с набором интерфейсов. Здесь под интерфейсами будем понимать не только устройства ввода-вывода, но и разъемы с аналоговыми и цифровыми сигналами. В такой постановке создание АСК для проверки любого электронного модуля сводится к созданию блока – формирователя входных воздействий, устройства, считывающего реакции модуля на входные воздействия, и решающего устройства, обеспечивающего принятие решения о работоспособности модуля (рис. 1).

Реализация блоков формирователя, считывателя реакций и решающего устройства целесообразна на базе ноутбука или персонального компьютера. Такая структура АСК представлена на рис. 2.

Из структуры видно, что в данном случае решающее устройство находится непосредственно в ПЭВМ, что позволяет при проверке дополнительно снимать и записывать данные о событиях и составлять отчет по тестированию в автоматическом режиме, что соответствует концепции проверки «нажатием одной кнопки».

Аппаратное обеспечение функционально полной АСК БМЭ

Особенности построения аппаратной части состоят в том, что требования к источникам входных воздействий специфичны. Например, «цифровой» вход или выход принимает только два значения, но их величина и рабочая частота зависят от конкретной схемы. Аналоговый вход или выход может принимать в общем случае произвольную форму, поэтому возможны варианты создания собственного генератора аналоговых сигналов, использования стандартных решений от специализированных

фирм-изготовителей или, учитывая многообразие существующих интерфейсов и требований, использования комбинированного подхода.

Другой немаловажный аспект построения аппаратной части состоит в необходимости корректного построения гальванической развязки между

ПЭВМ и проверяемым модулем. АСК не должна оказывать влияния на проверяемый модуль в виде подачи смещений и сигналов, которые отсутствуют при реальной работе устройства. Поэтому необходимо повышенное внимание к качеству разработки схемотехнических решений, так как даже

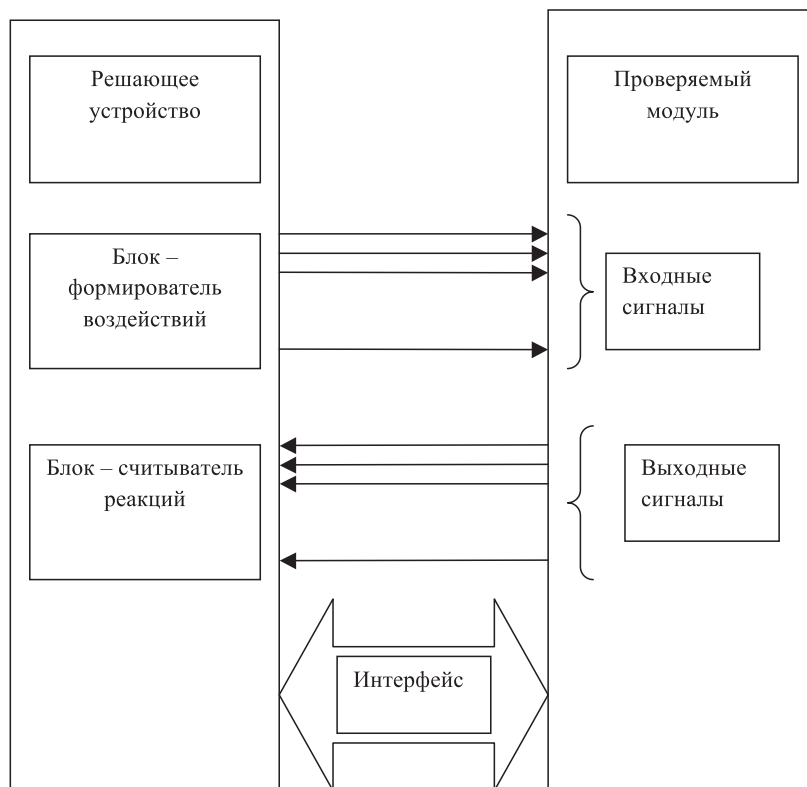


Рисунок 1. Структурная схема тестирования модулей электронных панелей

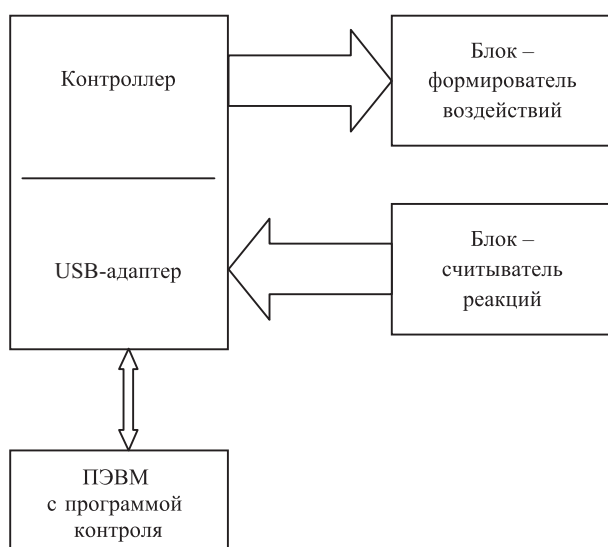


Рисунок 2. Структурная схема блоков формирователя, считывателя воздействий и решающего устройства для тестирования модулей электронных панелей

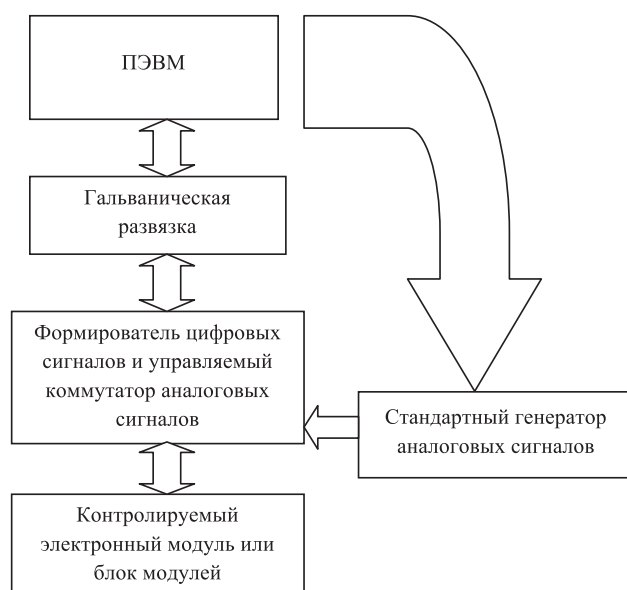


Рисунок 3. Структурная схема автоматизированной системы контроля для проверки электронных модулей

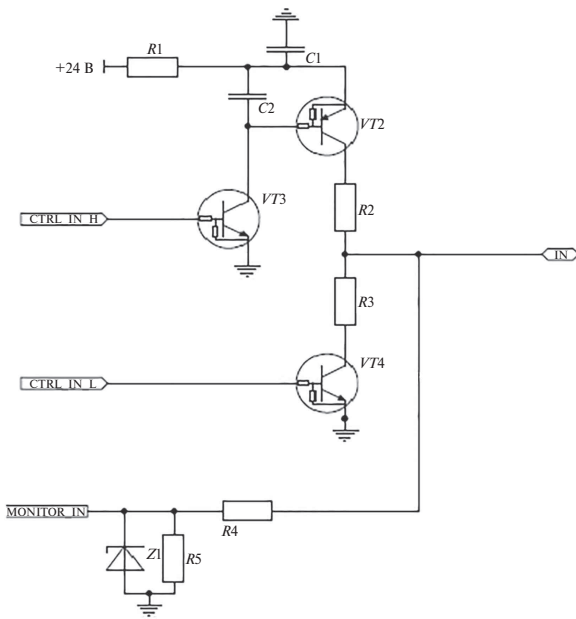


Рисунок 4. Схема для формирования входного воздействия на модуль

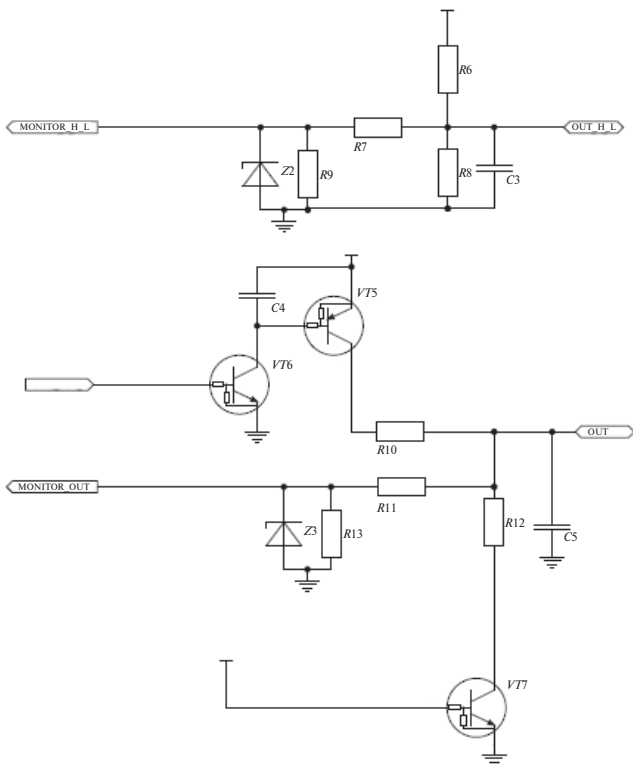


Рисунок 5. Схема проверки реакций системы цифрового типа

у специализированных фирм-изготовителей имеют место непредвиденные особенности реализации внешних связей. Структура АСК представлена на рис. 3.

Входные воздействия и реакции системы могут быть представлены в аналоговой или цифровой

форме. При проверке модулей возможны варианты неисправностей по входам, которые также необходимо отслеживать при тестировании на соответствие параметрам входного устройства. Для решения задач формирования входных воздействий предложена схема на рис. 4.

Работа схемы состоит в следующем. На формирователь приходит команда, которую контроллер интерпретирует как напряжение логических уровней *CTRL_IN_H* и *CTRL_IN_L*. При открывании транзистора *VT4* происходит подача напряжения низкого уровня, при открывании *VT2* происходит подача напряжения высокого уровня. Резисторы *R2* и *R3* – токоограничивающие, открытие обоих транзисторов одновременно запрещено. Напряжение, обозначенное на схеме как +24 В, является напряжением высокого уровня для конкретного проверяемого устройства и может формироваться как встроенным источником, так и внешним. Через резистор *R4* осуществляется мониторинг напряжения на входе (точка *IN*).

Подключение аналогового входного воздействия осуществляется через стандартный коммутатор, управляемый по заданному или выбранному алгоритму.

Анализ выходных реакций позволяет выделить следующие виды:

- появление на выводе сигнала высокого уровня;
- появление на выводе сигнала низкого уровня;
- «подтяжка» вывода к «земле»;
- «подтяжка» вывода к питанию блока;
- коммутация двух выводов между собой.

Для проверки приведенных вариантов реакций предложена схема, представленная на рис. 5, которая работает аналогично схеме на рис. 4. Транзистор *VT7* при открывании обеспечивает работу под нагрузкой, а наблюдение коммутации выводов осуществляется сравнением напряжения на контактах *MONITOR_OUT* и *MONITOR_OUT_H_L*. Соответственно напряжения на выводах *OUT* и *OUT_H_L* должны быть подключены к проверяемым выводам, которые коммутируются между собой. Контроль напряжений должен вестись постоянно, и каждая плата может иметь свой «профиль», который АСК записывает в соответствующий файл, задействованный при анализе неисправностей. В автоматическом режиме предусмотрено проведение статистических исследований.

Проверка же аналоговых реакций системы до сих пор остается одним из самых плохо поддающихся автоматизации действий, но может успешно решаться с использованием осциллографов с USB-интерфейсом, которые, будучи подключены к проверяемому оборудованию, могут выдать на ПЭВМ

данные о сигнале, а соответствующим образом написанная программа может сравнить его с образцами согласно заданному алгоритму.

Результаты

Изложенные подходы к разработке алгоритмического, программного и аппаратного обеспечения функционально полной АСК БМЭ были реализованы при создании конкретной аппаратуры в виде автоматизированной системы контроля блочно-модульной электроники.

Связь АСК с ПЭВМ осуществляется посредством интерфейса RS-485. Группой инженеров-разработчиков была создана АСК БМЭ с панелями адаптеров, подключенных к выходным разъемам проверяемого модуля/блока. Объект проверки управляется посредством интерфейса RS-485 и специального проверочного программного обеспечения (в виде проверочной рабочей программы или набора тестов), загружаемого непосредственно в проверяемый блок, т.е. система «проверяемый блок – проверочный стенд» является замкнутой. С помощью программного обеспечения с компьютера подается команда на проверяемый блок, который, согласно поступившей команде, формирует конфигурацию состояний на выходных разъемах. Данная конфигурация считывается панелями адаптеров стенда и отправляется на анализ в компьютер. Компьютер осуществляет сравнение полученной конфигурации

состояний с имеющейся эталонной конфигурацией. В случае совпадения конфигурации на выходных разъемах проверяемого блока и конфигурации, заложенной в таблице программного обеспечения, блок признается рабочим. В противном случае блок признается неработоспособным. Программное обеспечение позволяет отследить дефект с точностью до номера вывода выходного разъема. АСК может применяться как для контроля отдельных панелей, так и для контроллера в целом. Универсальность и функциональная полнота обуславливают возможность применения АСК для регулировочно-наладочных работ и в качестве испытательного стенда.

Выводы

Приведенные подходы по созданию АСК могут быть развиты для различных видов блочно-модульной электроники. Это обеспечивается разработкой адаптеров связи и тестового программного обеспечения. Особенности контролепригодности объекта и требуемая глубина диагностики определяют выбор методов и состав программных средств. Совершенствование элементной базы приводит к необходимости адаптации АСК для новых видов техники. Применение разработанных программно-аппаратных средств в режимах контроля или испытаний должно сопровождаться разработкой документации и аттестацией в соответствии с требованиями нормативных документов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Ю. П., Никитин В. Г., Чернов В. Ю. Контроль и диагностика измерительно-вычислительных комплексов. СПб.: ГУАП, 2004. 98 с.
2. PC/plus specification [Электронный ресурс]. URL: www.PC104.org (дата обращения 28.08.2018)
3. ГОСТ Р 8.731-2010. ГСИ. Системы допускового контроля. Основные положения. М.: Издательство стандартов, 2010.
4. Хмыль А., Ланин В., Волкштейн С. Методы контроля и диагностики скрытых дефектов в изделиях электроники // Компоненты и технологии. 2010. № 2 (103). С. 137–142.
5. Авакян А. А., Копненкова М. В., Максимов А. К. Мониторинг рабочего состояния отказоустойчивой платформы // Труды международного симпозиума надежность и качество. 2016. Т. 1. С. 88–94.
6. Чеканов А. Н. Расчеты и обеспечение надежности электронной аппаратуры. М.: КНОРУС, 2012. 440 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Коршунов Геннадий Иванович, д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП), Российская Федерация, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, тел.: 8 (812) 494-70-55, e-mail: kgi@pantes.ru.

Приц Владимир Альбертович, инженер-разработчик, ООО «ПАНТЕС груп», Российская Федерация, 195248, Санкт-Петербург, Ириновский пр-т, д. 2, тел.: 8 (812) 740-71-98, e-mail: prits@pantes.ru.

Фролова Елена Александровна, к.т.н., доцент кафедры инноватики и интегрированных систем качества, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП), Российская Федерация, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, тел.: 8 (812) 494-70-55, e-mail: frolovaelena@mail.ru.

Чуписов Антон Евгеньевич, начальник отдела, ООО «ПАНТЕС груп», Российская Федерация, 195248, Санкт-Петербург, Ириновский пр-т, д. 2, тел.: 8 (812) 740-71-98, e-mail: epsilon@pantes.ru.

G. I. Korshunov, V. A. Pritz, E. A. Frolova, A. E. Chupisov

ENSURING OF CONTROL VERACITY OF BLOCK-MODULAR ELECTRONICS BASED ON A FUNCTIONALLY COMPLETE AUTOMATED SYSTEM

It is shown that quality assurance of block-modular electronic systems is achieved on the basis of reliability of control. It is necessary to provide control and diagnostics in full at all stages of the life cycle in the practice of developing and manufacturing programmable block-modular controllers. New results on the creation of the necessary means for automated control systems of serial-capable controllers are presented. Such systems can be used in preliminary and acceptance tests, as well as during adjustment in the production process. The algorithmic, software and hardware of the automated control system have been developed for functionally complete sets of modules (electronic panels). The development is performed for controllers in the tasks of the electric drive and can be used in other applications. The features of structural and circuit solutions and the layout of an automated control system are given.

Keywords: control, automation, veracity, block-modular electronics

REFERENCES

1. Ivanov Yu. P., Nikitin V. G., Chernov V. Yu. *Kontrol i diagnostika izmeritelno-vychislitelnykh kompleksov* [Control and diagnostics of measuring and computing systems]. Saint-Petersburg, GUAP, 2004, 98 p. (In Russian).
2. [PC/plus specification] (In Russian). Available at: www.PC104.org (accessed 28.08.2018).
3. GOST R8.731-2010. *GSI. Sistemy dopuskovogo kontrolya. Osnovnye polozheniya* [State system for ensuring the uniformity of measurements. Tolerance control systems. Basic Provisions]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 2010 (In Russian).
4. Hmyl A., Lanin V., Volkshtejn S. Methods of control and diagnostics of hidden defects in electronics products. *Komponenty i tekhnologii*, 2010, no. 2 (103), pp. 137–142 (In Russian).
5. Avakyan A. A., Kopnenkova M. V., Maksimov A. K. Monitoring the operational state of the failover platform. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma nadezhnost i kachestvo*, 2016, vol. 1, pp. 88–94 (In Russian).
6. Chekanov A. N. *Raschety i obespechenie nadezhnosti ehlektronnoj apparatury* [Calculations and ensuring the reliability of electronic equipment]. Moscow, KNORUS Publ., 2012, 440 p. (In Russian).

AUTHORS

Korshunov Gennady, D. Sc., professor, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67A, Bolshaya Morskaya St., Saint-Petersburg, 190000, Russian Federation, tel.: +7 (812) 494-70-55, e-mail: kgi@pantes.ru.

Pritz Vladimir, engineer-developer, PANTES Group, 2, Irinovskiy prosp., Saint-Petersburg, 195248, Russian Federation, tel.: +7 (812) 740-71-98, e-mail: prits@pantes.ru.

Frolova Elena, Ph. D., associate professor, Department of Innovation and Integrated Quality Systems, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67A, Bolshaya Morskaya St., Saint-Petersburg, 190000, Russian Federation, tel.: +7 (812) 494-70-55, e-mail: frolovaelena@mail.ru.

Chupisov Anton, head of department, PANTES Group, 2, Irinovskiy prosp., Saint-Petersburg, 195248, Russian Federation, tel.: +7 (812) 740-71-98, e-mail: epsilon@pantes.ru.