

УДК 681.518+629.78

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ И АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ ИЗДЕЛИЯ ПРИ ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЯХ СТЕНДОВОГО БЛОКА ПЕРВОЙ СТУПЕНИ РН «СОЮЗ-2-1В»

© 2013 В. А. Лисейкин, И. А. Тожокин

ФКП «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности»,  
г. Пересвет, Московская область

В статье проанализирована работа системы управления и аварийной защиты (СУ-САЗ), разработанной ФКП «НИЦ РКП», при проведении огневых стендовых испытаний (ОСИ) новой Российской РН «Союз-2-1в». Определены основные мероприятия по совершенствованию СУ-САЗ для проведения испытаний перспективных ступеней РН.

*Системы управления и аварийной защиты, РН «Союз-2-1в», автоматизация стендов для испытаний изделий ракетной техники.*

В июне 2013 г. на испытательной станции ИС-102 Федерального казенного предприятия «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности» (ФКП «НИЦ РКП») завершились стендовые испытания блока первой ступени новой российской ракеты-носителя (РН) лёгкого класса «Союз-2-1в» (головной разработчик – ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»). Ступень оснащена маршевым НК-33АС и рулевым РД0110РС двигателями разработки соответственно ОАО «КУЗНЕЦОВ» и ОАО КБХА. Комплексные задачи аварийной защиты двигателей и управления изделием при проведении этих испытаний решала стендовая система управления и аварийной защиты СУ-САЗ, разработанная ФКП «НИЦ РКП» по техническому заданию «ЦСКБ-Прогресс» на базе системы, обеспечившей в 2005 – 2006 гг. отработку третьей ступени модернизированной РН «Союз-2-1б». СУ-САЗ представляет собой двухуровневую распределённую систему, интегрирующую измерительные и управляющие каналы [1,2]. Верхний уровень включает в себя автоматизированные рабочие места операторов и ведущих специалистов, а нижний – контроллеры и обрудование связи с объектом.

В отличие от испытанных ранее изделий стендовый блок первой ступени РН

«Союз-2-1в» существенно усложнился с точки зрения управления и аварийной защиты. Во-первых, из-за требований по управлению двумя совершенно разными по назначению и, следовательно, по характеристикам и условиям контроля двигателями. А во-вторых, из-за наличия в составе изделия не одного, а трёх периферийных приборов штатной системы управления разработки НПО «Автоматика», функционирующих в контурах системы управления расходом топлива (СУРТ), тягой и её вектором, а также аварийной защиты маршевого двигателя. При этом кроме преобразователя При в контуре СУРТ, уже несколько лет эксплуатирующегося в составе блока «И» РН «Союз-2-1б», остальные приборы являлись новой разработкой НПОА и фактически впервые отрабатывались в комплексе с системами блока. Во время испытаний СУ-САЗ, по сути, выполняла функции бортового вычислительного комплекса, обеспечивая обмен информацией с бортом посредством интерфейса стандарта MIL STD 1553В. Контроль аварийных параметров обеспечивался по алгоритмам разработчиков двигателей.

В ходе стендовой отработки указанных блоков РН «Союз-2-1б» и «Союз-2-1в», СУ-САЗ обеспечила около десятка холодных и четыре огневых испытаний,

одно из которых (ОСИ-1 «Союз-2-1в») было завершено не штатно по причине установки неточных параметров аварийной защиты и невыполнения циклограммы останова двигателей. Причины нештатного завершения испытания были обусловлены сложной кооперацией исполнителей по реализации алгоритмов САЗ, особенностями взаимодействия дублированной схемы двигателя РД-0110РС по каналам чисел оборотов вала ТНА с трёхканальной СУ-САЗ и связанной с этим методикой тестирования системы. В связи с этим опыт подготовки и работы СУ-САЗ при испытаниях стендового блока первой ступени РН «Союз-2-1в» представляет интерес.

В ходе ОСИ-1 циклограмма АД была реализована частично – были закрыты отсечные подбаковые клапаны и не закрыты отсечные пироклапаны двигателей (рис.1). В итоге была разрушена материальная часть изделия. В результате анализа нештатной работы СУ-САЗ было выявлено следующее.

Причиной АД явился неверный коэффициент в программе расчёта чисел оборотов. Коэффициент был задан исходя из ошибочного представления о количестве «вставок» датчика чисел оборотов турбины (ОТ) - вместо шести было задано две. Это привело к завышению в 3 раза значений ОТ.

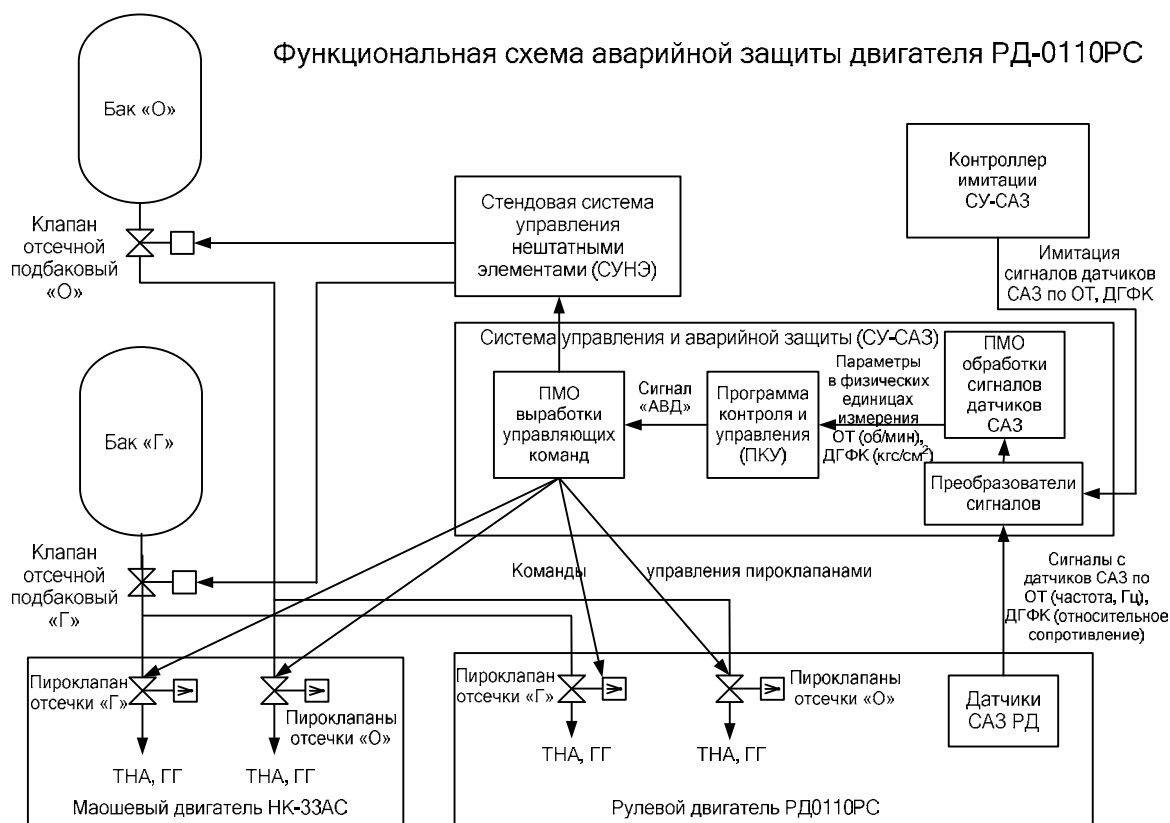


Рис. 1. Функциональная схема аварийной защиты двигателя РД-0110РС

Следствием ложного АД должна была стать только остановка испытания без разрушения материальной части. Но этого не произошло – циклограмма АД отработала не штатно. Стендовые систе-

мы управления ИУС-С, получив сигнал АД, сформированный СУ-САЗ, отработали штатно: в соответствии с циклограммой АД были закрыты отсечные подбаковые клапаны. Однако циклограм-

ма АД в СУ-САЗ реализована фактически не была.

Было установлено следующее:

1. Причиной нештатного выполнения циклограммы АД явилось сочетание отказа одного из двух преобразователей оборотов во втором канале и одновременное формирование сигнала АД в первом и третьем каналах СУ-САЗ, что не было учтено общим алгоритмом аварийной защиты, реализованным СУ-САЗ. Сочетание указанных случайных событий не было выявлено в ходе проверок, проведённых при подготовке к ОСИ по согласованной предприятиями кооперации конструкторской и технологической документации.

2. Система управления и аварийной защиты для проведения стендовых испытаний стендового блока I ступени РН «Союз-2-1в» СУ-САЗ разработана и изготовлена на базе материальной части СА-ЗУ, использованной для испытаний изделия «Союз 2» (тема «Русь»), и САЗ, использованной для испытаний изделия УРМ-2 (тема «Ангара»). Преимущество технических решений, лежащих в основе СУ-САЗУ → САЗ → СУ-САЗ, была обусловлена схожестью решаемых задач по управлению ступенями РН (темы «Русь», «Ангара», «Союз-2-1в»); применением двигателей разработки КБХА с однотипной идеологией аварийной защиты, реализованной в программе контроля и управления (ПКУ); применением на РН бортовых приборов со стандартными интерфейсами связи (MIL-STD, RS-485); схожей идеологией построения алгоритмов систем управления расходом топлив (СУРТ) разработки ИПУ РАН; схожей идеологией построения алгоритмов систем управления вектором тяги (СУВТ); одинаковыми техническими требованиями по быстродействию, надёжности и вычислительным возможностям системы управления и аварийной защиты, а также отсутствием замечаний к работе СУ-САЗ при отработке изделий по темам «Русь» и «Ангара».

3. Логика аварийной защиты (ПКУ КБХА) двигателя РД0110РС отличалась от логики аварийной защиты двигателей 14Д23 и РД0124АИ, а именно: сокращено число каналов контролируемых параметров, число алгоритмов контроля и количество датчиков оборотов ТНА, задействованных в СУ-САЗ; исключены алгоритмы комплексной оценки параметров разных типов (оборотов, давлений) при формировании признаков АД. В отличие от испытаний по темам «Русь» и «Ангара», где на турбине двигателей 14Д23 и РД0124АИ установлены по два двухканальных датчика оборотов и ПКУ контролировало сигнал от трёх каналов датчиков оборотов, выбирая срединное значение, на двигателе РД0110РС по конструктивным ограничениям был применён только один двухканальный датчик, в связи с чем разработчиком ПКУ было принято решение о выработке сигнала аварийности по оборотам ТНА двигателя РД0110РС по схеме «И» (т.е. фактически по одноканальной схеме).

4. При такой схеме в случае отказа одного из преобразователей сигналов датчика оборотов (ПО) на фоне превышения параметра оборотов вала турбины предельного значения признак АД в канале СУ-САЗ с отказавшим ПО не сформируется, что и произошло при ОСИ (признак не сформировался во втором канале СУ-САЗ, в котором отказал один из двух преобразователей). Вследствие этого данный канал СУ-САЗ исключился из логики формирования циклограммы АД. В результате отказа преобразователя трёхканальная СУ-САЗ в части аварийной защиты по каналу оборотов стала двухканальной. При этом в зависимости от синхронности измерения чисел оборотов циклограммы, реализующие АД, могли запускаться либо синхронно с реализацией команд циклограммы АД, либо – асинхронно с взаимным обнулением команд управления двигателем, что и произошло при ОСИ.

5. Как выяснилось, такая логика совместной работы ПКУ и СУ-САЗ не

обеспечивает требования, предъявляемые к СУ-САЗ по парированию одиночного отказа измерительных преобразователей оборотов.

Чтобы разобраться в причинах нештатной работы СУ-САЗ при ОСИ-1 «Союз-2-1в» рассмотрим общие принципы построения информационно-управляющих систем (ИУС) разработки ФКП «НИЦ РКП» [1]. Стендовые испытания таких энергетически мощных изделий РКТ как ЖРД и ступени ракет предъявляют повышенные требования к надёжности систем управления. Повышение надёжности и живучести аппаратуры управления достигается созданием многоканальных (дублированных или троированных) ИУС и САЗ (здесь под каналом понимается самодостаточный тракт резервированной аппаратуры, обеспечивающий ввод, обработку и вывод сигналов на объект управления).

В основе САЗ и СУ-САЗ используется троированная архитектура с взаимной диагностикой каналов путём обмена информацией между управляющими контроллерами. Данная архитектура автоматически парирует одиночный отказ в одном канале либо несколько разнотипных отказов в разных каналах.

Наибольшую трудность при создании троированных систем представляет задача взаимной синхронизации содержимого памяти каналов. От правильности её решения зависит быстродействие системы и способность обеспечить «безударное» продолжение функционирования при отказе какой-либо её части.

В системах управления разработки ФКП «НИЦ РКП» синхронизация содержимого памяти осуществляется по одному событию – началу такта. Внутри такта работа контроллера в каждом канале осуществляется независимо от работы контроллеров других каналов. При принятой в САЗ и СУ-САЗ длительности такта в 10мс расхождения в функционировании контроллеров в течение такта считаются несущественными. В течение такта осуществляется опрос входов, обработка про-

грамм управления и вывод сигналов на объект управления.

В начале такта производится взаимный обмен массивами состояний входов, выходов и внутренних переменных между тремя каналами. После обмена в каждом канале дискретная информация подвергается процедуре голосования «два из трёх» по каждому биту, а для аналоговых данных за результирующее принимается значение, оставшееся после отбрасывания максимального (верхнего) и минимального (нижнего) значений.

Выравнивание входной информации обеспечивает парирование одиночного отказа преобразователя в любом из каналов троированной системы, а также асинхронность измерений входных сигналов. Последнее требует пояснений.

Подсистемы ввода, в общем случае, функционируют с собственными периодами измерения (приёма) данных, не обязательно синхронизированными с тактом контроллера. Ввод данных осуществляется в промежуточные массивы, содержимое которых используется для обновления входных переменных в определённый момент такта контроллера. Проблема заключается в том, что не синхронизированные и не равные друг другу периоды измерения любых пар преобразователей с течением времени смещаются относительно друг друга. Это может привести к тому, что внешнее событие (переход параметра через уставку) будет зафиксировано в различных каналах в разных тактах. При периоде измерения, не превышающем длительности такта контроллера, такты фиксации события будут смежными, т.е. либо в первом, либо во втором такте сработает минимум два канала троированной системы.

К отступлениям от полного выравнивания следует относиться очень осторожно, поскольку это может привести к непредсказуемым последствиям. При отсутствии выравнивания входной информации при определённых условиях может быть получен эффект обнуления выходов. Например, пусть первый и третий каналы

рассинхронизированы по измерению некоторого параметра, а во втором канале произошёл отказ измерительного преобразователя. Тогда, несмотря на то что в двух каналах сработали алгоритмы и сформировали выходной сигнал в двух последовательных тактах, в результате выравнивания по схеме 2 из 3-х выходной сигнал на объект выдан не будет (рис. 2). В частном случае ситуация может быть исправлена за счёт повтора в алгоритме

управления формирования управляющего сигнала в нескольких тактах подряд. Однако повсеместная организация повторов исполнительных команд во всём алгоритме не только не оптимальна, но, подчас, и невозможна.

Именно поэтому в большинстве троированных систем (рис. 3), созданных ФКП «НИЦ РКП», используется полное выравнивание.

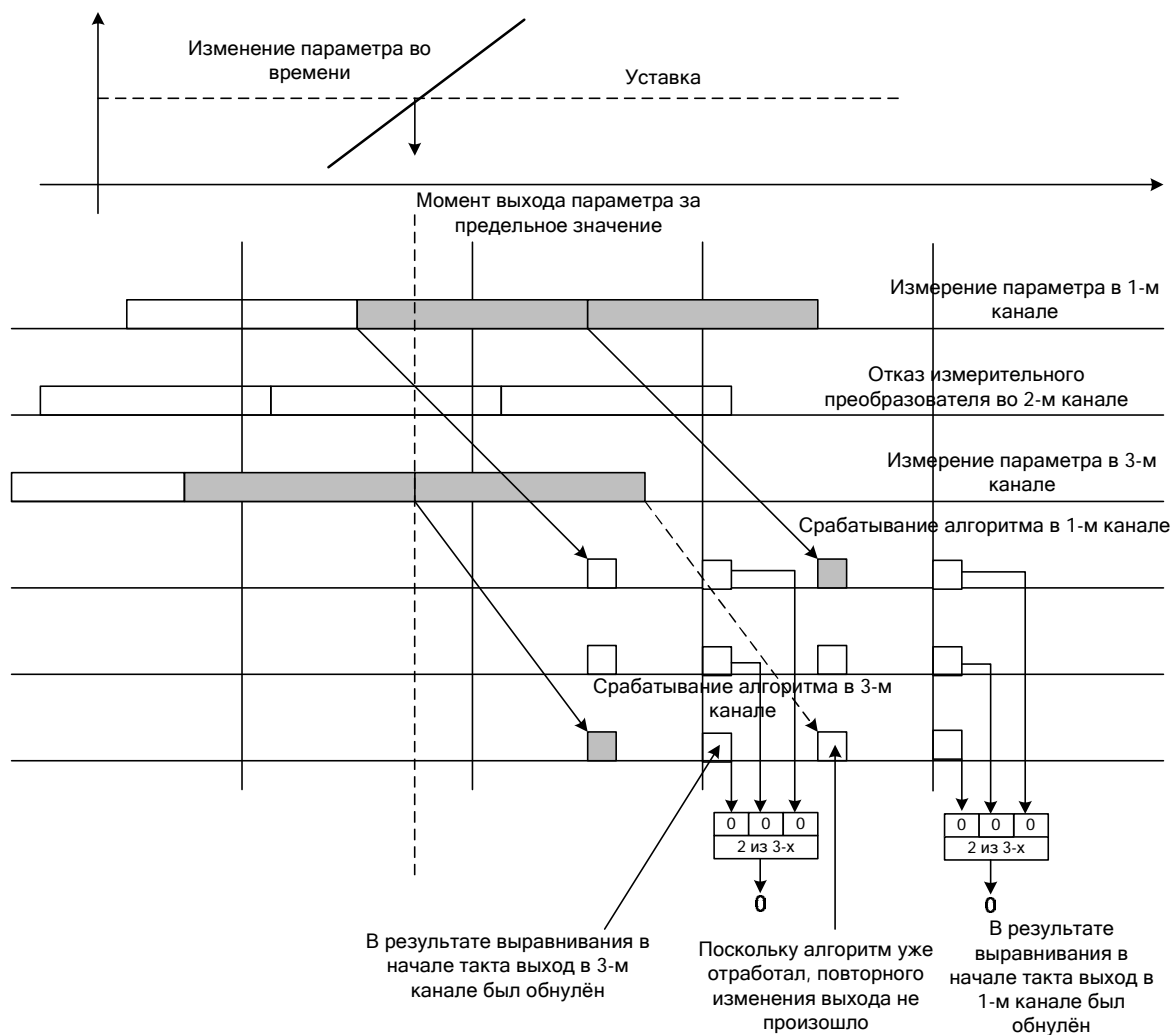


Рис. 2. Отсутствие выравнивания входных данных, а также несинхронность измерений в 1-м и 3-м каналах, дополненная отказом измерительного преобразователя во 2-м канале, может привести к взаимному обнулению выходных сигналов

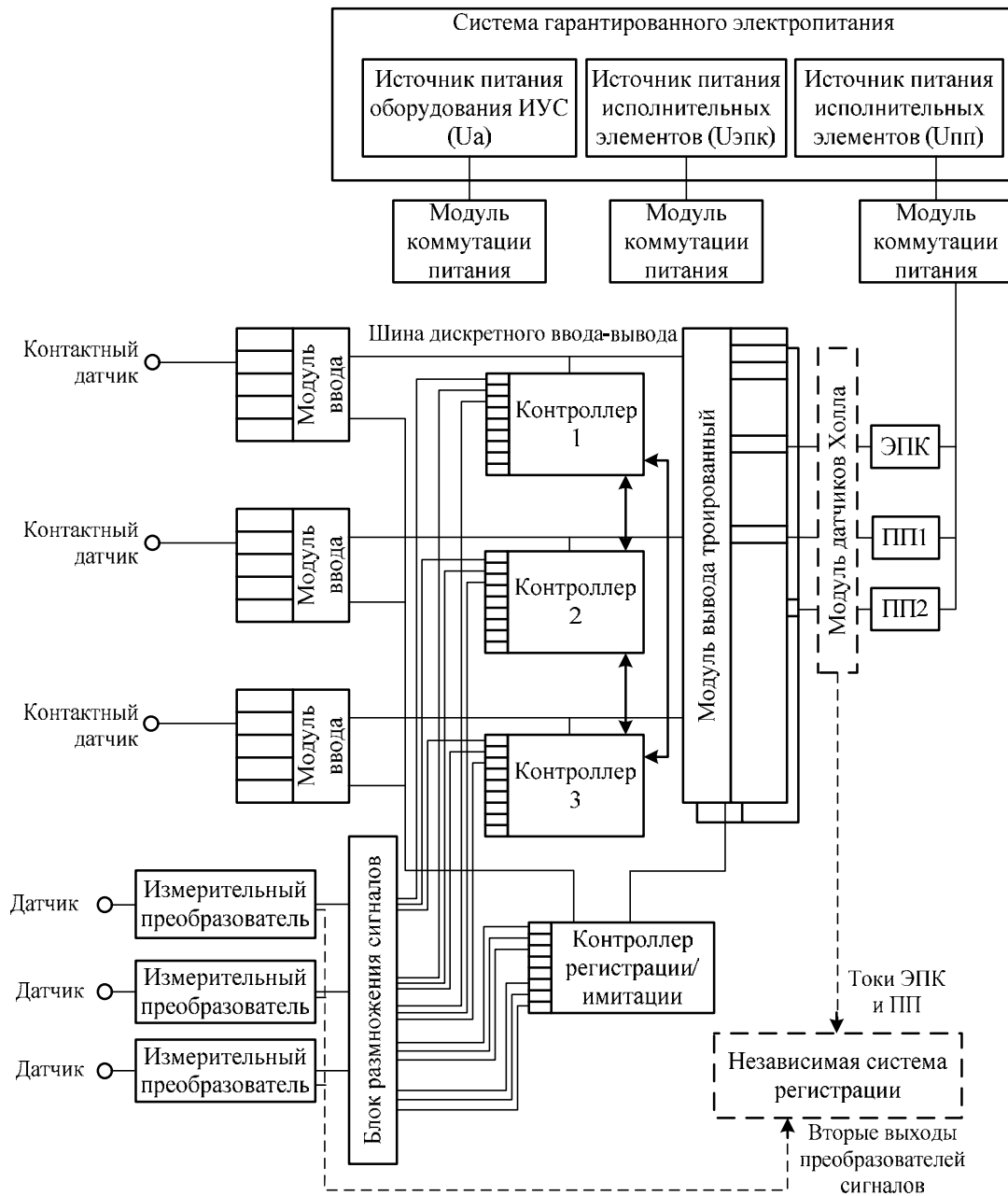


Рис. 3. Структура типовой троированной ИУС разработки ФКП «НИЦ РКП»

Однако для отдельных систем были сделаны исключения из общих правил. Одной из таких систем является система управления и аварийной защиты для стендовых испытаний двигательных установок (ДУ) по темам «Русь» и Ангара»

(рис. 4), где имелись отступления от выравнивания по сигналам датчиков чисел оборотов турбины двигателя 14Д23 и РД0124АИ. По другим параметрам (давлениям и температурам) отступлений от схемы полного выравнивания не было.

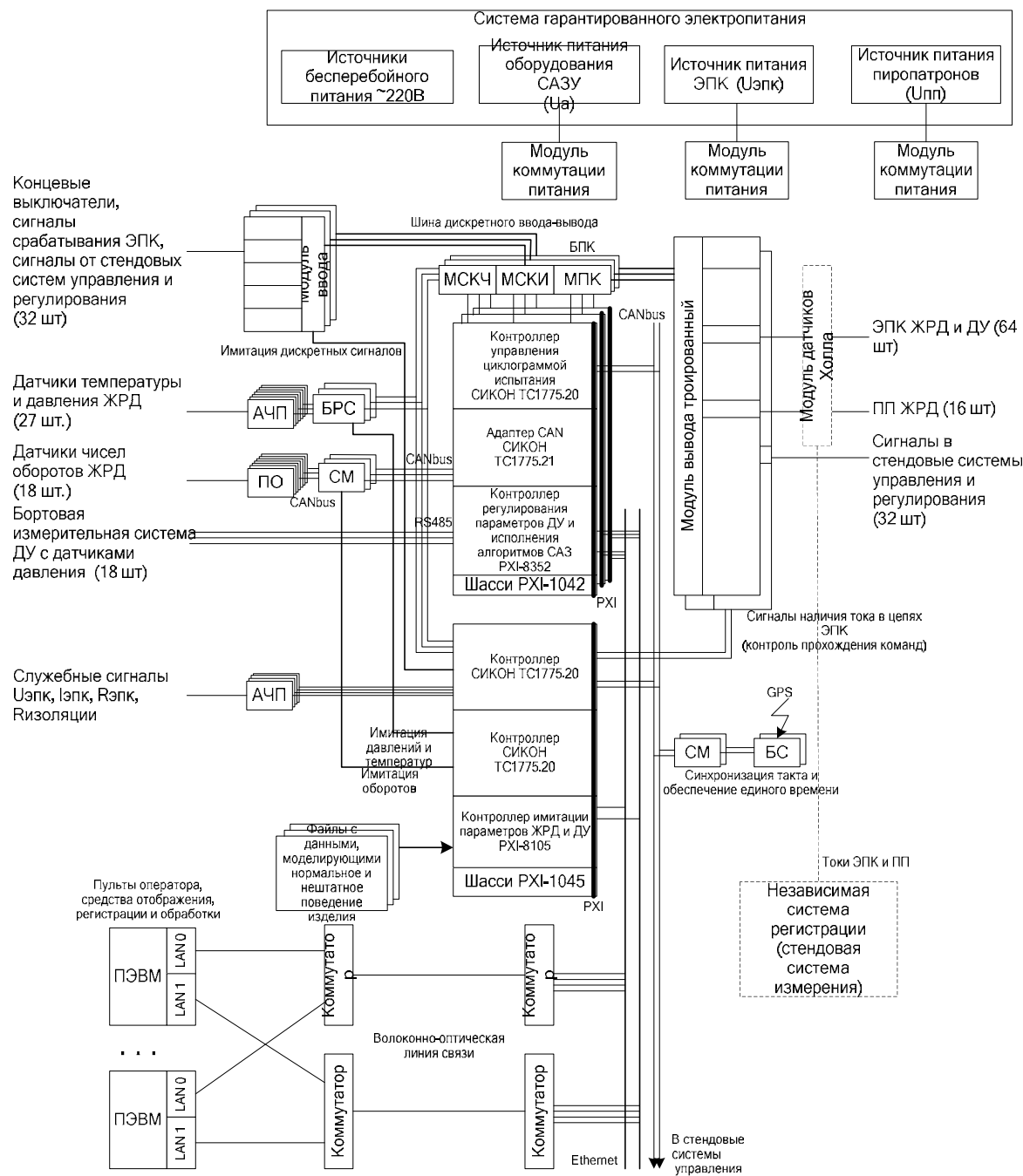


Рис. 4. Структурная схема СУ-СА3 для испытаний ДУ «Русь» и «Ангара» с двигателями 14Д23 и РД0124АИ соответственно

СУ-СА3 представляет собой трёхканальную структуру на базе крейтов в стандарте PXI (ф.National Instruments). Возможность интеграции всех задач управления и аварийной защиты ДУ в СУ-СА3 обеспечивается наличием в каждом крейте двух процессорных модулей - контроллера PXI-8352 под управлением ОС Windows и контроллера жёсткого реаль-

ного времени СИКОН ТС 1775.20. В контроллере PXI-8352 решались задачи, требующие больших вычислительных затрат: аварийной защиты двигателя, регулирования параметров ДУ (давления в баках, соотношения компонентов топлива), регистрации и операторского интерфейса. Кроме того, на уровне вычислительного контроллера PXI-8352 обеспечивался ввод

данных от преобразователей сигналов чисел оборотов с помощью адаптера СИ-КОН ТС 1775.21 и связь с бортовыми приборами по цифровому интерфейсу (MIL-STD, RS-485). Контроллером управления СИКОН ТС 1775.20 осуществлялся сбор данных с объекта по параметрам давления и температуры, обмен информацией с задачей САЗ, реализация циклограмм управления и аварийного останова ДУ. На уровне контроллера СИКОН ТС 1775.20 были реализованы обмен и выравнивание данных. Взаимодействие между вычислительным и управляющим процессорными модулями в пределах канала осуществлялось по системной шине крейта РХИ. Такт работы всей системы равен 10 мс.

Особенностью системы является применение для аварийной защиты двигателя программы контроля и управления (ПКУ) разработки КБХА. ПКУ, оформленная в виде dll-библиотеки, была интегрирована в общее ПМО СУ-САЗ на уровне вычислительного контроллера РХИ-8352. Следует отметить, что ПКУ изначально предполагает наличие в составе СУ-САЗ дополнительного вычислительного контроллера, работающего под управлением ОС Windows.

Четвёртый канал СУ-САЗ обеспечивает дополнительную, независимую регистрацию параметров ДУ. В состав четвёртого канала также входят имитаторы, представляющие собой программируемые контроллеры, задачей которых является генерация по заданной временной циклограмме тестовых значений сигналов датчиков для проверки правильности работы алгоритмов и оборудования СУ-САЗ в ходе подготовки к испытаниям.

Таким образом, состав и сложность задач управления и аварийной защиты ДУ обусловил нетрадиционную многоуровневую конфигурацию СУ-САЗ, а также использование ОС Windows, не предназначенную для работы в режиме реального времени. С другой стороны, совмещение всех задач управления и аварийной защиты ДУ в одном устройстве обеспечило повышение надёжности и сокращение времени реакции на аварийную ситуацию по сравнению с распределённым комплексом специализированных под каждую задачу подсистем.

Структура СУ-САЗ в части аварийной защиты двигателей 14Д23 и РД0124АИ по сигналам чисел оборотов выглядела следующим образом (рис. 5).

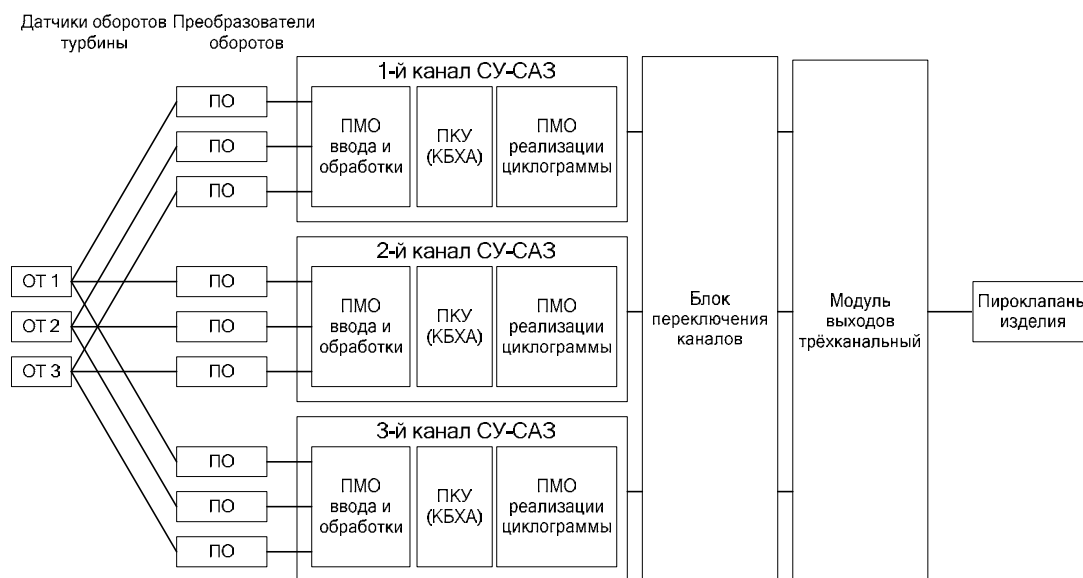


Рис. 5. Структура СУ-САЗ в части аварийной защиты двигателей 14Д23 и РД0124АИ по сигналам чисел оборотов



В системе СУ-САЗ выравнивание данных измерений чисел оборотов не производилось ввиду высоких требований к времени реакции системы. Данное отступление было оправдано тем, что парирование отказов датчиков и преобразователей, а также обеспечение синхронности поступления команд АД из ПКУ в управляющий контроллер осуществлялось за счёт троирования датчиков и измерительных преобразователей сигналов чисел оборотов двигателя. Причём данные от трёх датчиков поступали в каждый из трёх каналов СУ-САЗ. Такая схема гарантирует корректную работу системы за счёт одновременного формирования признака АД любыми двумя каналами из трёх в двух смежных тактах, как при исправном оборудовании, так и при отказе одного из каналов датчика оборотов или одного, двух и даже трёх преобразователей в разных каналах системы.

Процедура выравнивания показаний чисел оборотов производилась логикой самой ПКУ путём отбраковки минималь-

ного и максимального значений и выбора серединного из измеренных чисел оборотов. Поскольку приём сигналов чисел оборотов был реализован на уровне связи адаптера СИКОН ТС 1775.21 и вычислительного контроллера РХИ-8352, то выравнивание потребовало бы дополнительного времени (от 20 до 30 мс) на передачу данных в управляющий контроллер СИКОН ТС 1775.20, ожидание времени до окончания процедуры обмена и выравнивания данных между каналами, чтения выровненных данных контроллером РХИ-8352 из управляющего контроллера.

При ОСИ-1 «Союз-2-1в» идеология работы СУ-САЗ не претерпела изменений, в то время как логика и схема аварийной защиты (ПКУ КБХА) двигателя РД0110РС в отличие от двигателей 14Д23 и РД0124АИ были другие.

Структура СУ-САЗ по каналу контроля оборотов ТНА двигателя РД0110РС на момент ОСИ-1 имела следующий вид (рис. 6).

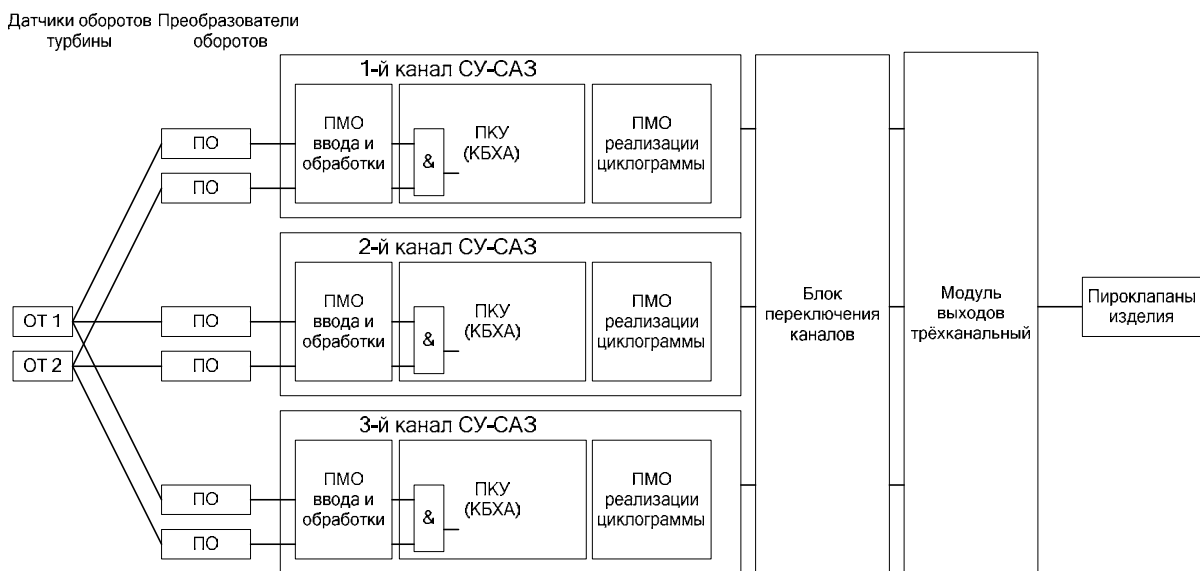


Рис. 6. Структура СУ-САЗ ЭУ-763 в части контроля чисел оборотов турбины двигателя РД0110РС на момент ОСИ

Из схемы следует, что отказ одного из преобразователей сигналов датчика оборотов (ПО) на фоне превышения параметра оборотов вала турбины предель-

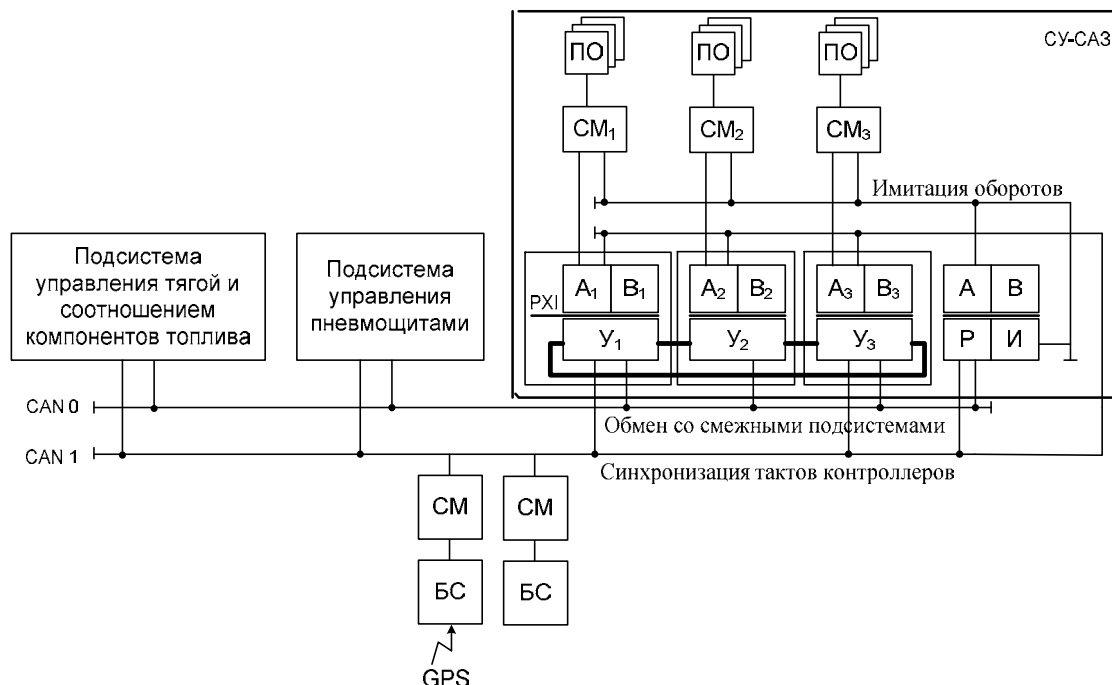
ного значения признак АД в этом канале не сформируется, что и произошло при ОСИ-1 (признак не сформировался во втором канале СУ-САЗ, в котором отказал

один из двух преобразователей). Вследствие этого один из каналов СУ-САЗ исключился из логики формирования циклограммы АД. В результате отказа преобразователя трёхканальная СУ-САЗ в части аварийной защиты по каналу оборотов стала двухканальной. При этом в зависимости от синхронности измерения чисел оборотов циклограммы, реализующие АД, могут запуститься либо синхронно с реализацией команд циклограммы АД, либо асинхронно с взаимным обнулением команд управления двигателем, что и произошло при ОСИ. Вероятность такого события составляет значение, близкое к 50%.

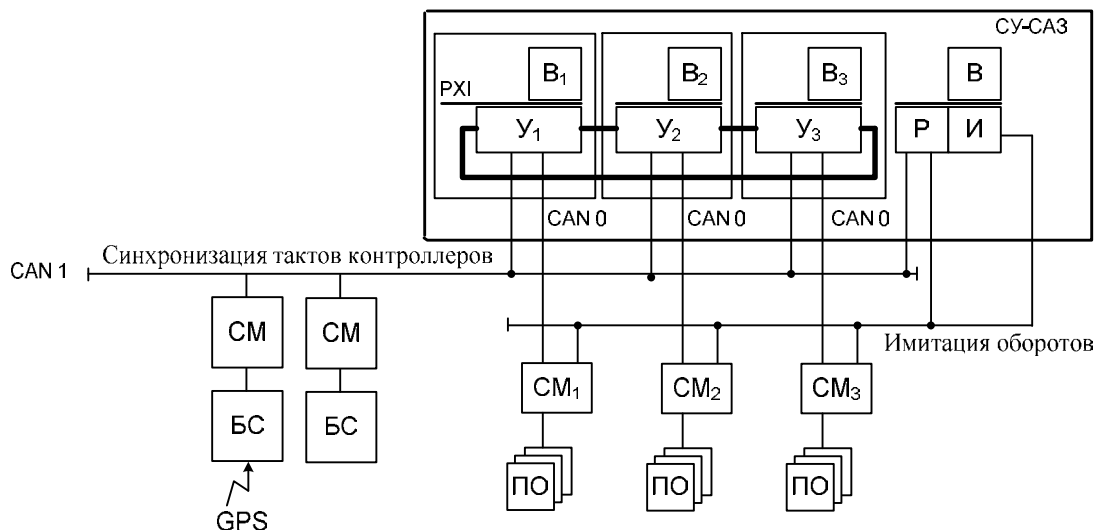
Как выяснилось, такая логика совместной работы ПКУ и СУ-САЗ заведомо не обеспечивала требования, предъявляемые к СУ-САЗ по парированию одиночного отказа измерительных преобразователей оборотов с требуемой надёжностью. Схему функционирования СУ-САЗ необходимо было изменить.

Такое решение было найдено. Поскольку по задачам испытаний «Союз-2-

1в» необходимость в дополнительных подсистемах управления изделием (управления дросселями тяги и соотношения компонентов двигателей 14Д23 и РД0124АИ, управления электропневмощитами (рис. 7, а)) отпала, то появилась возможность использовать высвободившийся интерфейс обмена данными между подсистемами управления для приёма сигналов чисел оборотов непосредственно в управляющие контроллеры СУ-САЗ. Согласно модернизированной схеме (рис. 7, б) каждые 10 мс управляющий контроллер ( $Y_i$ ) считывает текущие значения чисел оборотов непосредственно из связанных модулей (СМ), после чего данные проходят через штатную процедуру взаимного обмена и выравнивания между каналами СУ-САЗ. После выравнивания по прерыванию, генерируемому управляющим контроллером каждые 10 мс, вычислительный контроллер ( $B_i$ ) считывает текущие значения чисел оборотов из управляющих контроллеров и формирует кадр для ПКУ.



а - схема приёма сигналов чисел оборотов в ходе работ по темам «Русь», «Ангара» и аварийного испытания «Союз-2-1в»



б – структура модернизированной СУ-СА3 в части приёма сигналов чисел оборотов для повторных испытаний «Союз-2-1в»

Рис. 7. Структуры СУ-СА3 для задач управления «Союз-2-1в»:

Y<sub>i</sub> – контроллеры управления; B<sub>i</sub> – вычислительные контроллеры; A<sub>i</sub> – адаптеры CANbus; Р – регистрирующий контроллер; И – имитирующий контроллер

В результате доработки схема построения СУ-СА3 в части приёма и обработки сигналов чисел оборотов стала иметь следующий вид (рис. 8). Для надёжного парирования отказов по каналам приёма сигналов чисел оборотов реализован взаимный обмен параметрами чи-

сел оборотов между каналами СУ-СА3 через имеющиеся интерфейсы таким образом, чтобы каждый канал СУ-СА3 имел данные соседних каналов и на вход ПКУ поступала идентичная информация по оборотам вала ТНА.

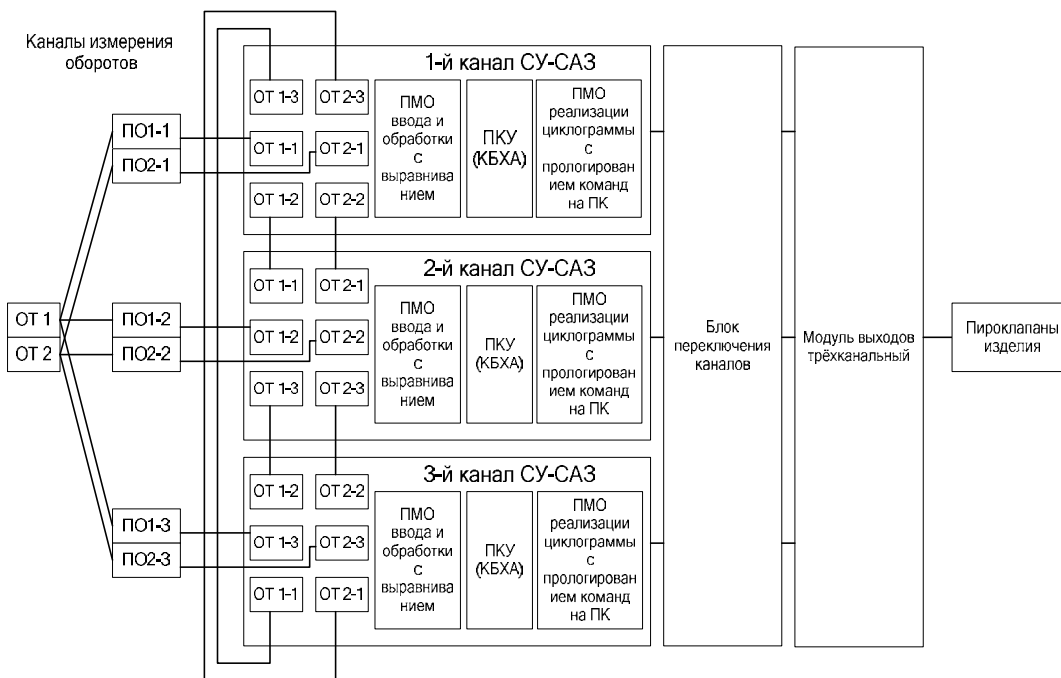


Рис. 8. Доработка СУ-СА3 в части контроля сигналов чисел оборотов турбины двигателя РД0110РС

Опыт последних испытаний показал, что троированная структура СУ-САЗ обеспечивает надёжное управление и контроль параметров изделия, хотя и не без определённых трудностей в части реализации отдельных задач. Последнее связано с использованием интегрированной структуры, каждый канал которой содержит крейт в стандарте PXI с двумя процессорными модулями: программируемого контроллера типа СИКОН ТС 1775 с операционной системой реального времени (для реализации циклограммы, алгоритмов управления изделием, алгоритмов аварийной защиты маршевого двигателя) и контроллера типа PXI-8352 под управлением ОС Windows для реализации задач аварийной защиты рулевого двигателя РД0110РС, СУРТ, СУВТ. Такая организация обусловила дополнительную задержку при обмене данными между процессорными модулями и потребовала определённых усилий по обеспечению синхронности их работы, поскольку ОС Windows не приспособлена к работе в условиях реального времени, что приводит к появлению эффекта «пропуска тактов» с возможной потерей информации в течение 10 мс. Как показал анализ прошедших испытаний, совместное функционирование сложных алгоритмов в сочетании с жёсткими требованиями к стабильной длительности такта работы систем (10 мс) и алгоритмов управления (30 мс), к времени реакции на аварийную ситуацию, а также с необходимостью синхронизации систем полностью использовали вычислительные ресурсы контроллеров.

Всеми участниками кооперации по проведению стендовых испытаний были выполнены мероприятия, учитывающие замечания, выявленные при первом ОСИ. В частности, были усовершенствованы алгоритмы аварийной защиты маршевого и рулевого двигателей в целях повышения надёжности распознавания аварийных ситуаций, введены дополнительные проверки СУ-САЗ с отработкой нештатных ситуаций, учитывающих выход из строя элементов системы и изделия.

При проведении ОСИ-2 на 153-й секунде от команды «Зажигание-1» системой СУ-САЗ была сформирована команда на останов двигателей по падению давления горючего перед форсунками камеры. Проведённый впоследствии анализ показал, что система правильно и вовремя распознала начало развития нештатной ситуации и реализовала выключение двигателей в строгом соответствии с циклограммой.

С 2011 года ФКП «НИЦ РКП» ведёт разработку нового поколения контроллеров СИКОН-М, выполненных на современной элементной базе и интерфейсах космического назначения Space Wire, обеспечивающих существенное увеличение производительности и быстродействия по сравнению с контроллерами, применявшимися во время предшествующих испытаний, что позволяет решить указанные проблемы. Технические решения, заложенные в новом контроллере, будут отработаны в составе систем управления и аварийной защиты при испытаниях двигателя РД0146Д и применены в информационно-управляющих системах для испытаний КВТК «Двина» на стендах ФКП «НИЦ РКП».

В числе новых технических решений основными являются:

1. Замена связки контроллеров PXI-8352 и СИКОН ТС 1775 в системе аварийной защиты САЗ-2 на контроллеры СИКОН-М с целью упрощения структуры системы, а также согласования со стендовыми СУ, оснащаемыми в настоящее время контроллерами СИКОН-М.

2. Перевод ОАО КБХА программного обеспечения аварийной защиты ЖРД (ПКУ) на операционную систему Linux (в СИКОН-М) с целью отказа от использования Windows при решении задач реального времени.

За основу процессорного модуля нового контроллера СИКОН-М был взят СОМ-модуль Nano ETX express на базе процессора Intel Atom с тактовой частотой 1,6 ГГц, при энергопотреблении от 4.5 до 12 Вт.

На рис. 9 показана структура нового контроллерного модуля для перспективных стендовых систем управления и аварийной защиты.

Существенным для такой распределённой системы как ИУС-И - САЗ является увеличение пропускной способности интерфейса обмена данными между управляющими контроллерами. В настоящее время для этих целей используется промышленная ЛВС CANbus. Несмотря на простоту и высокую надёжность она имеет существенные ограничения по пропускной способности (500 Кбит/с), что существенно снижает возможности по

обмену данными между контроллерами в реальном времени. В новой разработке для реализации данной функции предпочтение отдано промышленной ЛВС Ethernet 1 Гбит/с, использующей технологию резервированных колец и стандарт временной синхронизации IEEE-1588 с подстройкой времени от глобальных спутниковых систем. Приём сигналов спутниковых систем осуществляется на всепогодную наружную антенну со встроенной грозозащитой. Высвободившийся интерфейс ЛВС CANbus будет использоваться исключительно для приёма сигналов чисел оборотов (по аналогии с СУ-САЗ).

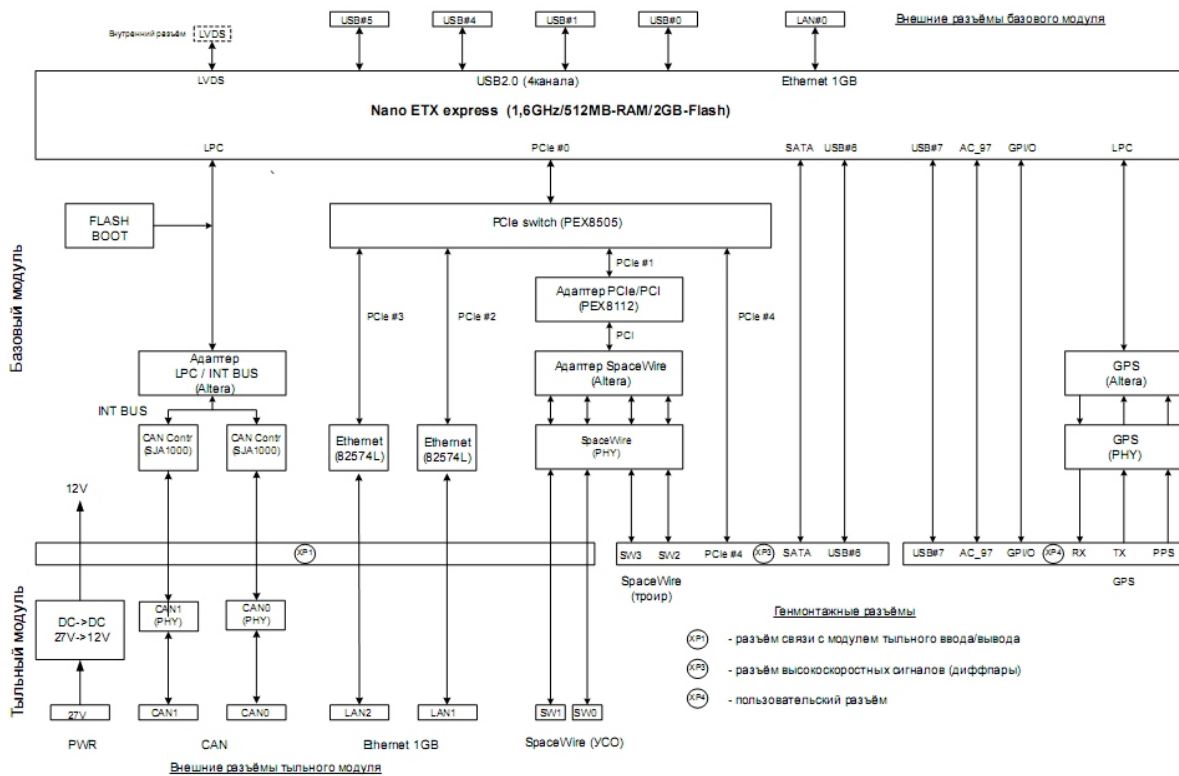


Рис. 9. Структурная схема контроллера нового поколения стендовых систем управления и аварийной защиты

Представленная на рис. 10 архитектура СУ-САЗ имеет более высокие характеристики по быстродействию и надёжности. За счёт реализации задач управления и аварийной защиты в одном процессорном модуле время реакции на аварийную ситуацию уменьшается минимум на 10 мс. Время реакции системы от момента возникновения на входе сигнала, характеризующего аварийную ситуацию, до момен-

та выдачи сигнала на исполнительные элементы будет составлять не более 40 мс. Новое поколение СУ-САЗ, как и существующее на данный момент, способно решать весь комплекс задач по измерению и регулированию параметров стенда и изделия (поддержание давления в баках, регулирование расходов, регулирование тяги и соотношения компонентов, качание камер сгорания и др.).

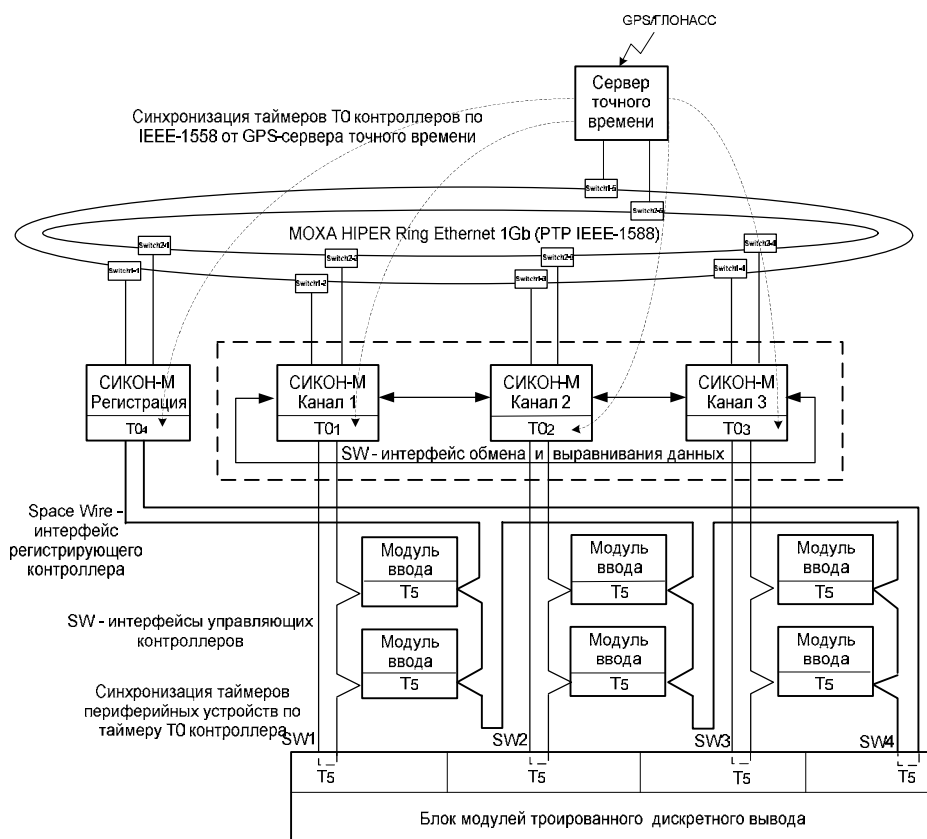


Рис. 10. Структура перспективной SV-CA3

### Библиографический список

1. Информационно-управляющие системы для стендовых испытаний ЖРД и двигательных установок [Текст] / В.А. Лисейкин, В.В. Милютин, Г.Г. Сайдов [и др.]. М.: Машиностроение, 2012. – 406 с.

2. Проблемы создания информационно-управляющих систем и систем аварийной защиты для отработки ЖРД и ДУ [Текст] / В.А. Лисейкин, В.В. Милютин, И.А. Тожокин [и др.]. М.: Полёт, 2009.

## ON-STAND EMERGENCY PROTECTION AND CONTROL SYSTEM FOR PROPULSION TESTS OF «SOYUZ-2-1B» LAUNCH VEHICLE

© 2013 V. A. Liseykin, I. A. Tozhokin

Federal State Enterprise «Research and Test Center of Rocket and Space Industry» (FKP NITs RKP) town of Peresvet, Moscow region

The paper presents some issues related to on-stand emergency protection and control systems developed by the center (FKP NITs RKP) in support of propulsion tests of the new Russian «Soyuz-2-1B» launch vehicle.

*Emergency protection and control systems, «Soyuz-2-1B» launch vehicle, automatization of test facilities.*

### **Информация об авторах**

**Лисейкин Вадим Александрович**, кандидат технических наук, начальник отдела ОИУС-110; Федеральное казенное предприятие «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности», г. Пересвет, Московская область. E-mail: [mail@nic-rkp.ru](mailto:mail@nic-rkp.ru). Область научных интересов: наземные системы управления стендовыми испытаниями ЖРД и ДУ.

**Тожокин Игорь Александрович**, заместитель начальника отдела ОИУС-110; Федеральное казенное предприятие «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности», г. Пересвет, Московская область. E-mail: [mail@nic-rkp.ru](mailto:mail@nic-rkp.ru); [oius-110@ya.ru](mailto:oius-110@ya.ru). Область научных интересов: наземные системы управления стендовыми испытаниями жидкостных ракетных двигателей и двигательных установок.

**Liseykin Vadim Alexandrovich**, head of department, FKP NITs RKP. E-mail: [oius-110@ya.ru](mailto:oius-110@ya.ru). Area of research: on-stand emergency protection and control systems in support of propulsion tests of launch vehicles and liquid rocket engines.

**Tozhokin Igor Alexandrovich**, deputy head of department, FKP NITs RKP. E-mail: [oius-110@ya.ru](mailto:oius-110@ya.ru). Area of research: on-stand emergency protection and control systems in support of propulsion tests of launch vehicles and liquid rocket engines.