

УДК 629.7.051

О. Н. Дено, А. В. Филоненко, А. В. Диденко, Г. В. Ткаленко

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ АВТОНОМНОЙ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТА РАКЕТЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассмотрены основные принципы построения систем безопасности полета ракет космического назначения, эксплуатируемых в настоящее время, структура построения автономной бортовой системы безопасности полета, которая удовлетворяет требованиям международных нормативных документов в сфере обеспечения безопасности полетов, возможности создания автономной бортовой системы безопасности полета ракет космического назначения украинской разработки и определены основные направления создания составных частей системы.

Розглянуто основні принципи побудови систем безпеки польоту ракет космічного призначення, експлуатованих на цей час, структуру побудови автономної бортової системи безпеки польоту, яка задовольняє вимоги міжнародних нормативних документів у сфері забезпечення польотів, можливості створення автономної бортової системи безпеки польоту ракет космічного призначення українського розроблення та визначено основні напрямки створення складових частин системи.

The basic principles of building the flight safety systems for the space launch vehicles operated at present, the structure of autonomous onboard flight safety system that meets the requirements of the international regulatory documents in the field of space launch vehicle flight safety assurance, the feasibility of building the space launch vehicle autonomous onboard flight safety system developed in Ukraine are considered and the main directions of system's components creation are defined.

Введение

В условиях эпохи динамичного освоения космического пространства и интенсивно расширяющегося круга стран-участниц в сфере осуществления космических запусков вопрос обеспечения безопасности пусков ракет космического назначения (РКН) является одним из ключевых показателей качества оказываемых пусковых услуг.

В соответствии со статьей 2 Конвенции о международной ответственности за ущерб, причиненный космическими объектами [1], сторона, осуществляющая пуски ракет-носителей, несет ответственность за любой ущерб, нанесенный в результате пусков, которые она реализует.

Необходимость выполнения указанных требований Конвенции обязывает страны, с территории которых реализуются или планируются к реализации космические запуски, вносить в свои национальные законодательства требования к поставщикам пусковых услуг к обеспечению безопасности космических запусков. Соот-

ветственно разработчики и изготовители РКН, которые выполняют пусковые услуги, обязаны обеспечить оснащение РКН, как средств выведения полезной нагрузки, всеми необходимыми устройствами безопасности полета.

Принципы построения современных систем безопасности полета

Анализ комплекса международных нормативных документов по безопасности космических запусков, проведенный ГП «КБ «Южное» [2], показывает, что ключевой задачей процесса обеспечения безопасности при реализации пусковой миссии являются идентификация, контроль и сведение к минимуму рисков нанесения ущерба населению, персоналу, общественной и частной собственности, а также окружающей природной среде.

Решение задачи обеспечения безопасности полета РКН реализуется с помощью целого комплекса мероприятий. Одним из самых главных мероприятий является оснащение

РКН системой безопасности полета (СБП), которая должна обеспечивать:

- выявление аварийного состояния ракеты на этапе полета;
- реализацию операций по прекращению активного аварийного полета.

Системы безопасности полета РКН, эксплуатируемых в настоящее время на космодромах ведущих космических стран, по принципу построения можно условно разделить на два типа:

- автономные радиокомандные системы безопасности полета (РКСБП);
- бортовые автоматические системы безопасности полета (БАСБП).

Для выявления аварийного состояния РКН используется информация от целой сети радиолокаторов, отслеживающих положение и перемещение передатчика-транспондера, установленного на борту РКН.

Такие РКСБП являются классической реализацией системы безопасности полета ракет космического назначения, запускаемых

В качестве примера на рис. 1 представлена инфраструктура космодрома Ванденберг, США [3].

Основным преимуществом РКСБП является высокая степень надежности, подтвержденная значительным объемом экспериментальной отработки и более чем 50-летним опытом успешного применения при проведении пусков РКН.

Вместе с тем РКСБП обладает рядом недостатков, которые в условиях высокой конкуренции на рынке пусковых услуг оказывают существенное влияние на их стоимость. К таким недостаткам относятся:

1. Громоздкая наземная инфраструктура, которая задействуется при пуске, и высокая стоимость ее эксплуатации. Так, например, затраты космодрома на эксплуатацию РКСБП при каждом запуске американских РКН семейств Atlas или Delta составляют

порядка 500 тыс. дол., стоимость подготовки и проверок средств прекращения полета – еще 100 тыс. дол., а для осуществления пуска РКН в зависимости от траектории полета необходимо привлечение от трех до пяти радарных станций слежения [4].

2. Инерционность реакции человека на быстротекущие процессы, происходящие вследствие аварии РКН. Время реакции оператора СБП на события, происходящие вследствие аварии РКН, и время принятия решения о прекращении полета может составлять несколько секунд. За такой промежуток времени аварийная РКН, например, потерявшая управляемость в результате отказа рулевого органа, способна отклониться от штатной траектории полета и совершить падение за пределами границ разрешенной зоны в сотнях километров, привести к гибели людей и существенному ущербу наземных объектов.

3. Привязка к конкретным космодромам и их инфраструктуре. Применение РКСБП предусматривает использование развернутого комплекса средств слежения за полетом РКН, что является при определенных условиях либо невозможным, либо крайне дорогостоящим решением для вновь создаваемых космодромов, где такая инфраструктура отсутствует.

Развитие современных технологий и необходимость снижения стоимости пусков РКН в условиях высокой конкуренции на рынке средств выведения полезных нагрузок все чаще стимулируют разработчиков систем безопасности РКН вести работы в направлении поиска альтернатив для РКСБП.

Еще одним решением вопроса обеспечения безопасности полета РКН является применение БАСБП, устанавливаемых на борту РКН, для которых не требуются дорогостоящие наземные средства слежения и прекращения аварийного полета РКН, размещаемые на космодромах и по трассе полета РКН.

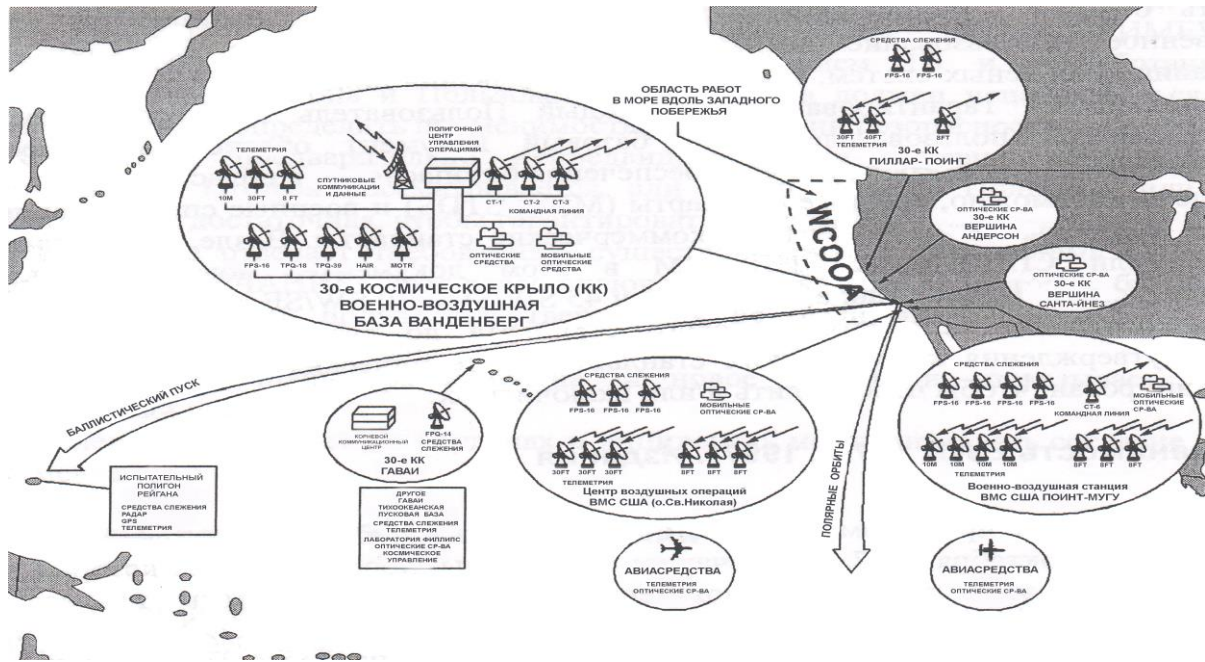


Рис. 1. Схема взаимодействия оборудования космодрома Ванденберг и средств для обеспечения безопасности полета

Ракеты космического назначения, разрабатываемые предприятиями бывшего СССР, в том числе ГП «КБ «Южное», оснащались БАСБП, в которых выявление аварийного состояния РКН на этапе полета обеспечивает аппаратура системы управления РКН, а прекращение активного полета аварийной РКН обеспечивается штатными исполнительными элементами из состава двигательных установок, пневмогидравлических систем (ПГС), элементов разделения ступеней и отделения полезной нагрузки. На рис. 2 приведена структурная схема варианта реализации БАСБП, применяемого в РКН разработки ГП «КБ «Южное».

Для выявления аварийного состояния РКН в БАСБП используются аппаратные средства системы управления, а для прекращения активного аварийного полета – штатные

Контроль состояния управляемости осуществляется бортовой аппаратурой СУ в соответствии с алгоритмами системы угловой стабилизации СУ РКН, которые

исполнительные элементы РКН, которые задействуются по командам аппаратуры системы управления РКН. Таким образом, алгоритм функционирования системы безопасности полета РКН реализуется штатной аппаратурой системы управления РКН.

Выявление аварийного состояния РКН на этапе полета осуществляется путем контроля состояния бортового цифрового вычислительного комплекса системы управления (БЦВК СУ) и состояния управляемости РКН.

Контроль состояния БЦВК осуществляется бортовой аппаратурой СУ в соответствии с алгоритмами самопроверки БЦВК СУ. В случае фиксации неисправного состояния бортовой компьютер формирует признак «Ненорма БЦВК».

предусматривают контроль предельных угловых рассогласований системы стабилизации по каналам тангажа, рыскания и вращения в программно-связанной системе

координат. В случае превышения угловыми рассогласованиями допустимых значений и совпадения знака рассогласования со знаком скорости его изменения по любому из каналов стабилизации бортовой компьютер формирует признак «Потеря устойчивости движения РКН». Следует отметить, что признак «Потеря устойчивости движения РКН» является комплексным и может быть сформирован при отказах бортовой аппаратуры системы управления, других систем и агрегатов РКН, превышении внешними возмущающими силами и моментами, действующими на РКН на этапе полета, допустимых значений.

Преимуществами такой БАСБП являются:

- снижение массы РКН за счет реализации задач системы безопасности полета штатной аппаратурой системы управления и штатными исполнительными элементами, конструктивно входящими в состав двигательных установок, ПГС, элементов разделения ступеней и отделения полезной нагрузки;

- быстродействие системы. Промежуток времени от момента фиксации аварийного состояния РКН до начала реализации аварийной циклограммы по прекращению активного аварийного полета составляет менее одной десятой доли секунды;

- отсутствие необходимости применения дорогостоящих наземных средств космодрома, обеспечивающих слежение за траекторией полета РКН и передачу команды на борт РКН для прекращения активного аварийного полета РКН.

Несмотря на очевидные преимущества, применяемый ГП «КБ «Южное» вариант СБП имеет недостаток, который не позволяет обеспечить его соответствие требованиям международных нормативных документов по обеспечению безопасности полета РКН, а именно система, обеспечивающая безопасность на этапе полета

РКН, должна быть не зависима от других систем РКН [3].

Выход ГП «КБ «Южное» на международный рынок услуг по разработке средств выведения полезных нагрузок выявил настоятельную необходимость оснащения ракет космического назначения системами безопасности полета, которые были бы не зависимы от других систем РКН и обеспечивали бы полное выполнение требований международных нормативных документов по безопасности полетов РКН, но при этом не требовали значительных затрат на разработку и эксплуатацию, характерных для РКСБП.

Оптимальным решением является создание автономной бортовой системы безопасности полета, которая не использует для целей обеспечения безопасности полета РКН аппаратуру других систем РКН и наземные средства слежения и прекращения полета аварийной РКН.

Принципы построения автономной бортовой СБП

Автономная бортовая СБП представляет собой комплект бортовой аппаратуры, размещаемой на РКН, задачей которой является выявление аварийного состояния РКН и недопущение падения аварийной РКН или ее фрагментов за пределы разрешенной зоны.

Поскольку выявление аварийного состояния осуществляется на борту РКН в процессе полета, то для функционирования БАСБП не требуется применения сложного наземного космодромного комплекса и средств двунаправленной радиосвязи, как для РКСБП, что является бесспорным преимуществом такого варианта реализации.

На рис. 3 приведена структурная схема автономной бортовой СБП.

Автономная бортовая СБП определяет параметры текущего состояния РКН в полете и сравнивает их с аварийными

критериями. В случае обнаружения аварийного состояния РКН бортовая аппаратура СБП осуществляет реализацию действий по прекращению активного аварийного полета.

В состав автономной бортовой СБП входят аппаратура выявления аварийного со-

стояния (АВАС), аппаратура реализации аварийных циклограмм (АРАЦ), автономные дублированные бортовые источники электропитания (БИЭП) и собственные исполнительные элементы аварийного прекращения полета (ИЭ АПП).

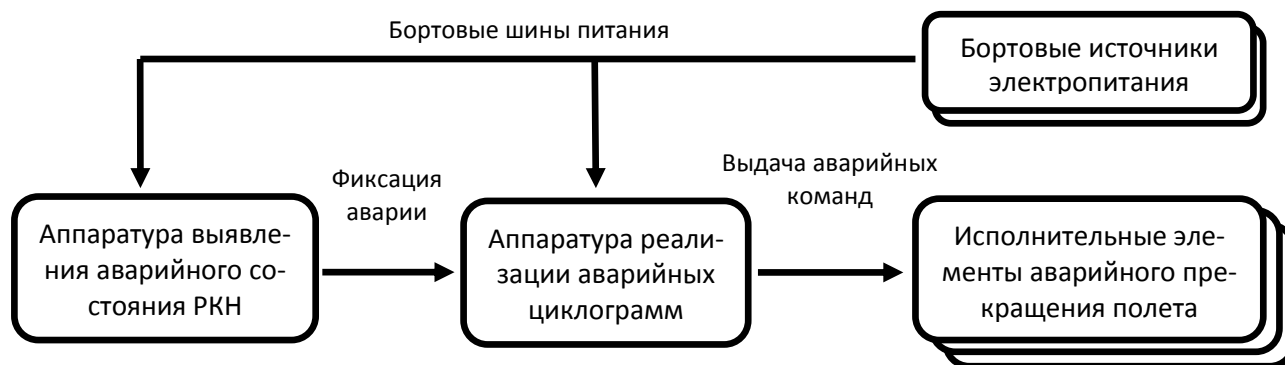


Рис. 2. Структурная схема автономной бортовой СБП РКН

Аппаратура выявления аварийного состояния выполняет задачи определения углового положения РКН, вычисления текущих угловых рассогласований и выявления аварийного состояния РКН.

Функция определения углового положения РКН реализуется на базе инерциальной навигационной системы (ИНС), задачей которой является определение параметров движения ракеты в заданной (навигационной) системе координат. В качестве ИНС целесообразно использовать бесплатформенную ИНС (БИНС), комплексированную с аппаратурой потребителя спутниковой навигационной системы (АП СНС) на базе GPS. Вычисление текущих угловых рассогласований и выявление аварийного состояния ракеты реализуется на базе спецвычислителя, входящего в состав БИНС АВАС.

Критерии выявления аварийного состояния РКН выбираются таким образом, чтобы обеспечить своевременное и достоверное обнаружение аварийного состояния до момента выхода координат возможных точек падения аварийных РКН за пределы границ разрешенной зоны. Одним из оптимальных

критериев оценки состояния РКН является сравнение текущих угловых рассогласований в ИНС с предельно допустимыми угловыми рассогласованиями. Данный параметр является комплексным, поскольку позволяет оценить последствия всех отказов, приводящих к потере управляемости РКН с последующим отклонением от заданной траектории полета РКН.

Аппаратура реализации аварийных циклограмм является координирующим блоком управления автономной бортовой СБП, который обеспечивает:

- прием команды о фиксации аварийного состояния РКН от АВАС;
- реализацию аварийных циклограмм задействования исполнительных элементов, обеспечивающих прекращение активного аварийного полета РКН (ИЭ АПП);
- формирование и выдачу объема телеметрируемой информации о функционировании СБП в систему телеметрических измерений РКН.

Аппаратура реализации аварийных циклограмм представляет собой интегрированную дублированную вычислительную систему на базе современных микро-

контроллеров с подсистемой ввода-вывода команд.

Бортовой источник электропитания СБП обеспечивает электропитание для функционирования аппаратуры СБП, а также для задействования ИЭ АПП при реализации аварийных циклограмм СБП.

Исполнительные элементы прекращения активного аварийного полета РКН представляют собой специальные устройства, которые при задействовании обеспечивают прекращение тяги всех двигательных установок РКН путем разрушения конструкции баков компонентов топлива для предотвращения возникновения факторов, которые могут привести к выходу координат возможных точек падения аварийных РКН за пределы границ разрешенной зоны.

Основные направления разработки автономной бортовой СБП

Предварительный анализ, проведенный на ГП «КБ «Южное» [2], представлен в таблице. Он показывает, что создание автономной бортовой СБП возможно на ГП «КБ «Южное» с участием украинских предприятий ракетно-космической отрасли.

Кооперация украинских предприятий по созданию автономной бортовой СБП

Предприятие	Выполняемые работы	Составная часть автономной бортовой СБП
ГП «КБ «Южное»	Разработка алгоритмов инерциального ядра и комплексной обработки информации инерциального ядра и АП СНС, проведение экспериментальной отработки, выпуск конструкторской документации (КД) на АВАС	АВАС
НПК «Информационные технологии»	Разработка электрических принципиальных схем, конструкции, специального программного-математического обеспечения (ПМО)	АВАС

Предприятие	Выполняемые работы	Составная часть автономной бортовой СБП
	инерциального ядра, изготовление опытных образцов и проведение автономных испытаний инерциального ядра, выпуск КД на БИНС	
ООО «Навис-Украина»	Разработка и изготовление опытных образцов, разработка ПМО и проведение испытаний АП СНС, выпуск КД на АП СНС	АВАС
ГП «КБ «Южное»	Разработка алгоритма функционирования, ПМО, выпуск КД, проведение экспериментальной отработки	АРАЦ
НПФ VD MAIS	Изготовление печатных плат для опытных образцов и штатной аппаратуры	АРАЦ
НПП «Хартрон-Плант»	Изготовление опытных образцов и штатной аппаратуры	АРАЦ
Предприятие	Выполняемые работы	Составная часть автономной бортовой СБП
ГосНИИХП	Разработка КД на инициирующие пиротехнические средства ИЭ АПП	ИЭ АПП
КП «ШКЗ «Импульс»	Изготовление и отработка инициирующих пиротехнических средств ИЭ АПП	ИЭ АПП
НТК "Институт электросварки им. Е.О. Патона"	Разработка, изготовление и отработка разрушающих пиротехнических зарядов ИЭ АПП	ИЭ АПП
ГП «КБ «Южное»	Разработка КД на бортовые источники электропитания	БИЭП
ПО «Киев-прибор»	Изготовление и отработка бортовых источников электропитания	БИЭП

Первоочередным направлением разработки стоит выделить создание аппаратуры выявления аварийного состояния РКН, поскольку при разработке алгоритма функционирования АВАС необходимо применить достаточно сложные технические и программно-алгоритмические решения.

Также относительно новым направлением является разработка конфигурации исполнительных элементов прекращения активного аварийного полета РКН для различных вариантов конструкций ракет, которые будут удовлетворять требованиям международных документов по безопасности.

Аппаратура реализации аварийных циклограмм имеет построение, сходное с типовыми приборами автоматизации, и может быть разработана в более короткие сроки, чем АВАС и ИЭ АПП.

Бортовые источники электропитания являются широко используемыми в ракетно-космической деятельности устройствами, производимыми серийно. Окончательный выбор конкретных БИЭП возможно сделать после разработки остальных составных частей СБП и определения уровня их токопотребления.

По предварительным оценкам сроки разработки опытного образца автономной системы безопасности полета РКН не превышают двух с половиной лет [2].

Кроме того, концепция построения автономной бортовой СБП, как конечной независимой аппаратуры, позволит проводить установку СБП практически на любой ракетный комплекс без привязки к полигону.

Выводы

В настоящей статье представлено обоснование необходимости создания автономной системы безопасности полета РКН, которая позволит обеспечить выполнение требований международных нормативных документов к безопасности полетов РКН.

Определены принципы построения и первоочередные направления работ по созданию автономной системы безопасности

полета для перспективных ракетных комплексов украинской разработки.

Список использованной литературы

1. Конвенция о международной ответственности за ущерб, причиненный космическими объектами. – Принята резолюцией 2777 (XXVI) Генеральной Ассамблеи ООН от 29.11.1971.
2. Идеология построения автономной системы безопасности полета: Техн. отчет / ГП «КБ «Южное». – Днепропетровск, 2015. – 91 с.
3. Требования к безопасности Западного и Восточного полигонов: Заявка на работы по техническому обслуживанию 127-1. Т. 1. – 1997. – С.1-24.
4. Bull James B., Lanzi Raymond J. An Autonomous Flight Safety System. – 2016. – URL: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080044860.pdf>.

Статья поступила 31.10.2016