

УДК 629.7

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
КОСМОДРОМА.
РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

М.И. Макаров¹, д.т.н., профессор, руководитель филиала

А.А. Медведев², д.т.н., генеральный конструктор

Ю.М. Савельев³, к.т.н., главный специалист

В.М. Макаров¹, старший научный сотрудник

¹«НИИ КС им. А.А. Максимова» – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», Московская область, г. Королев, 141091 Россия;

²ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», Москва, 121087 Россия;

³Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос», Москва, 107996 Россия
Автор для переписки, e-mail:

В статье анализируется опыт НИИ КС имени А.А. Максимова по созданию автоматизированной системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры космодрома Плесецк, обосновываются рациональные направления дальнейшего совершенствования технологии информационного обеспечения управления эксплуатацией больших человеко-машинных систем. Приводится ориентировочная оценка эффекта, получаемого в результате внедрения новых информационных технологий в практику управления эксплуатацией объектами наземной космической инфраструктуры космодрома.

Ключевые слова: ракетно-космическая техника, наземная космическая инфраструктура, автоматизированная система, безопасная эксплуатация, мониторинг, адаптивность, масштабируемость, мобильность.

**ROCKET AND SPACE GROUND OPERATION PROVIDED
AUTOMATED SYSTEM.
DECIDED TASKS AND PROGRESS PERSPECTIVES.**

M.I. Makarov¹,

A.A. Medvedev²,

Yu.M. Savelyev³,

V.M. Makarov¹

¹FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center Branch in Korolev City – A.A. Maksimov Space Systems Research Institute, Moscow region, Korolev, 141091 Russia

²FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center, Moscow, 121087 Russia

³State Space Corporation ROSCOSMOS, Moscow, 107996 Russia

@Corresponding author e-mail:

Paper analyzes the experience of the A.A. Maksimov Space Systems Research Institute in the development of automated system providing the reliability and safety of the Plesetsk Cosmodrome rocket and space vehicles and ground space infrastructure facilities operation, formulates rational guidelines of further enhancement of the large man-machine systems operation control informational support technology. Paper gives the rough estimate of the benefit gained as the result of new information technologies introduction into the cosmodrome ground space infrastructure facilities operation control practice.

Keywords: rocket and space vehicles, ground space infrastructure, automated system, safety of operation, monitoring, adaptability, scalability, mobility

В современных условиях повышения значимости и роли космической деятельности в решении научных, социально-экономических и оборонных задач Российской Федерации возникают требования к надежному, безаварийному и безопасному функционированию ракетно-космической техники (РКТ) и объектов космической инфраструктуры (НКИ) космодромов. Обеспечение безопасности применения РКТ и объектов НКИ космодромов – фундаментальный принцип, определяемый законом Российской Федерации о космической деятельности.

Безусловно, максимально эффективная реализация вышеуказанного принципа относится к космодрому Плесецк. В составе космодрома Плесецк функционирует множество потенциально опасных объектов. К числу основных относятся:

- стартовые комплексы с системами заправки компонентами топлив, газоснабжения и нейтрализации;
- заправочно-нейтрализационные станции;
- кислородно-азотный завод;
- командные пункты;
- технические комплексы;
- энергетические установки;
- объекты измерительного комплекса космодрома и др.

К настоящему времени имеет место частичное или полное исчерпание технического ресурса многих используемых элементов оборудования и возрастает риск возникновения аварийных ситуаций в процессе эксплуатации с возможными техногенными экологическими и гуманитарными последствиями, а также существенными финансовыми затратами на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций. В современных условиях нельзя исключать также проявление по отношению к объектам космической инфраструктуры угроз природного и террористического характера.

Реальным путем решения проблемных задач повышения надежности и безопасности функционирования объектов НКИ космодрома явились разработка и создание автоматизированной системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации (СОНБЭ) ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры космодрома Плесецк.

Разработка и создание этой системы для космодрома Плесецк выполнены в период с 2009 по 2013 гг. ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» совместно с другими предприятиями – соисполнителями в рамках Государственной программы вооружений на 2007–2015 годы на основании совместного решения Коллегии Росавиакосмоса и Военного совета Космических войск от 05.03.2003 № 3р (Госконтракт № К-29-03-09 от 19.10.2009 г. между Министерством обороны и ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» и тактико-техническое

задание Минобороны России) с учетом требований Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 года № 603. Разработке и созданию системы предшествовал десятилетний опыт наработки научно-технического и конструкторского задела в рамках выполнения научно-технических программ Союзного государства «Космос-БР» (1999–2002 гг.), «Космос-СГ» (2004–2007 гг.), «Космос-НТ» (2008–2011 гг.), Федеральной целевой программы «Электронная Россия» (2002–2004 гг.) при головной роли ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» (НИИ космических систем имени А.А. Максимова).

В процессе реализации программ выполнены и разработаны [1–5]:

- исследования процессов эксплуатации ракетно-космической техники и отдельных объектов наземной космической инфраструктуры с определением факторов, определяющих надежность и безопасность их функционирования;
- математические, информационные и программные модели выборочных процессов эксплуатации РКТ и НКИ;
- исследования теоретических и практических проблем обеспечения безопасности и надежности функционирования РКТ и НКИ, моделирование аварийных ситуаций контроля и оценки безопасности;
- методы парирования и исследования причин возникновения нештатных (аварийных) состояний РКТ и НКИ;
- методы и средства технического диагностирования средств наземных комплексов, стартового оборудования, технологического оборудования опасных процессов с использованием автоматизированных измерительных и экспертных систем, технологий и методов, основанных на физических принципах определения причин изменения состояния систем в процессе эксплуатации комплексов.

Созданная система предназначена для комплексного автоматизированного оперативного обеспечения органов управления, разработчиков и изготовителей РКТ и НКИ космодрома Плесецк первичной и обобщенной эксплуатационной информацией о результатах применения космических средств по назначению, их техническом состоянии, надежности и безопасности.

Созданная территориально распределенная информационно-аналитическая система состоит из автоматизированных рабочих мест (АРМ), созданных на базе персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ) трех типов (стационарных, мобильных и переносных), комплектуемых приборным оборудованием различного назначения. В состав приборного оборудования включены несколько типов приборов, в том числе приборы неразрушающего контроля, измерительные, связные, навигационные и др.

Все АРМ включены в состав единой локальной вычислительной сети, обеспечивающей обмен эксплуатационной информацией в позиционном районе космодрома. АРМ системы обеспечивают автоматизацию деятельности должностных лиц космодрома различных категорий – от номеров расчетов до руководителей высшего уровня.

Основу автоматизированной обработки эксплуатационной информации составляет специальное программное обеспечение, включающее 56 типов программных комплексов, базируемых на математических и информационных моделях, а также алгоритмах, описывающих наиболее значимые процессы управления эксплуатацией.

Топология телекоммуникационно-компьютерных средств автоматизированной системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации НКИ и РКТ космодрома Плесецк представлена на рис. 1.

Система обеспечения надежной и безопасной эксплуатации РКТ и НКИ космодро-

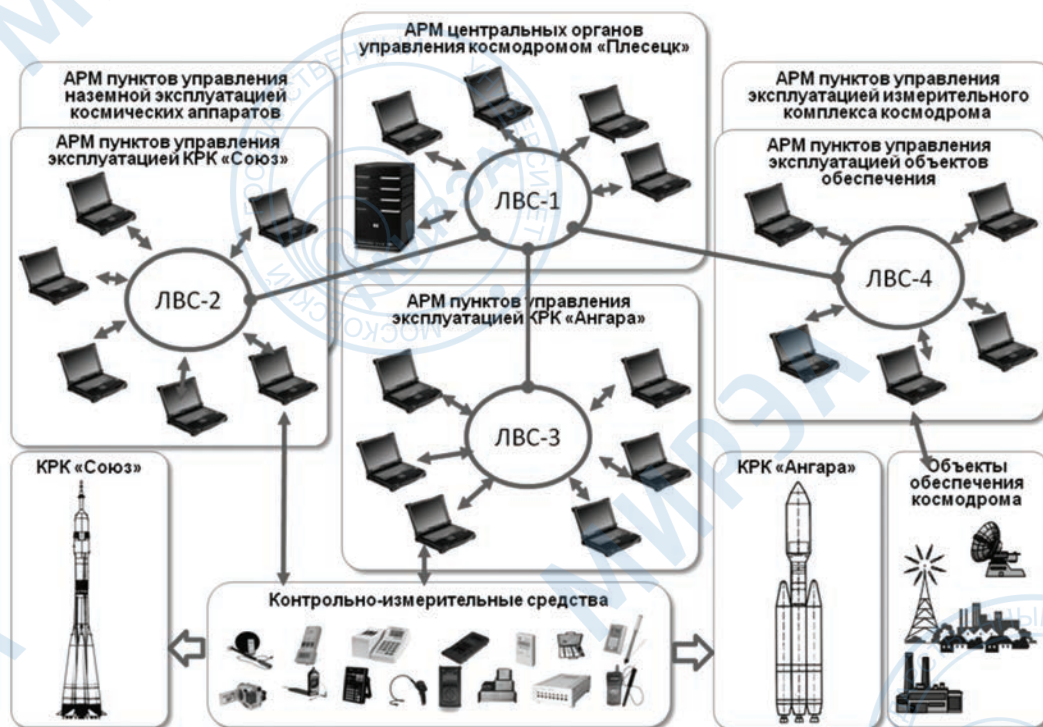


Рис. 1. Структура системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации НКИ и РКТ космодрома Плесецк.



Рис. 2. Основные комплексы задач системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации НКИ и РКТ космодрома Плесецк.

ма Плесецк обеспечивает автоматизированное решение следующих основных комплексов задач (рис. 2).

Первый комплекс задач – комплекс мониторинга технического состояния объектов РКТ и НКИ космодрома (КМТС). Данный комплекс предназначен для автоматизированного:

- измерения параметров технического состояния (ТС) типовых элементов оборудования НКИ;
- передачи информации от приборов измерения параметров технического состояния типовых элементов оборудования НКИ на персональную электронную вычислительную машину (ПЭВМ), обработку и хранение этой информации;
- выявления отказов, дефектов и повреждений, имевших место при испытаниях, пуске и полете объектов РКТ;
- анализа результатов измерений, идентификации и прогнозирования предотказных и неработоспособных состояний типовых элементов оборудования НКИ;
- контроля рисков эксплуатации потенциально опасных объектов РКТ и НКИ;
- анализа статистики неисправностей, отказов, происшествий, а также причин, механизмов и условий их возникновения и развития;
- расчета оценок показателей надежности и безопасности отдельных элементов конструкции космических средств, а также элементов конструкции опасных промышленных объектов космической инфраструктуры (сосудов, работающих под давлением, грузоподъемных механизмов, емкостей для хранения токсичных жидкостей и газов и др.).

Объектами мониторинга технического состояния являются: критичные элементы конструкции объектов НКИ и РКТ из металла, композиционных материалов, стекла, пластика; емкости для хранения токсичных и взрывоопасных жидкостей и газов; объекты Гостехнадзора; специальные транспортные средства; особо ответственные грузы.

Контролируемые параметры технического состояния объектов РКТ и НКТ: температура; давление; вибрации; электрический ток; электромагнитное поле; характеристики свойств конструкционных материалов; геометрические размеры элементов конструкции; положение и перемещение элементов конструкции в пространстве и др.

Второй комплекс задач – комплекс поддержки принятия решений по управлению эксплуатацией РКТ и НКИ (КППР). Он обеспечивает автоматизированную информационную поддержку принятия решений по вопросам технического обслуживания, а также подготовки к применению и применения космических средств, в том числе:

- поддержку принятия решений по вопросам подготовки и проведения пусков ракет космического назначения (РКН) на стартовом и техническом комплексах;
- представление интегрированной информации для анализа и принятия решений при возникновении нештатных ситуаций, организации аварийно-спасательных работ;
- ведение архива эксплуатационной документации по системам и агрегатам РКТ;
- получение иерархического и табличного представления фактического состава эксплуатируемого оборудования поиск и выбор объектов по заданному условию;
- просмотр графических данных о составе, размещении, внешнем виде объектов, на которых осуществляется эксплуатация РКТ, а также эксплуатируемых образцов космических средств;
- ведение данных о действиях расчетов (в том числе, об ошибочных действиях) при выполнении технологических операций в процессе эксплуатации РКТ, ведение данных о нештатных ситуациях при проведении работ на РКТ;

- планирование и учет ремонтных работ, доработок и поставок материальных средств, учет личного состава, эксплуатирующего системы и агрегаты ТК и СК;
- проведение аттестации, анализа, количественной оценки и контроля надежности действий расчетов при проведении работ на РКТ;
- расчет вероятности успешного выполнения технологического процесса заданным составом расчетов, в том числе, при возникновении нештатных ситуаций;
- планирование и контроль исполнения технологических графиков подготовки и применения систем и агрегатов РКТ по назначению;
- контроль экономических факторов эксплуатации.

При разработке программного комплекса задач КППР в качестве объектов ситуационного моделирования рассматривались процессы подготовки информации (с использованием 3D-изображений оборудования стартовых и технических комплексов) и расчетных данных для принятия решений при управлении различными технологическими процессами, в том числе, моделировалось возникновение нештатных и аварийных ситуаций на опасных производственных объектах наземной космической инфраструктуры.

Третий комплекс задач – комплекс обеспечения безопасности пусков ракет космического назначения (КОБПР) предназначен для автоматизированной оценки и прогнозирования безопасности в позиционном районе космодрома в период подготовки и проведения пусков ракет. Основные задачи комплекса:

- оценка и контроль безопасности в период повседневной эксплуатации космических средств космодрома, а также на этапах подготовки к пуску и пуска ракет космического назначения (РКН), инструментальный контроль безопасности рабочих мест и мест падения отделяющихся частей РКН;
- топопривязка мест падения отделяющихся частей РКН, документирования событий;
- количественная оценка и контроль показателей безопасности рабочих мест на объектах эксплуатации РКТ;
- контроль уровня безопасности в период подготовки к пуску ракет космического назначения (РКН), по трассам полета РКН и в районах падения отделяющихся частей РКН;
- прогнозирование последствий чрезвычайных ситуаций космического характера в позиционном районе космодрома, по трассам полета РКН и в районах падения отделяющихся частей РКН;
- поддержка принятия решений при проведении работ по локализации и ликвидации последствий аварийных пусков РКН.

Объектами математического моделирования и автоматизации являются процессы измерения показателей безопасности на объектах эксплуатации, подготовки информации и расчетных данных для принятия решений при обеспечении безопасности пусков РКН, в том числе, в условиях возникновения нештатных ситуаций на объектах эксплуатации РКТ.

Измеряемые и контролируемые параметры: температура и влажность воздуха; направление и сила ветра; характеристики ландшафта местности; концентрация токсичных газов; освещенность; уровень звука; напряженность электрического поля; плотность магнитного потока; напряженность постоянного магнитного поля; напряженность электростатического поля; уровень оксидов азота; уровень радиации и др.

Четвертый комплекс задач – комплекс анализа надежности, безопасности, планирования эксплуатации НКИ и РКТ космодрома (КАНБП). Данный комплекс является центральным звеном системы, координирующим взаимодействие всех составных частей.

Комплекс предназначен для автоматизированного (на основе электронного документооборота) сбора, обработки, анализа и передачи информации о результатах эксплуатации, техническом состоянии, надежности и безопасности космических средств космодрома. Основными решаемыми в автоматизированном режиме задачами являются следующие:

- прием информации о надежности, безопасности и результатах эксплуатации РКТ и НКИ космодрома Плесецк от смежных систем;
- накопление и хранение в базе данных первичной и обработанной информации о надежности;
- учет информации о результатах эксплуатации изделий РКТ и формирование первичных информационных документов об отказах, неисправностях, результатах испытаний и эксплуатации изделий РКТ;
- сбор, обработка, систематизация, передача и хранение информации, содержащейся в документах системы информации о техническом состоянии и надежности космических комплексов;
- статистическая обработка информации, содержащейся в формализованных информационных документах, анализ причин возникновения отказов и неисправностей;
- формирование системы исходных данных, необходимых для количественной и качественной оценки надежности и безопасности изделий РКТ, определения тенденций их изменения в процессе испытаний и эксплуатации;
- проведение расчетов значений показателей надежности и безопасности изделий РКТ;
- количественная оценка тенденций изменения надежности и безопасности изделий РКТ в процессе эксплуатации;
- информационная поддержка принятия решений по вопросам технического обслуживания и применения оборудования объектов НКИ;
- обеспечение документооборота по вопросам безопасности и надежности НКИ, а также организации эксплуатации и применения оборудования объектов НКИ;
- количественная оценка качества работ, выполняемых эксплуатирующими организациями, а также оценка состояния информационной работы в подразделениях космодрома;
- выявление причин и факторов, приводящих к отказам, инцидентам, авариям, катастрофам;
- планирование профилактики и предотвращение происшествий на объектах РКТ и НКИ.

Объектами математического моделирования и автоматизации являются процессы сбора, обработки, передачи, хранения и анализа документально оформленной информации о техническом состоянии, надежности и безопасности, а также процессы оценки надежности и безопасности эксплуатируемых изделий ракетно-космической техники.

В основу построения системы СОНБЭ положены: современные средства технического и общего программного обеспечения (ОПО), разработанные высокоинтеллектуальные средства информационного (ИО), специального программного (СПО) и лингвистического (ЛО) обеспечения решения комплексов задач эксплуатации РКТ и НКИ космодрома. При создании средств ИО, СПО и ЛО реализованы такие свойства автоматизированных систем, как адаптируемость, масштабируемость, мобильность.

Адаптируемость обеспечивает решение прикладных задач эксплуатации в различных вычислительных средах и конфигурациях компьютерного оборудования, расширение круга решаемых задач, создание интерфейсов взаимодействия должностных лиц органов управления эксплуатацией с комплексом решаемых задач и смежными информационными си-

стемами космодрома, длительный жизненный цикл функционирования комплексов задач.

Масштабируемость определяет способность ИО, СПО и ЛО справляться с увеличением рабочей нагрузки (производительности) системы СОНБЭ, связанной с добавлением сетевых ресурсов (аппаратных, баз данных, входных и выходных сообщений).

Мобильность характеризует возможности переноса с минимальными изменениями средств ИО, СПО и ЛО системы СОНБЭ на широкий диапазон информационных платформ (вычислительных сред), функционирующих на других объектах космических войск (КВ), в частности, на объектах Воздушно-космических сил (ВКС) в целом; создания иерархических и сетевых структур взаимосвязанных вычислительных процессов в рамках единого информационного пространства КВ и ВКС.

По предварительным оценкам разработчиков системы СОНБЭ, эксплуатация такой системы на космодроме Плесецк позволит обеспечить:

- повышение степени предотвращения нештатных (аварийных) ситуаций при подготовке и проведении пусков ракет на 70–80%;
- повышение оперативности подготовки данных о техническом состоянии и надежности РКТ и НКИ космодрома в 10–12 раз;
- повышение оперативности решения задач управления в системе эксплуатации космодрома в 1.5–2 раза;
- сокращение текущих эксплуатационных расходов на 15–20%;
- среднестатистический предотвращенный ущерб от нештатных (аварийных) ситуаций до 50–70 млн. руб. в год;
- окупаемость затрат на создание системы – до 5 лет.

Перечисленные свойства эксплуатируемой на космодроме Плесецк системы СОНБЭ определяют потенциал ее развития и возможность промышленного внедрения технологий системы в центральном звене управления и на других объектах КВ, а также объектах ВКС и на космодроме Восточный. В первую очередь, целесообразно взять технологии СОНБЭ в качестве прототипа для разработки и создания на космодроме Восточный аналогичной системы СОНБЭ-В. Создаваемые на космодроме Восточный объекты РКТ и НКИ являются техническими объектами повышенной опасности, обеспечивающими проведение дорогостоящих пусковых кампаний по выводу на орбиту космических аппаратов различного назначения. Задержки пусков или аварии, возникающие вследствие отказов наземного оборудования, приводят к необходимости проведения длительных восстановительных работ, к многомиллиардным штрафным выплатам заказчикам пусковых услуг, а также к снижению рейтинга России на мировом рынке космических услуг. В связи с этим все потенциально опасные объекты РКТ и НКИ космодрома Восточный в процессе эксплуатации должны быть под непрерывным контролем и управлением их техническим состоянием. В процессе решения данной задачи в настоящее время недостаточно полно реализуется комплексный подход, фрагментарно используются существующие технологии контроля состояния потенциально опасных объектов и технологий. Не в полной мере используются возможности современных программно-технических средств обработки информации и современных телекоммуникационных технологий.

В перспективе на космодроме Восточный будут создаваться новые ракетно-космические комплексы с применением РКТ «Ангара-А5» и «Ангара-5В», использующих потенциально-опасные кислородно-водородные технологии в комплексе разгонного блока «КВТК», в третьей ступени ракеты-носителя и на объектах НКИ космодрома. Обеспечение выполнения требований по надежному и безопасному применению таких техноло-

гий невозможно без внедрения автоматизированной системы мониторинга, управления надежной и безопасной эксплуатацией, задачи которой должны быть возложены на систему СОНБЭ-В. Создание такой системы поддержано решением выездного заседания Комитета Совета Федерации по обороне и безопасности 16 сентября 2014 года на космодроме Восточный и рекомендовано включить работу по созданию системы в состав мероприятий проекта ФЦП «Развитие российских космодромов на 2016–2025 годы».

Литература:

1. Макаров М.И., Рудаков В.Б., Попов Л.И., Бурцев А.С., Эртман Л.И., Савельев Ю.М. Создание и перспективы развития автоматизированной системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации НКИ космодрома // Актуальные проблемы российской космонавтики: Материалы XXXVIII академических чтений по космонавтике (28–31 января 2014 г.) / Под ред. А.К. Медведевой: Тез. докл. – М.: Комиссия РАН, 2014. С. 284–286.
2. Система обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры космодрома Плесецк. Часть 1. Описание и характеристика системы обеспечения надежной эксплуатации РКТ и наземной космической инфраструктуры космодрома Плесецк. Технический проект. Пояснительная записка. АУВМ.466453.004ПЗ. М.: НИИ КС, 2011. 509 с.
3. Макаров М.И., Макаров С.М. Перспективная автоматизированная система комплексного мониторинга объектов космической инфраструктуры // Ракетно-космическая техника. Информационные системы и технологии. Научные труды. В 2-х томах. Т. 2 / Под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора М.И. Макарова. М.: НИИ КС имени А.А. Максимова, 2012. С. 4–21.
4. Макаров М.И., Королев А.Н., Павлов С.В. Комплекс технологий оперативного контроля состояния потенциально опасных объектов // Ракетно-космическая техника. Информационные системы и технологии. Научные труды. В 2-х томах. Т.2 / Под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора М.И. Макарова. М.: НИИ КС имени А.А. Максимова, 2012. С. 106–111.
5. Макаров М.И., Медведев А.А., Иванов В.Л. Концептуальные основы создания автоматизированной системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры (АСОНБЭ) космодрома Восточный // Двойные технологии. 2015. № 2 (71). С. 10–18.