НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОСМОДРОМОВ

М.М. Пеньков, доктор техн. наук, профессор
Г.Д. Петров, доктор техн. наук, профессор
А.И. Птушкин, канд. техн. наук, профессор
Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского»
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Уже более 20 лет Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского совместно с предприятиями космической отрасли осуществляет научно-техническое сопровождение эксплуатации объектов космодрома Байконур, информационно-аналитической базой которого является мониторинг технического состояния оборудования и сооружений этих объектов. В статье представлены результаты анализа этого опыта, опыта организации эксплуатации ракетно-космической техники на иностранных космодромах, а также изучения отечественных и зарубежных работ, посвященных теории и практике эксплуатации сложных технических объектов. Эти результаты оформлены в виде ряда концептуальных положений (принципов), которые, по мнению авторов, должны быть положены в основу концепции построения системы эксплуатации новых космодромов и модернизации действующих. Полноценная реализация этих принципов возможна только при широком применении современных информационных технологий при управлении эксплуатацией объектов космодромов. Разработаны требования к составу автоматизированной системы управления эксплуатацией космодрома и функциональному назначению ее подсистем.

Ключевые слова: космодром, система эксплуатации, научно-техническое сопровождение, мониторинг, автоматизированная система управления, информационные технологии, техническое обслуживание, инфокоммуникационная система.

NEW PRINCIPLES OF OPERATION SPACEPORT DEVELOPMENT

M.M. Penkov, Doctor of Techn. Sciences, Professor
G.D. Petrov, Doctor of Techn. Sciences, Professor
A.I. Ptushkin, Cand. of Techn. Sciences, Professor
Federal state military educational institutions Higher Professional Education
A.F. Mozhaisky Military Space Academy
St. Petersburg, Russian Federation

More than 20 years the A.F. Mozhaisky Military space academy together with the enterprises of space branch carries out scientific and technological support facilities operation of the Baikonur cosmodrome which information and analytical base is condition monitoring of the equipment and constructions of these objects. Results of the analysis of this experience, experience of operation and maintenance of the missile and space equipment at the foreign spaceports, and also studying of the domestic and foreign works devoted to the theory and practice of operation of difficult technical objects are presented in article. These results are issued in the form of a number of conceptual provisions (principles) which, according to authors, have to be the basis for the concept of creation of system of operation of the new spaceports and modernization of the

operating. Full realization of these principles is possible only at broad application of modern information technologies at management of operation of objects of the spaceports. Requirements to structure of an automated control system for operation of the spaceport and functional purpose of its subsystems are developed.

Keywords: cosmodrome, system operation, scientific and technical support, monitoring, automated system management, information technology, maintenance, information and communication system.

Введение

В настоящее время человечество все больше и больше зависит от качества услуг, которыми оно пользуется, например, таких как электроснабжение, регулярная работа транспорта, космические услуги. Больше чем когда-либо оно стало зависеть от обеспечения бесперебойной работы сложных технических объектов (СТО). В ряде случаев их отказ приводит не только к потере прибыли или перерывам в предоставлении услуг, но и ставит человечество на грань выживания. Пример этому катастрофа на Чернобыльской АЭС. При этом качество услуг, предоставляемых СТО, к числу которых относятся и объекты космодромов, в значительной степени стало зависеть от организации их эксплуатации.

За последние 30 лет в характере эксплуатационной деятельности на объектах космодрома произошли существенные изменения. Эти изменения обусловлены увеличением числа, разнообразия и сложности оборудования и сооружений, входящих в состав космодромов, необходимостью обеспечения их длительной эксплуатации и снижения стоимости жизненного цикла, появлением новых методов и средств контроля их технического состояния (ТС), а также изменившимися взглядами на эксплуатационную деятельность и степень ответственности за ее результаты. Все это привело к тому, что эксплуатационная деятельность, ранее рассматривавшаяся как инженерно-техническая, приобрела научно-технический характер. Появилась необходимость разработки и применения новых подходов к построению системы эксплуатации (СЭ) космодромов.

На основе изучения отечественных [1…12] и зарубежных [13…17] работ, посвященных теории и практике эксплуатации СТО, а также анализа многолетнего опыта научно-технического сопровождения эксплуатации объектов космодрома Байконур, осуществляемого Военно-космической академией имени А.Ф. Можайского совместно с предприятиями космической отрасли, разработан ряд концептуальных положений (принципов), которые, по мнению авторов, могут быть положены в основу концепции создания СЭ новых космодромов и модернизации действующих.

Принцип 1. Управление жизненным циклом объектов космодрома – необходимое условие обеспечения высокого качества их эксплуатации

Проблема повышения качества эксплуатации объектов космодромов всегда была актуальной. Однако сейчас решение этой проблемы приобрело особое значение в связи с необходимостью обеспечения их длительного функционирования.

Качество ракетно-космической техники и другой продукции, используемой в объектах космодромов, закладывается на ранних стадиях ее жизненного цикла (ЖЦ) и реализуется на стадии эксплуатации. Поэтому для обеспечения требуемого качества ее эксплуатации необходимо осуществлять контроль характеристик этого качества на всех этапах ЖЦ и в случае необходимости использовать результаты контроля для формирования соответствующих управляющих воздействий, как на текущую стадию, так и на стадии ей предшествующие. При этом для формирования управляющих воздействий целесообразно использовать информацию о всем многообразии факторов, влияющих на качество продукции: технических, технологических, экономических и организационных (рис. 1). Такой подход к управлению качеством продукции в современной литературе по менеджменту называют теротехнологическим [18, 19].

Его цель – снижение стоимости ЖЦ продукции и увеличение продолжительности ее эксплуатации при условии выполнения требований к целевым характеристикам. Использование этого подхода способствует снижению удельных капитальных затрат, текущих затрат, связанных с применением и обслуживанием оборудования, улучшению его состояния и

увеличению срока службы, сокращению потерь от выхода из строя оборудования, совершенствованию процесса принятия решений.

Принцип 2. Проектирование системы эксплуатации объектов космодрома должно проводиться исходя из множественности ее целей

Этот принцип указывает на необходимость рассмотрения уже на этапе концептуального проектирования системы эксплуатации объектов космодрома большего числа целей, которые должны достигаться на этой стадии ЖЦ космодрома и изменения взглядов на важность достижения каждой из них. Необходимость применения этого принципа диктуется изменением состава эксплуатационных требований, которое произошло в середине 90-х годов XX в.

Традиционно синтез системы эксплуатации СТО осуществлялся исходя из следующей постановки задачи: обеспечить требуемую готовность оборудования при минимальных затратах или максимальную готовность при ограниченном финансировании. Если в 1960–1970 гг. такой подход был еще приемлем, то в настоящее время его следует признать сильно упрощенным. На самом деле требуется обеспечение не только требуемой готовности оборудования, но и безопасности обслуживающего персонала, отсутствия вредного влияния на окружающую среду, ресурсосбережения и качества пусковых услуг на уровне требований мировых стандартов. При этом вопросы безопасности персонала, а также сохранения природной среды должны быть приоритетными, так как запуски космических аппаратов (КА) и выполнение ряда работ, их обеспечивающих, сопряжены с серьезной опасностью. Не случайно из четырех руководящих принципов организации работ на космодроме имени Дж. Кеннеди: обеспечение безопасности персонала, коллективная работа, основанная на доверии, полное удовлетворение требований заказчика, минимизация ущерба окружающей среде и ресурсосбережение два принципа относятся к сфере безопасности.

Принцип 3. Оптимальное сочетание различных стратегий технического обслуживания и ремонта – важный фактор снижения эксплуатационных затрат

В течение длительного времени для поддержания готовности оборудования объектов космодромов к применению использовалась жесткая стратегия технического обслуживания (ТО): календарная или по наработке. Однако по мере развития средств и методов контроля, особенно физических методов неразрушающего контроля, и средств обработки информации появилась возможность использования и других стратегий управления ТС оборудования. При этом следует заметить, что эволюция этих стратегий характеризуется не заменой предшествующей стратегии на более совершенную

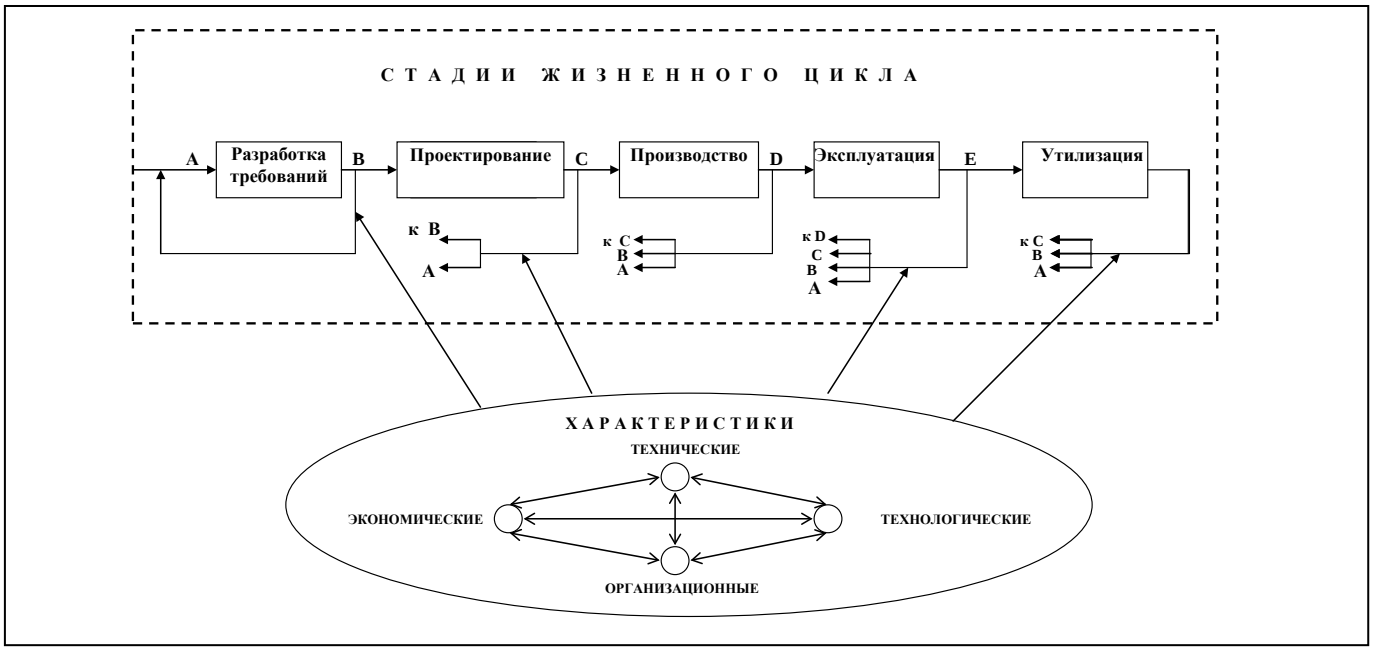


Рис. 1. Многоконтурная система управления ЖЦ космодрома, основанная на использовании теротехнологического подхода

стратегию, а наращиванием их арсенала, который позволит перейти к индивидуальной эксплуатации оборудования.

Необходимость индивидуального подхода к выбору стратегии поддержания готовности оборудования к применению диктуется не только различными последствиями его отказов, но и возможностями выявления его предотказного состояния, а также рядом другим факторов. В зависимости от сочетания этих факторов для отдельных видов оборудования могут быть применены следующие стратегии их ТО: календарная, по наработке, ТО на основе текущих и прогнозных оценок состояния оборудования, полученных в результате мониторинга и ТО на основе оценки риска эксплуатации оборудования. Для оборудования, в котором могут иметь место скрытые отказы необходимо предусматривать дополнительное диагностирование. В случае неэффективности применения названных стратегий требуется модернизация оборудования. Важнейшей задачей эксплуатационного персонала является обоснование выбора стратегии управления ТС каждого агрегата (системы). Однако строгих методов решения этой задачи до настоящего времени не предложено как у нас в стране, так и за рубежом. Для ее решения используются деревья решений, при анализе которых решающие правила формулируются экспертами (рис. 2).

Принцип 4. Замена капитальных ремонтов ремонтно-профилактическими и ремонтно-восстановительными работами распределенными во времени

Продолжительность стадии эксплуатации объектов космодромов в силу их уникальности и высокой стоимости создания должна составлять не менее 50–60 лет. Существующая в настоящее время календарная (по наработке) стратегия планирования всех видов ремонтных работ, включая и такие трудоемкие, как капитальные, является чрезвычайно затратной и потому в ряде случаев не реализуемой. Внедрение в практику эксплуатации ряда объектов космодромов стратегии планирования ремонтов на основе выявления «предвестников отказов» и прогнозирования моментов наступления отказов, предложенной в [8, 12], позволило получить существенный экономический эффект как за счет снижения эксплуатационных расходов, так и за счет уменьшения времени, в течение которого объекты выводятся из эксплуатации.

Принцип 5. После длительной эксплуатации оборудования стратегии его обслуживания должны формулироваться персоналом, непосредственно отвечающим за его эксплуатацию

Традиционно стратегии обслуживания оборудования формулируются на стадии его

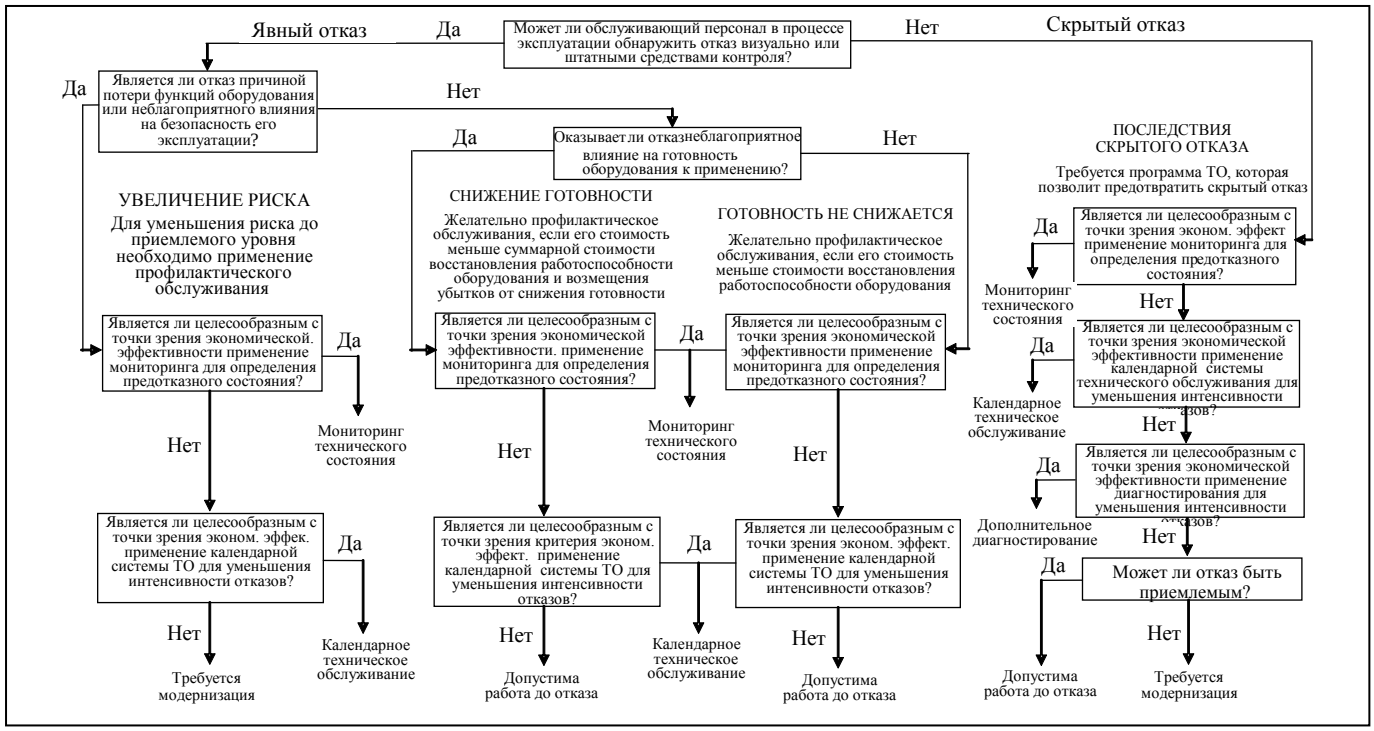


Рис. 2. Логическое дерево выбора стратегии управления ТС оборудования

разработки. Однако после длительной эксплуатации оборудования, которая характерна для объектов космодромов, целесообразно к корректировке этих стратегий привлекать персонал, непосредственно отвечающий за эксплуатацию оборудования. Задача менеджмента (разработчиков и органов управления эксплуатацией) – вооружить этот персонал инструментарием, необходимым для принятия правильного решения и проследить за тем, чтобы принимаемое решение было обоснованным и обеспечивало безопасность выполнения работ [14].

Принцип 6. Каждое решение, принимаемое в процессе эксплуатации, должно сопровождаться оценкой риска неблагоприятного результата его выполнения

В современном техногенном обществе «цена» ошибки при принятии решения чрезвычайно высока. Безусловно, она высока и в такой области как эксплуатация объектов космодромов, значительная часть которых является потенциально опасными. Поэтому важно уметь оценивать риск принимаемых решений и в случае неблагоприятной оценки принимать меры к его снижению. В настоящее время методологическая база для оценки риска неблагоприятного результата принимаемого решения уже создана [16, 17] и ее применение позволит оптимизировать процесс эксплуатации с точки зрения обеспечения ее безопасности и экономичности.

Принцип 7. Научно-техническое сопровождение эксплуатации объектов космодрома на основе мониторинга их системы эксплуатации

Почти 20 лет Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского совместно с предприятиями космической отрасли осуществляет научно-техническое сопровождение эксплуатации стартовых комплексов космодрома Байконур, информационно-аналитической базой которого является мониторинг ТС оборудования и сооружений этих комплексов.

Многолетний опыт организации управления техническим состоянием стартовых комплексов и некоторых других объектов космодромов на основе его мониторинга продемонстрировал правильность такого подхода, ибо мониторинг, прежде всего, позволил предотвращать отказы критического оборудования, которые приводят к тяжелым последствиям. Одновременно с этим он позволил выявить целесообразность распространения мониторинга СЭ объектов космодромов в целом. Однако СЭ объектов космодромов является организационно-технической системой и ее состояние определяется состоянием всех ее компонент. Причиной снижения эффективности функционирования СЭ может служить неудовлетворительное состояние каждой из них. В связи с этим для эффективного управления текущим состоянием и развитием СЭ объектов космодромов в [8, 11, 20] предложена концепция, предусматривающая мониторинг всех ее компонент, а также окружающей среды и экономических вопросов ее функционирования. Всеобъемлющий характер такого мониторинга позволяет назвать его тотальным или комплексным.

На первых этапах становления системы мониторинга на космодроме Байконур контроль состояния оборудования его объектов осуществлялся, как правило, только до начала его функционирования и в некоторых случаях после окончания. Полученная при этом информация не позволяла с высокой достоверностью прогнозировать значения параметров оборудования, которые будут иметь место в процессе его функционирования. В начале 2000-х гг. был предложен новый подход к формированию методологии оценивания ТС механического оборудования стартовых комплексов [21]. Эта методология включает в себя:

– концепцию и методы агрегирования частных показателей ТС оборудования в интегральный показатель, который может являться основой для продления сроков его эксплуатации;

– комплекс моделей, состоящий из проектных моделей функционирования и корректируемых в процессе эксплуатации моделей его деградации. Такие модели составляют новый атрибут обеспечения эксплуатации – специальное математическое обеспечение процесса мониторинга для каждого индивидуального объекта. Оно должно содержать базу данных (БД) с зависимостями режимных параметров оборудования от характера и степени его деградации. Это позволит судить о процессах деградации в объекте без его демонтажа.

Принцип 8. Дополнительная ориентация обслуживающего персонала на необходимость исследования оборудования в процессе его эксплуатации

Несмотря на то, что в эксплуатационной деятельности все больший удельный вес

приобретает деятельность научно-технического характера, связанная с исследованием функционирования объекта эксплуатации в различных условиях, особенно, после многократных продлений срока службы (ресурса), содержание специальной подготовки эксплуатационного персонала по-прежнему ориентировано на усвоение директивных действий, предписанных теми или иными документами. Необходимо включение в программы специальной подготовки вопросов изучения средств и методов исследования оборудования, позволяющих обосновывать предложения, направленные на обеспечение надежности и безопасности его эксплуатации, а также снижение эксплуатационных расходов.

Принцип 9. Индивидуализация обучения обслуживающего персонала на основе применения компьютерных технологий

В настоящее время в системе подготовки эксплуатационного персонала используется групповой метод обучения. Однако в последние годы все более доступными становятся компьютерные технологии индивидуального обучения. Разновидностью таких технологий являются космические образовательные технологии, позволяющие организовать как групповое, так и индивидуальное дистанционное обучение эксплуатирующего персонала космодромов ведущими вузами космической отрасли. Использование таких технологий, безусловно, повысит качество подготовки эксплуатирующего персонала.

Принцип 10. Система эксплуатации объектов космодрома должна быть ориентирована не только на обеспечение запусков КА в интересах решения задач по федеральным программам, но и на обеспечение коммерческих запусков

Анализ развития системы эксплуатации объектов космодрома [22] показывает, что при ориентации СЭ только на решение задач в интересах национальной безопасности и ФКП (рис. 3) имеет место определенное сдерживание ее развития в связи с остаточным подходом к его финансированию.

Вследствие наличия экономических ограничений существующая наземная база эксплуатации ракетно-космической техники (РКТ), подвергалась лишь частичным усовершенствованиям. Однако в настоящее время расширение услуг по коммерческим запускам КА позволяет ослабить действие экономических ограничений, вплоть до достижения полной окупаемости функционирования космических систем. Реализуемые при этом экономические связи приведены на рисунке 4.

Полноценная реализация рассмотренных принципов возможна только при широком применении современных информационных технологий при управлении эксплуатацией объектов космодромов. Система управления эксплуатацией космодрома должна проектироваться одновременно с проектированием его объектов как подсистема автоматизированной системы управления (АСУ) космодромом.

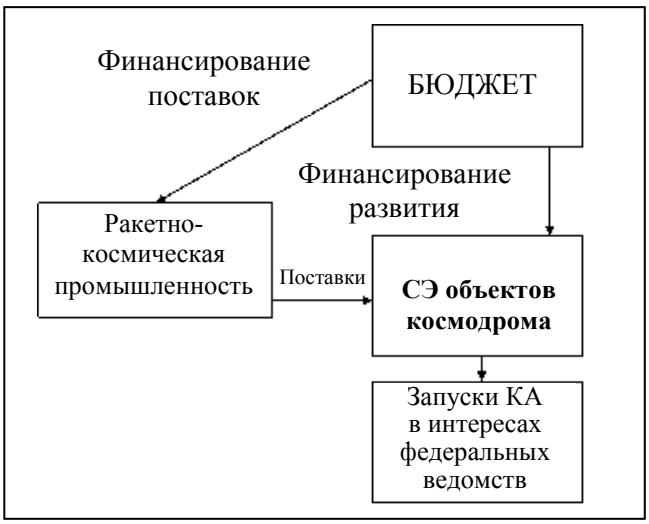


Рис. 3. Схема экономических связей при ориентации СЭ объектов космодрома только на федеральные интересы

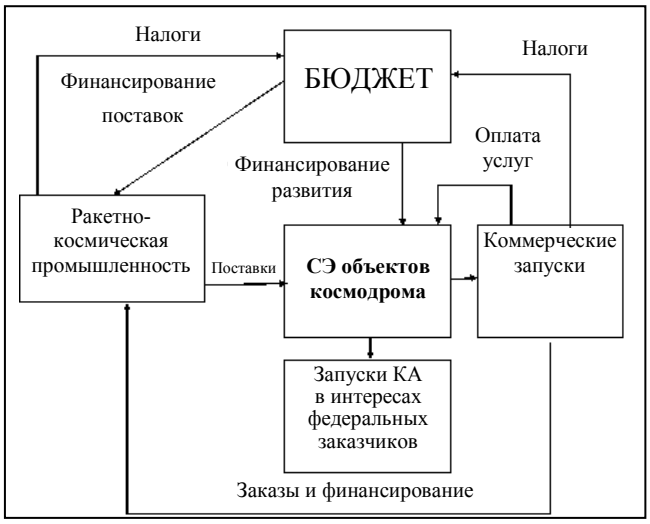


Рис. 4. Схема экономических связей при ориентации СЭ объектов космодрома, как на интересы федеральных ведомств, так и на коммерческие запуски КА

Назначение и состав АСУ эксплуатацией космодрома

АСУ эксплуатацией (АСУЭ) космодрома предназначена для обеспечения достижения целей космодрома в части касающейся выполнения программ запуска космических аппаратов (КА), отработки перспективной РКТ, содержания в требуемом состоянии объектов космодрома, необходимых для осуществления этой деятельности, постоянного совершенствования характеристик и методов эксплуатации РКТ, а также образовательной деятельности.

АСУЭ космодрома является составной частью АСУ космодрома. Входная информация, необходимая для ее функционирования, поступает из АСУ административно-хозяйственной и финансовой деятельностью космодрома (рис. 5), предназначенной для анализа текущих показателей качества функционирования космодрома, их прогнозирования на основе технико-экономического моделирования и выработки стратегических и тактических решений, обеспеченных необходимыми ресурсами, по управлению безопасностью, надежностью и стоимостью выполнения задач космодрома.

АСУЭ космодрома включает в свой состав автоматизированную систему мониторинга (АСМ), автоматизированные системы управления подготовкой и пуском изделий РКТ (АСУ ПП), поддержанием готовности изделий РКТ (АСУ ПГ), научными исследованиями (АСУ НИ).

В состав АСМ входят АСМ технического состояния (АСМ ТС) технологического оборудования и технических систем технических комплексов (ТК), стартовых комплексов (СК), кислородно-азотного завода (КАЗ), заправочно-нейтрализационной станции (ЗНС), а также зданий и сооружений, в которых они размещаются, и инфраструктурных объектов космодрома (железнодорожных и шоссейных дорог, систем водо-тепло-энергоснабжения, аэропорта). Кроме того в состав АСМ входят АСМ природной среды, перемещающихся объектов и персонала.

Основное назначение АСМ – представление информации о текущих и прогнозных значениях контролируемых параметров, а также рекомендаций по предотвращению аварийных ситуаций в соответствующие АСУ и выдача сигналов тревоги в случае необходимости.

В состав АСУ ПП входят автоматизированные системы управления подготовкой и пуском на ТК и СК, технологическими процессами на ЗНС и КАЗ. Эта система предназначена для управления процессами подготовки космических аппаратов (КА), разгонных блоков, ракетносителей и ракет космического назначения (РКН) на ТК и РКН на СК и пуска РКН, а также обеспечивающими процессами (транспортирования, заправки КА на ЗНС, обеспечения компонентами ракетного топлива и др.).

В состав АСУ ПГ входят АСУ ПГ ТК, СК, КАЗ и ЗНС. Эта система должна обеспечить управление мероприятиями по содержанию изделий РКТ в требуемой готовности, техническим обслуживанием и ремонтом технологического оборудования, технических систем, зданий и сооружений ТК, СК, КАЗ и ЗНС.

Необходимость создания АСУ НИ обусловлена той ролью, которую должен сыграть космодром в деле освоения космического пространства и тем, что, как было отмечено ранее, эксплуатационная деятельность приобрела научно-технический характер. Роль космодрома не сводится только к обеспечению запусков КА. Организация мониторинга на космодроме позволяет получить много важной информации о качестве эксплуатируемой и испытываемой на нем технике и ее влиянии на окружающую среду. Эта информация должна обрабатываться непосредственно на космодроме и обеспечить получение новых знаний об эксплуатационных процессах и объектах эксплуатации и испытаний, а также их реинвестицию в эксплуатацию, проектирование, производство и науку. Для достижения этой цели в структуре космодрома должны быть созданы научные подразделения.

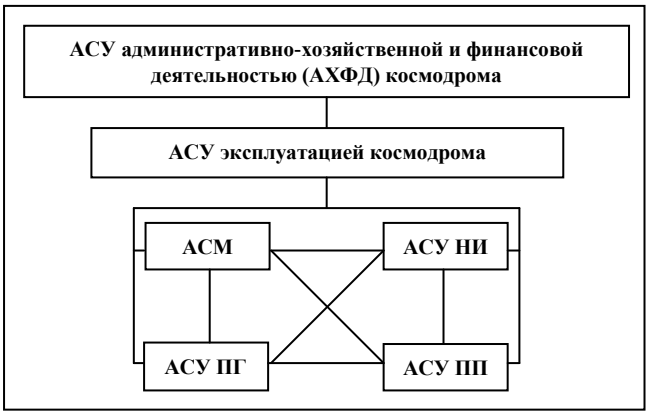


Рис. 5. Состав АСУ космодрома

Для обеспечения взаимодействия всех составных частей АСУ космодрома между собой, с предприятиями ракетно-космической промышленности и заказчиками в составе АСУ космодромом должна функционировать инфокоммуникационная система (рис. 6).

В ее состав входят специализированные БД, базы знаний (БЗ), серверы и сетевое оборудование, средства ближней и дальней связи.

В настоящее время уже наметился переход от принятия решений на основе эмпирической информации к принятию решений на основе знаний. Для реализации такого подхода необходимо создание кроме баз данных еще и баз знаний. Для формирования таких баз необходимы специалисты, способные извлекать знания из информации, содержащейся в БД, и строить модели процессов и объектов управления, разрабатывать методики решения различных эксплуатационных задач.

БЗ, выступающая в роли основы системы поддержки и принятия решения для лиц, ответственных за эксплуатацию и контролирующих ТС объектов космодрома и их оборудования, должна содержать все знания об этих объектах, полученные на различных стадиях

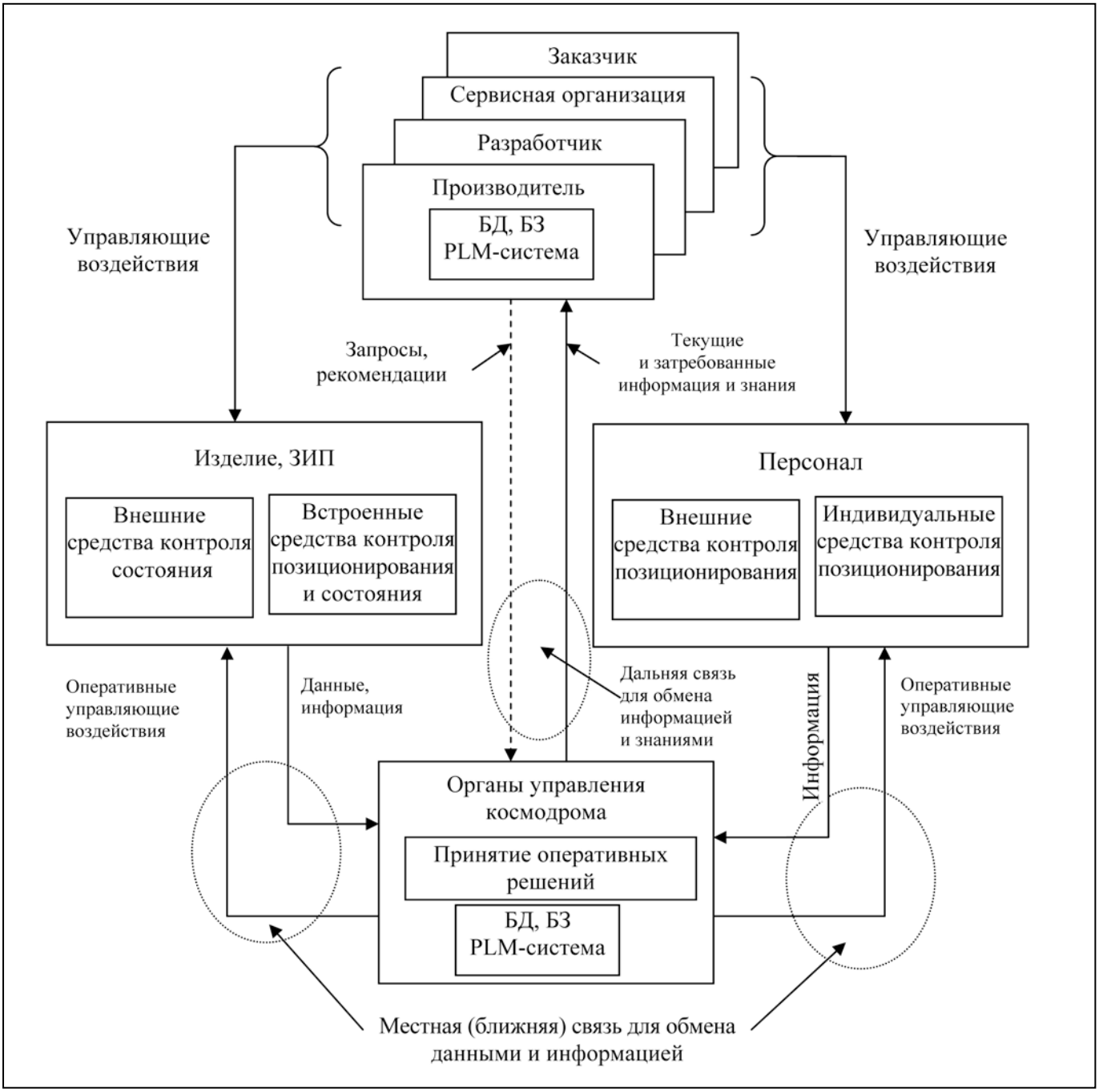


Рис. 6. Инфокоммуникационная система космодрома

их ЖЦ. Эти знания должны обеспечить возможность прогнозирования состояния объектов космодрома и их составных частей в будущем.

БД и БЗ должны использоваться не только при принятии текущих решений на космодроме, но и для выработки предложений Роскосмосу и предприятиям РКП по совершенствованию РКТ и технологий ее эксплуатации.

Заключение

Многолетний опыт научно-технического сопровождения эксплуатации критически важных объектов космодрома Байконур показал, что использование рассмотренных принципов на практике позволит реализовать концепцию управления эксплуатацией космодрома на основе комплексного мониторинга.

Комплексный мониторинг должен обеспечить возможность получения информации и знаний не только о состоянии оборудования этих объектов, но и об организационных, экономических и технологических характеристиках процессов их эксплуатации. При этом в результате мониторинга лица, принимающие решения, должны получать как результаты оценивания наблюдаемых параметров, так и прогноз их изменения. Неблагоприятный прогноз необходимо сопровождать обоснованием предложений по предотвращению негативных последствий этих изменений.

Дальнейшее совершенствование системы мониторинга объектов космодрома связано с его интеллектуализацией и обеспечением принятия решений, основанных на глубоких знаниях.

Накапливаемые на космодроме эксплуатационные знания должны стать доступными для всех участников его ЖЦ. Для этого АСУЭ космодрома должна быть интегрирована в систему управления его ЖЦ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Актуальные проблемы неразрушающего контроля качества космической техники* / Ю.Н. Макаров, А.А. Лухвич, В.Г. Шипша и др.; под общ. ред. Ю.Н. Макарова, В.Е. Прохоровича, А.И. Птушкина. СПб.: Альтеор, 2008. 333 с.
2. Бармин И.В., Юсупов Р.М., Прохорович В.Е., Птушкин А.И. Концепция управления состоянием сложных технических комплексов за пределами плановых сроков эксплуатации // *Информационные технологии.* 2000. № 5. С. 5…8.
3. Баранов Л.Т., Прохорович В.Е., Птушкин А.И. Управление техническим состоянием объектов космической инфраструктуры на основе его текущих и прогнозных оценок // *В сб. материалов 3-ей Научно-технической конференции «Перспективы использования новых технологий и научно-технических решений в изделиях разработки ГКНПЦ им. Хруничева».* Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 16–18 декабря 2003 года. М.: ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН. 2003. С. 51…58.
4. Бирюков Г.П., Зброжек Ю.М. *Эксплуатация стартовых комплексов по фактическому состоянию*. М.: МИТА им. К.Э. Циолковского, 2000. 172 с.
5. Гусев В.М., Долгополов И.Н., Егоров И.В., Локштанов Е.А. Прогрессивная система технического обслуживания двигателей // *Техника воздушного флота.* 2005. № 3–4. С. 79…83.
6. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. *Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. Серия: Информатика: неограниченные возможности и возможные ограничения*. М.: Наука, 2006. 410 с.
7. Перминов А.Н. Комплексная программа управления техническим состоянием объектов космической инфраструктуры // *Военно-космическая деятельность России – истоки, состояние, перспективы. Труды научно-практической конференции.* СПб.: Изд-во «Левша. Санкт-Петербург», 2005. Прилож. 2. С. 482–486.
8. Перминов А.Н. *Управление наземной космической инфраструктурой на основе мониторинга ее состояния.* СПб.: Министерство обороны РФ, 2005. 320 с.
9. Перминов А.Н., Прохорович В.Е., Птушкин А.И. От мониторинга технического состояния ракетно-космической техники к мониторингу ее жизненного цикла // *В мире НК.* 2004. № 4 (26). С. 8…11.
10. Перминов А.Н., Птушкин А.И., Исследование влияния мониторинга технического состояния объектов наземной космической инфраструктуры на эффективность их функционирования *// Вестник МАИ.* 2005. Т. 12. № 3. С. 74…80.
11. Пеньков М.М., Петров Г.Д., Птушкин А.И. Современные подходы к организации управления качеством в жизненном цикле вооружения, военной и специальной техники // *Труды Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники» Том 1*. СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского. 2012. С. 450…454.
12. Прохорович В.Е. *Прогнозирование состояния сложных технических комплексов.* СПб: Наука, 1999. 159 с.
13. Delfort B. Availability of ground facilities at the Ariane launch site: all system go! // Qual. espace mag. 2004. № 41. P. 45…51.
14. Delfort B., Coquelin M. Reliability-centered maintenance: a question of method // Qual. espace mag. 2004. № 41. P. 20…27.

15. IEC 62278: Railway applications – Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). Geneva: IEC, 2002. 81 p.
16. Moubray, J. Reliability-centered maintenance. N.Y.: Industrial Press Inc, 2000. 420 p.
17. Risk Based Inspection and Maintenance procedures for European industry (RIMAP). Terminology list. The RIMAP Consortium. 2004. 26 p.
18. Гончаров В. В. *Важнейшие понятия и концепции в современном управлении.* М.: МНИИПУ, 2000. 176 с.
19. Chaplicki J.M. Terotechnology versus exploitation theory – some remarks // Scientific problems of machines operation and maintenance. 2008. № 2. P. 45…59.
20. Пеньков М.М., Петров Г.Д., Птушкин А.И. Становление и результаты работы научной школы «Мониторинг жизненного цикла и современные технологии эксплуатации вооружения, военной и специальной техники» // *Труды Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники» Том 1.* СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012. с. 443…449.
21. Петров Г.Д. *Методологические аспекты обеспечения долговечности механического оборудования стартовых комплексов на основе функционального мониторинга: монография.* СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2005. 201 с.
22. Кузнецов А.Н. *Методологические основы анализа функционирования и развития системы эксплуатации космических средств.* СПб.: Наука, 2002.167 с.

REFRENCES

1. *Aktual'nye problemy nerazrushayuschego kontrolya kachestva kosmicheskoy tehniki* / Yu.N. Makarov, A.A. Luhvich, V.G. Shipsha et al.; Ed. by Yu.N. Makarova, V.E. Prohorovicha, A.I. Ptushkina [Actual problems of non-destructive testing space engineering]. SPb.: Al'teor [St. Petersburg: Publishing house «Al'teor»]. 2008. 333 p.
2. Barmin I.V., Yusupov R.M., Prohorovich V.E., Ptushkin A.I. Kontseptsiya upravleniya sostoyaniem slozhnyh tehnicheskih kompleksov za predelami planovyh srokov ekspluatatsii [The concept of state management of complex technical systems outside of the planned service lives]. *Informatsionnye tehnologii* [Information technologies]. 2000. № 5. P. 5…8.
3. Baranov L.T., Prohorovich V.E., Ptushkin A.I. Upravlenie tehnicheskim sostoyaniem obektov kosmicheskoy infrastruktury na osnove ego tekuschih i prognoznyh otsenok [Management of technical state objects of space infrastructure based on its current and projected estimates*]. V sb. materialov 3-ey Nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Perspektivy ispol'zovaniya novyh tehnologiy i nauchno-tehnicheskih resheniy v izdeliyah razrabotki GKNPTs im. Hrunicheva»* [Collection of materials 3 Scientific and Technical Conference «Prospects for the use of new technologies and scientific and technical solutions in the product development GKNPTs im. Hrunicheva»]. M.: IPU im. V.A. Trapeznikova [Moscow: Publishing house C.A. Trapeznikov Institute of management RAS]. 2003. P. 51…58.
4. Biryukov G.P., Zbrozhek Yu.M. *Ekspluatatsiya startovyh kompleksov po fakticheskomu sostoyaniyu* [Operation of launch facilities on the actual condition]. M.: MITA im. K.E. Tsiolkovskogo [Moscow: Publishing house MITA im. K.E. Tsiolkovskogo]. 2000. 172 p.
5. Gusev V.M., Dolgopolov I.N., Egorov I.V., Lokshtanov E.A. Progressivnaya sistema tehnicheskogo obsluzhivaniya dvigateley [Progressive system of maintenance of engines] *Tehnika vozdushnogo flota* [Equipment fleet]. 2005. № 3–4. P. 79…83.
6. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Intellektual'nye tehnologii monitoringa i upravleniya strukturnoy dinamikoy slozhnyh tehnicheskih* [Intelligent technologies for monitoring and management of the structural dynamics of complex technical objects]. M.: Nauka [Moscow: Publishing house «Science»]. 2006. 410 p.
7. Perminov A.N. Kompleksnaya programma upravleniya tehnicheskim sostoyaniem obektov kosmicheskoy infrastruktury [Integrated management program technical condition of objects of space infrastructure]. *Voenno-kosmicheskaya deyatel'nost' Rossii – istoki, sostoyanie, perspektivy. Trudy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Prilozh. 2.* [Military space activity of Russia – origins, the status and prospects. Proceedings of the scientific-practical conference. Application 2]. SPb.: Izd-vo «Levsha. Sankt-Peterburg» [St. Petersburg: Publishing house: «Levsha. Sankt-Peterburg»]. 2005. P. 482…486.
8. Perminov A.N. *Upravlenie nazemnoy kosmicheskoy infrastrukturoy na osnove monitoringa ee sostoyaniya* [Management of ground space infrastructure on the basis of monitoring of its state]. SPb.: Ministerstvo oborony RF [St. Petersburg: Publishing house: Department of Defense of Russia]. 2005. 320 p.
9. Perminov A.N., Prohorovich V.E., Ptushkin A.I. Ot monitoringa tehnicheskogo sostoyaniya raketno-kosmicheskoy tehniki k monitoringu ee zhiznennogo tsikla [From condition monitoring of rocket and space technology to the monitoring of its life cycle]. *V mire NK* [NDT World]. 2004. № 4 (26). P. 8…11.
10. Perminov A.N., Ptushkin A.I., Issledovanie vliyaniya monitoringa tehnicheskogo sostoyaniya obektov nazemnoy kosmicheskoy infrastruktury na effektivnost' ih funktsionirovaniya [Investigation of the effect of condition monitoring of ground space infrastructure on the efficiency of their operation]. *Vestnik MAI* [Bulletin MAI]. 2005. Vol. 12. № 3. P. 74…80.
11. Pen'kov M.M., Petrov G.D., Ptushkin A.I. Sovremennye podhody k organizatsii upravleniya kachestvom v zhiznennom tsikle vooruzheniya, voennoy i spetsial'noy tehniki [Modern approaches to quality management in the life cycle of weapons, military and special equipment]. *Trudy Vserossiyskoy*

nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennye problemy sozdaniya i ekspluatatsii vooruzheniya, voennoy i spetsial'noy tehniki». Tom 1 [Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference «Modern problems of development and operation of weapons, military and special equipment». Vol. 1]. SPb.: VKA imeni A.F.Mozhayskogo [St. Petersburg: Publishing house: A.F. Mozhaisky Military Space Academy]. 2012. P. 450…454.
12. Prohorovich V.E. *Prognozirovanie sostoyaniya slozhnyh tehnicheskih kompleksov* [Prediction of the state of complex technical systems]. SPb: Nauka [Moscow: Publishing house «Science»]. 1999. 159 p.
13. Delfort B. Availability of ground facilities at the Ariane launch site: all system go! Qual. espace mag. 2004. № 41. P. 45…51.
14. Delfort B., Coquelin M. Reliability-centered maintenance: a question of method. Qual. espace mag. 2004. № 41. P. 20…27.
15. IEC 62278: Railway applications – Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). Geneva: IEC, 2002. 81 p.
16. Moubray, J. Reliability-centered maintenance. N.Y.: Industrial Press Inc, 2000. 420 p.
17. Risk Based Inspection and Maintenance procedures for European industry (RIMAP). Terminology list. The RIMAP Consortium. 2004. 26 p.
18. Goncharov V.V. *Vazhneyshie ponyatiya i kontseptsii v sovremennom upravlenii* [The most important terms and concepts in modern management]. M.: MNIIPU [Moscow: Publishing house: MNIIPU]. 2000. 176 p.
19. Chaplicki J.M. Terotechnology versus exploitation theory – some remarks. Scientific problems of machines operation and maintenance. 2008. № 2. P. 45…59.
20. Pen'kov M.M., Petrov G.D., Ptushkin A.I. Stanovlenie i rezul'taty raboty nauchnoy shkoly «Monitoring zhiznennogo tsikla i sovremennye tehnologii ekspluatatsii vooruzheniya, voennoy i spetsial'noy tehniki» [Formation and the results of the scientific school «Monitoring the life cycle and modern technology of operation for weapons, military and special equipment»]. *Trudy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennye problemy sozdaniya i ekspluatatsii vooruzheniya, voennoy i spetsial'noy tehniki» Tom 1* [Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference «Modern problems of development and operation of weapons, military and special equipment». Vol. 1]. SPb.: VKA imeni A.F. Mozhayskogo [St. Petersburg: Publishing house: A.F. Mozhaisky Military Space Academy]. 2012. P. 443…449.
21. Petrov G.D. *Metodologicheskie aspekty obespecheniya dolgovechnosti mehanicheskogo oborudovaniya startovyh kompleksov na osnove funktsional'nogo monitoringa: monografiya* [Methodological aspects of ensuring durability of the mechanical equipment of launcher on the basis of functional monitoring: monograph]. SPb.: VKA imeni A.F.Mozhayskogo [St. Petersburg: Publishing house: A.F. Mozhaisky Military Space Academy]. 2005. 201 p.
22. Kuznetsov A.N. *Metodologicheskie osnovy analiza funktsionirovaniya i razvitiya sistemy ekspluatatsii kosmicheskih sredstv* [Methodological bases of the analysis of functioning and development of system of operation of space means]. SPb.: Nauka [Moscow: Publishing house «Science»]. 2002. 167 p.

Сведения об авторах

Пеньков Максим Михайлович*, доктор техн. наук, профессор, лауреат премии правительства в области науки и техники, начальник академии*

Петров Геннадий Дмитриевич, *доктор техн. наук, профессор, начальник кафедры академии E-mail: Prov66@mail.ru*

Птушкин Анатолий Иванович, *канд. техн. наук, профессор, лауреат премии правительства в области образования, профессор академии. E-mail: anatoly.ptushkin 2011@yandex.ru*

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» 197198, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13

Information about authors

Penkov Maksim M., *Doctor of Techn. Sciences, Professor, The government prize in science and technology, Chief of the A.F. Mozhaisky Military Space Academy*

Petrov Gennady D., *Doctor of Techn. Sciences, Professor, Chief of Chair of the A.F. Mozhaisky Military Space Academy. E-mail: Prov66@mail.ru*

Ptushkin Anatoly I., *Cand. of Techn. Sciences, Professor, The government prize in education, Professor of the A.F. Mozhaisky Military Space Academy. E-mail: anatoly.ptushkin 2011@yandex.ru*

The A.F. Mozhaisky Military Space Academy, Ministry of Defence of the Russian Federation 197198, Russian Federation, St. Petersburg, 13 Zhdanovskaya Street