

В. Г. Глечков

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ КОММЕРЧЕСКИХ ЗАПУСКАХ РКН

Рассматриваются вопросы применения новых подходов к формированию и совершенствованию системы эксплуатации. Превращение космической техники и услуг в рыночный товар требует от них новых качеств, определяющих конкурентоспособность. Основной задачей представленных работ являлось апробирование новых подходов к повышению качества эксплуатации ракетно-космических комплексов и эффективности процесса эксплуатации на примере перспективного ракетно-космического комплекса «Циклон-4М». Работы по формированию и совершенствованию системы его эксплуатации выполнялись с использованием методов, основанных на общей теории эксплуатации космических средств, и методик, базирующихся на результатах проведенной в 2015 году ГП «КБ «Южное» научно-исследовательской работы по аналитической оценке затрат на пусковые услуги. Актуальность статьи подтверждается результатами практического применения новых подходов к основным направлениям совершенствования системы эксплуатации ракетно-космического комплекса «Циклон-4М», позволившими за счет сокращения прямых повторяющихся затрат и ежегодных расходов повысить коммерческую привлекательность разрабатываемых ГП «КБ «Южное» комплексов. Описан порядок разработки модели эксплуатации создаваемого объекта, на основании исследования процессов которой определяются его эксплуатационно-технические характеристики. Основу статьи составляют используемые при этом организационно-технические решения и результаты, полученные для ракетно-космического комплекса «Циклон-4М». Статья представляет практический интерес для специалистов, участвующих в создании ракетно-космической техники, а также других сложных комплексов, где применяется многоуровневая организационно-техническая система эксплуатации.

Ключевые слова: космическая техника, пусковые услуги, эксплуатационные характеристики, модель эксплуатации, организационно-технические решения.

Розглянуто питання застосування нових підходів до формування і вдосконалювання системи експлуатації. Перетворення космічної техніки та послуг на ринковий товар вимагає від них нових якостей, що визначають конкурентоспроможність. Основним завданням поданих робіт було апробування нових підходів до підвищення якості експлуатації ракетно-космічних комплексів та ефективності процесу експлуатування на прикладі перспективного ракетно-космічного комплексу «Циклон-4М». Роботи з формування й удосконалювання системи його експлуатації виконували з використанням методів, заснованих на загальній теорії експлуатації космічних засобів, та методик, що ґрунтуються на результатах проведеної у 2015 році ДП «КБ «Південне» науково-дослідної роботи з аналітичного оцінювання витрат на пускові послуги. Актуальність статті підтверджено результатами практичного застосування нових підходів за основними напрямками вдосконалювання системи експлуатації ракетно-космічного комплексу «Циклон-4М», що дозволили за рахунок скорочення прямих повторюваних витрат і щорічних затрат підвищити комерційну привабливість комплексів, які розробляє ДП «КБ «Південне». Описано порядок розроблення моделі експлуатації створюваного об'єкта, на основі дослідження процесів якої визначено його експлуатаційно-технічні характеристики. Основу статті становлять використовувані при цьому організаційно-технічні рішення та результати, отримані для ракетно-космічного комплексу «Циклон-4М». Стаття становить практичний інтерес для фахівців, які беруть участь у створенні ракетно-космічної техніки, а також інших складних комплексів, де застосовується багаторівнева організаційно-технічна система експлуатації.

Ключові слова: космічна техніка, пускові послуги, експлуатаційні характеристики, модель експлуатації, організаційно-технічні рішення.

The article deals with the problems of applying new approaches to formation and improvement of operation system. Turning of space hardware and services into marketable commodity requires their new qualities that determine competitiveness. The main task of presented works was approbation of new approaches to improvement of space launch systems operation quality and operation process effectiveness by the example of prospective Cyclone-4M space rocket complex. The works to form and improve its operation system were performed using the methods based on general theory of space systems operation and the procedures based

on the results of research work conducted by Yuzhnoye SDO in 2015 for analytical evaluation of launch services costs. The topicality of the article is confirmed by the results of practical application of new approaches in main directions of Cyclone-4M space rocket complex operation system improvement, which allowed increasing commercial attractability of Yuzhnoye SDO-developed systems due to reduction of direct recurring costs and annual expenses. The article describes the course of development of operation model of a created object; based on investigation of the processes of this model, the object's performance characteristics are determined. The basis of the article are the organizational-and-technical decisions used herewith and the results obtained for Cyclone-4M space rocket complex. The article is of practical interest for specialists involved in creation of space rocket complexes and other sophisticated systems where the operation system is a multi-level organizational-technical system.

Key words: space hardware, launch services, performance characteristics, operation model, organizational-and-technical decisions.

Общие сведения о системе эксплуатации ракетно-космических комплексов

Ракетно-космические комплексы (РКК) предназначены для запусков космических аппаратов (полезных нагрузок) на заданные орбиты. Их эксплуатация возможна только в определенной системе, способной обеспечить требуемое качество достижения целей функционирования.

В системе эксплуатации РКК основным объектом является ракета космического назначения (РКН). Технология подготовки РКН к пуску определяет технический облик РКК. Для эксплуатации РКН необходимо создавать специальные средства – технические и стартовые комплексы, включающие наземное технологическое оборудование, технические системы, здания и сооружения, предназначенные для подготовки и обеспечения ее пуска.

Объективные особенности РКК определяют необходимость осуществления множества взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов, предназначенных для получения промежуточных результатов до достижения конечной цели. Получение целевого результата эксплуатации РКК может быть представлено в виде ряда взаимосвязанных этапов, каждый из которых предназначен для перевода в определенное состояние, предусмотренное алгоритмом функционирования РКК, или содержания его в этом состоянии. Качество целевого результата эксплуатации РКК закладывается на всех ее этапах и зависит не только от качества объектов ракетно-космической техники, но и от целого ряда других факторов, сре-

ди которых стратегия эксплуатации, качество управления эксплуатацией, уровень подготовки персонала и т. д.

Эти факторы накладывают жесткие ограничения на процесс эксплуатации РКК и обуславливают необходимость принятия согласованных решений множества возникающих при этом сложных задач. Достижение конечной цели эксплуатации РКК и обеспечение требуемого качества результатов возможны только при условии соблюдения правил, приведенных в документации по эксплуатации.

Таким образом, *система эксплуатации* представляет собой организованную совокупность органов управления, средств выполнения целевых задач, средств эксплуатации, личного состава и документации, успешное взаимодействие которых обеспечивает функционирование системы эксплуатации.

Основные направления совершенствования системы эксплуатации

В настоящее время при проектировании РКК в подавляющем большинстве случаев применяются проверенные на практике и хорошо себя зарекомендовавшие правила и принципы.

Превращение космической техники и услуг в рыночный товар требует от них новых качеств, определяющих конкурентоспособность. Приоритетными становятся экономические показатели, такие как стоимость, прибыль, самоокупаемость, требующие определенного динамизма процессов создания, изготовления, а также оказания услуг в области эксплуатации. Это опреде-

ляет поиск новых подходов к формированию и совершенствованию системы эксплуатации.

С этой целью в 2015 году ГП «КБ «Южное» выполнена научно-исследовательская работа по аналитической оценке затрат на пусковые услуги [1], в результате которой были определены направления сокращения объемов работ и затрат на пусковые услуги, совершенствования подходов и методов разработки перспективных РКК, повышения качества, надежности и безопасности пусков, развивающие и совершенствующие систему эксплуатации РКК, которыми предприятие руководствуется в настоящее время.

Совершенствование системы эксплуатации РКК становится особенно актуальным и необходимым из-за растущей конкуренции на рынке космических услуг. Дальнейшее развитие и совершенствование этой системы можно условно разделить на следующие основные направления:

- улучшение эксплуатационно-технических характеристик и технологии эксплуатации;
- совершенствование системы управления эксплуатацией;
- снижение эксплуатационных затрат на пусковые услуги;
- создание комфортных условий для подготовки КА.

Подходы к совершенствованию системы эксплуатации РКК

Система эксплуатации РКК формируется при выполнении проектных работ вместе с определением состава проектируемого комплекса, облика его составных частей и их основных технических параметров, т. е. вместе с определением тактико-технических характеристик РКК задаются требования к его эксплуатационно-техническим свойствам.

На начальном этапе разрабатывается концепция эксплуатации создаваемого РКК. На основании исследования процессов эксплуатации комплекса принимаются

принципиальные решения об его облике, а также определяются эксплуатационно-технические характеристики.

Применение новых подходов к формированию и совершенствованию системы эксплуатации при коммерческих запусках РКН рассматривается на примере вновь разрабатываемого перспективного РКК «Циклон-4М». При разработке концепции его эксплуатации в первую очередь определялись вид и метод эксплуатации. С целью сокращения затрат, связанных с содержанием персонала эксплуатирующей организации, выбрана совместная эксплуатация (с участием предприятий промышленности) вахтовым методом, при которой эксплуатирующий персонал прибывает на РКК только к началу работ по подготовке к пуску РКН, а в период между пусками комплекс находится в режиме хранения, обеспечиваемом минимальным количеством персонала.

На основании концепции разрабатывалась модель эксплуатации РКК, включающая:

- функциональную структуру эксплуатации;
- организационную структуру управления процессом эксплуатации;
- комплектность документации по эксплуатации.

Дополнительно в разрабатываемой модели эксплуатации определялся порядок приемки и ввода РКК в эксплуатацию.

Функциональная структура является основой системы эксплуатации РКК и представляет собой иерархически организованную по целевому назначению систему, состоящую из объектов, объединённых в соответствующие комплексы (технический, стартовый и т.д.), технологий их эксплуатации, а также документации по эксплуатации [2].

На этапе проектных работ для описания процесса эксплуатации разрабатывалась схема эксплуатации, включающая ее этапы и основные виды работ, выполняемые на каждом из них. После разработки такой схемы проводилась детализация основных



Схема эксплуатации РКК «Циклон-4М»:

ТК – технический комплекс; КА – космический аппарат; ГБ – головной блок; ЗНС – заправочно-нейтрализирующая станция; РН – ракета-носитель; РКН – ракета космического назначения; СК – стартовый комплекс; КСИСО – комплекс средств измерений, сбора и обработки (телеметрической информации); ТО – техническое обслуживание; НТО – наземное технологическое оборудование; РКК – ракетно-космический комплекс; ОУ – отсек удержания; ЗИП – запасные части, инструменты и принадлежности; КРТ – компоненты ракетного топлива; СГ – сжатые газы; НВО – наземное вспомогательное оборудование

видов работ каждого этапа эксплуатации и определялись их рациональная последовательность и продолжительность, учитывающая требования к временным эксплуатационным характеристикам. При этом прогнозировались возможности обеспечения как этих требований, так и интенсивности пусков РКК, гарантий в течение установленного срока службы, а также показателей надежности.

Так, интенсивность пусков РКН в течение года определялась по формуле

$$I_{\text{пг}} = \frac{T_{\text{р.д}} - T_{\text{пто}} - T_{\text{н}}}{T_{\text{пм}}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{р.д}}$ – количество рабочих дней в году;

$T_{\text{пто}}$ – продолжительность проведения планового технического обслуживания;

$T_{\text{н}}$ – суммарная возможная продолжительность устранения неисправностей при

выявлении отказов в процессе подготовки и проведения пусков, а также проведения планового технического обслуживания;

$T_{\text{пм}}$ – продолжительность пусковой миссии (продолжительность подготовки и проведения пуска РКН).

С целью улучшения эксплуатационных характеристик и совершенствования процессов эксплуатации РКК при детализации основных видов работ использовались организационно-технические решения, обеспечивающие [3]:

- механизацию работ с использованием транспортировочного и грузоподъемного оборудования, обладающего достаточными скоростными, габаритными, маневренными и грузоспособными возможностями;

- гарантированный контроль процесса и результата всех механосборочных работ, связанных с РКН, методом фото- и видео-

регистрации и документирования выполнения всех технологических операций с использованием соответствующей портативной переносной аппаратуры;

– внедрение высокоавтоматизированной аппаратуры для контроля, проверок, обработки и анализа результатов всех испытаний, позволяющей избежать влияния человеческого фактора на результаты испытаний РКН, сократить время их проведения, а также оперативно передавать результаты на предприятия-разработчики для более глубокого анализа;

– внедрение единого командного пункта, из которого осуществляется управление и контроль технологических операций на ТК и СК при выполнении всех видов работ по подготовке и проведению пуска РКН;

– создание на предприятии-разработчике РКК и РКН инженерного центра для дистанционного сопровождения пусков и выполнения функций оперативно-технической группы, обеспечивающей контроль, анализ и поддержку принятия решений на основании информации о всех процессах, протекающих на ТК и СК при подготовке и проведении пуска РКН;

– совершенствование стратегии подготовки к пуску, при которой параллельно с операциями, проводимыми непосредственно с РКН и находящимися на критическом пути, выполняются операции по подготовке НТО к использованию;

– повышение стойкости РКН и НТО к воздействию метеофакторов;

– обоснование периодичности и объемов технического обслуживания НТО для поддержания надежности его функционирования;

– применение новых принципов и подходов к проектированию объектов строительства РКК, включая:

рациональное генеральное планирование ТК и СК, оптимизацию состава и характеристик строительных объектов с учетом особенностей территории базирования (рельеф местности, характеристика грунтов, наличие источников природных ресурсов, инженерной и жилищно-бытовой инфраструктуры);

применение прогрессивных конструктивно-технологических решений строи-

тельства зданий и сооружений, разработанных и апробированных для объектов аналогичного назначения и условий территории базирования РКК, использование при строительстве местных материалов и промышленной базы;

максимальную унификацию конструктивно-технологических решений, применяемых материалов и оборудования;

применение в составе объектов РКК современных серийно изготавливаемых технических систем, которые имеют достаточный ресурс работоспособности и характеризуются минимальными эксплуатационными затратами;

исключение хранилищ компонентов ракетного топлива и сжатых газов за счет их доставки по необходимости – в соответствии с графиком работ;

– создание комфортных условий для подготовки КА, включая:

введение специальных мероприятий обеспечения на всех стадиях подготовки РКН температурно-влажностного режима среды под обтекателем;

повышение уровня чистоты подобтекательного пространства за счет совершенствования технологии сборки и методов контроля чистоты;

компактное размещение сооружений технического комплекса для сокращения потерь времени и средств за счет перемещения между объектами при подготовке КА;

обеспечение особых требований заказчика (предоставление специального нестандартного оборудования для проведения операций заказчика по сборке КА, сжатых газов с необходимыми параметрами для проверки пневматических систем и опрессовки двигателя КА и др.).

Применение при проектировании приведенных решений, позволило:

– оптимизировать схему эксплуатации РКК за счет конкретизации ее этапов и детализации основных видов работ, выполняемых на каждом из них;

– снизить эксплуатационные затраты за счет уменьшения продолжительности работ, выполняемых на каждом этапе эксплуатации, и увеличения интенсивности пусков РКН в течение года;

– определить основные показатели технического контроля, необходимые для проверки правильности и качества выполнения операций подготовки и проведения пуска РКН, а также состояния НТО;

– унифицировать рабочие места командного пункта, что значительно снижает трудоемкость и стоимость их создания, обеспечивает высокий уровень эргономики и технической эстетики, а также упрощает использование РКК по назначению и его техническое обслуживание;

– определить основные направления совершенствования стратегии технического обслуживания на последующих этапах создания РКК, включая возможности увеличения цикла технического обслуживания или перехода на техническое обслуживание с периодическим контролем;

– предусмотреть наиболее полное удовлетворение потребностей заказчика КА как один из факторов привлекательности пусковых услуг, даже при неконкурентоспособной цене.

Результаты работ, проведенных с учетом принятых решений, показали возможность улучшения эксплуатационно-технических характеристик РКК за счет совершенствования технологии, обеспечивающей качество, надежность и безопасность пусков РКН, а также снижения затрат по основным этапам эксплуатации.

Организационная структура управления эксплуатацией определяет организацию и порядок взаимодействия участников работ всех уровней, а также их ответственность при эксплуатации. Такая организационная структура включает органы управления, эксплуатирующий персонал и систему подготовки эксплуатирующего персонала [2].

Для описания управления эксплуатацией РКК разработана организационная схема, которая позволяет рационально распределять функции управления с учетом их сложности и объема между соответствующими органами различных иерархических уровней. Схема также определяет распределение ответственности этих органов управления.

Рассматривая вопросы эффективности управления эксплуатацией, следует отдельно остановиться на требованиях к персоналу пусковой миссии.

К персоналу, участвующему в ракетно-космических программах, предъявляются довольно жесткие требования. Высокий профессионализм, способность к самостоятельной работе и принятию решений, психологическая устойчивость, способность работать в интернациональном коллективе и в мультикультурной среде – это далеко не полный перечень личных и профессиональных качеств персонала, обеспечивающего выполнение операций по подготовке и проведению пуска РКН.

Формирование состава персонала при проектировании РКК проводилось в два этапа.

На первом этапе, при предварительном определении состава персонала, обеспечивающего эксплуатацию НТО, учитывалось:

– количество постоянно и периодически используемых рабочих мест;

– способы взаимодействия между персоналом, привлекаемым к работам;

– необходимость и возможность дублирования и взаимозаменяемости привлекаемого к работам персонала;

– опыт эксплуатации образцов систем-аналогов проектируемой системы, в том числе с учетом выполнения наиболее сложных (ответственных), опасных и особо опасных операций.

На втором этапе, при определении оптимального состава, проводился комплексный анализ и оценка состава персонала, включая:

– определение для каждого исполнителя коэффициента использования календарного фонда времени ($K_{икф}$) – интегрального показателя количества рабочего времени дня, характеризующего степень использования персонала в течение рабочего дня в среднем для каждого этапа эксплуатации, по формуле [1]:

$$K_{икф} = \frac{Z_{ф}}{Z_{к}}, \quad (2)$$

где $Z_{ф}$, $Z_{к}$ – фактические и календарные трудозатраты, чел.-дн;

- уточнение состава применяемого НТО и соответствующего общего количества образуемых для его эксплуатации рабочих мест [1];

- анализ и оценку эффективности использования привлекаемого к работам персонала с учетом соблюдения принятой технологии работ и решения задач управления при эксплуатации;

- разработку рекомендаций по уточнению состава персонала.

Оптимизация состава персонала, обеспечивающего эксплуатацию РКК, осуществлялась на основе полученных результатов и использования следующих подходов [1]:

- минимизация руководящего состава пускового персонала;

- формирование персонала по группам: подготовки ГБ, подготовки РН и РКН, обслуживания НТО;

- управление из командного пункта как единого центра подготовки и проведения пуска РКН для оптимизации НТО и рабочих мест на ТК и СК;

- сокращение количества контролеров при выполнении работ по подготовке и пуску РКН за счет автоматизации контролируемых процессов, видео-, фотоконтроля и документирования;

- анализ результатов испытаний (телеметрических измерений, электронных протоколов, видео- и фотодокументирования) специалистами, находящимися на предприятиях-разработчиках;

- оценка фактического участия (загрузки) персонала в выполнении технологических операций по графику работ подготовки составных частей РКН на ТК и СК;

- освоение смежных специальностей для совмещения функциональных обязанностей однородной тематики.

Необходимость совершенствования системы подготовки эксплуатационного персонала обусловлена рядом особенностей объектов эксплуатации, в том числе высокой стоимостью РКК и связанной с этим высокой ценой ошибки, которая может быть допущена при его эксплуатации.

С целью обеспечения качественного выполнения работ по эксплуатации РКК предусматривается проведение обучения и

аттестации персонала, принимающего участие в работах каждого из ее этапов.

Персонал, привлекаемый к работам с вредными условиями труда, подвергается обязательному медицинскому обследованию и освидетельствованию в медицинских учреждениях на предмет подтверждения годности к выполнению работ по состоянию здоровья.

В эксплуатирующей организации до начала предстартовой подготовки предусматривается определенный объем тренировок персонала и проведение репетиций пусковых операций, при которых должны выполняться следующие требования:

- работы по выполнению операций набора стартовой готовности РКН и РКК проводятся в соответствии с эксплуатационной документацией;

- связь поддерживается строго определенной группой лиц из числа пускового персонала по заранее определенным каналам, обеспечивающим выполнение программы предстартовой подготовки;

- в процессе выполнения программы предстартовой подготовки имитируются нештатные ситуации и отрабатываются действия персонала по их парированию;

- проведение тренировок персонала и репетиций предстартовой подготовки РКН обеспечивается средствами автоматизированных систем управления;

- программно-математическое обеспечение автоматизированных систем управления предполагает возможности введения условных нештатных ситуаций, локализации и выхода из них для обучения пускового персонала.

Так, при разработке РКК «Циклон-4М» учитывалось требование относительно возможности использования НТО для тренировок и обучения персонала.

С целью повышения квалификации и сокращения времени, необходимого для подготовки персонала, в качестве отдельной опции дополнительно разработаны рекомендации по применению интерактивного обучения с использованием компьютерной техники и информационных технологий.

Компьютерные системы обучения, обеспечивающие подготовку персонала, должны включать:

- техническую документацию, представленную в виде дерева технологического процесса и сопровождаемую показом видео- и фотоматериалов РКН, что дает полное представление обо всех этапах ее подготовки;

- интерактивные динамические модели режимов работы и функционирования реальных блоков, узлов и систем РКН и НТО, реализованные с применением технологии виртуальной реальности и позволяющие повысить эффект присутствия, а следовательно, эффективность процессов обучения и тренажа;

- базы данных, содержащие информацию о составе РКН, НТО, об условиях проведения технологических операций, а также статистические данные реальных процессов, возможные и фактические нештатные ситуации и пути выхода из них, способствующие правильной оценке имитируемой обстановки и повышающие скорость принятия решений.

Реализация на стадии проектирования указанных подходов по формированию состава персонала и его обучению, позволила:

- уточнить технологию работ с учетом заданного состава персонала;

- определить лимитированную численность персонала и количество создаваемых рабочих мест;

- сформировать персонал по группам обслуживания НТО, подготовки ГБ, подготовки РН и РКН, применяя универсализацию специалистов на основе освоения смежных специальностей по функциональному признаку;

- детализировать при планировании операционных затрат на осуществление пусковой деятельности статьи расходов, предусмотренные для персонала;

- минимизировать контрольные функции персонала путем применения автоматизированных методов контроля операций;

- делегировать на предприятия-разработчики функции сопровождения подготовки и пуска РКН, а также обработки и анализа их результатов;

- предусмотреть на постоянной основе обязательное обучение и практику персонала с сертификацией перед каждым пуском.

Результаты работ, проведенных с учетом принятых решений и рекомендаций, подтвердили возможности совершенствования организации процесса эксплуатации, а также снижения эксплуатационных затрат пусковых услуг за счет минимизации количественного состава персонала на 20 %.

При проектировании разработаны предложения, касающиеся *комплектности документации по эксплуатации*.

Так, разработан перечень организационно-технической документации, определяющей порядок взаимодействия эксплуатирующей организации с предприятиями-разработчиками и изготовителями РКН и НТО.

Перечень эксплуатационной документации, определяющей правила эксплуатации и гарантии в течение установленного срока службы, разрабатывался с учетом иерархических уровней составных частей РКК. Структура эксплуатационных документов РКК формировалась с учетом необходимости их соответствия:

- схеме деления РКК для обеспечения эксплуатации как РКК в целом, так и его составных частей;

- процессам и условиям эксплуатации, что обеспечивает выполнение технологических операций на всех этапах эксплуатации РКК и его составных частей;

- структуре управления РКК на всех этапах эксплуатации.

Предложенная комплектность документации по эксплуатации обеспечивает реализацию всего комплекса работ, предусмотренных для РКК, заданным составом персонала для заданных условий и этапов эксплуатации (в том числе обучение персонала). Каждый приведенный в перечне документ предназначен для конкретного пользователя и соответствует его функциональным обязанностям.

В процессе проектирования дополнительно проработаны вопросы последовательности проведения испытаний при вводе РКК в эксплуатацию с учетом следующих организационно-технических решений:

- проведение монтажных и пуско-наладочных работ, а также заводских испытаний второго этапа и автономных испытаний НТО по единому сквозному графику, который учитывает готовность оборудования к использованию в следующем виде работ (испытаний);

- совмещение комплексных испытаний ТК и СК с автономными испытаниями пневмогидравлической системы подачи топлива первой ступени и комплексными огневыми испытаниями двигательной установки первой ступени.

Применение на этапе проектирования указанных организационно-технических решений позволило:

- детализировать порядок и последовательность проведения работ после завершения строительства инфраструктуры ТК и СК, а также определить НТО, находящееся на критическом пути графика технологической последовательности проведения монтажных и пуско-наладочных работ, заводских испытаний второго этапа и автономных испытаний;

- определить конфигурацию опытной конструкции для проведения автономных испытаний пневмогидравлической системы подачи топлива первой ступени и комплексных огневых испытаний двигательной установки первой ступени, а также подтвердить возможность использования штатного НТО без каких-либо существенных изменений и доработок, за исключением технологического отсека удержания и доработки программно-математического обеспечения, которое должно быть адаптировано к особенностям проведения испытаний;

- детализировать порядок и последовательность комплексных испытаний ТК и СК, совмещенных с указанными испытаниями пневмогидравлической системы и двигательной установки;

- подтвердить возможность проведения предусмотренных испытаний пневмогид-

равлической системы и двигательной установки на пусковом столе стартового комплекса;

- определить порядок использования опытной конструкции после окончания испытаний.

Применение предложенных решений подтвердило возможность оптимизации работ по вводу РКК в эксплуатацию, а также снижения соответствующих затрат за счет сокращения продолжительности испытаний.

Выводы

Реализация на стадии проектирования указанных подходов позволила повысить эффективность системы эксплуатации РКК «Циклон-4М» и конкурентоспособность разработки в целом за счет:

- совершенствования технологии и организации эксплуатации, обеспечившего качество, надежность и безопасность пусков РКН;

- снижения эксплуатационных затрат на пусковые услуги;

- обеспечения эксплуатационной привлекательности, включая комфортность подготовки КА;

- оптимизации работ по вводу РКК в эксплуатацию.

Список использованной литературы

1. Аналитическая оценка объема работ и затрат на пусковые услуги и направления работ для их снижения в перспективных РКК разработки ГП «КБ «Южное»: техн. отчет / ГП «КБ «Южное». Днепропетровск, 2015. 344 с.

2. Теория и практика эксплуатации объектов космической инфраструктуры: монография / Н. Д. Аникейчик и др. СПб., 2006. Т. 1: Объекты космической инфраструктуры. 400 с.

3. Испытания и эксплуатация ракетных комплексов: курс лекций / А. В. Агарков и др.; под ред. А. В. Дегтярева. ГП «КБ «Южное». Днепр, 2016. Кн. 1. 505 с.

Статья поступила 30.09.2019